Núm. 50
2025



REA
Revista de Estudios Andaluces

Universidad de Sevilla
Editorial Universidad de Sevilla
https://editorial.us.es/es/revistas/revista-de-estudios-andaluces
https://revistascientificas.us.es/index.php/REA

EUS EDITORIAL UNIVERSIDAD DE SEVILLA

Depósito Legal: SE-221-1984
ISSN: 0212-8594
ISSN-e: 2340-2776

Revista de Estudios Andaluces (REA) | Núm. 50, julio (2025) | e-ISSN: 2340-2776
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50 | © Editorial Universidad de Sevilla 2025
https://editorial.us.es/es/revistas/revista-de-estudios-andaluces
https://revistascientificas.us.es/index.php/REA
CC BY-NC-SA 4.0.

Equipo Editorial

Directora/Editora de la Revista
Rosa María Jordá Borrell, Universidad de Sevilla (Sevilla), España.<borrell@us.es>

Secretaría de Revisión, Redacción y Edición
Rosa María Jordá Borrell, Universidad de Sevilla (Sevilla), España.<borrell@us.es>
Inmaculada España Rios, Universidad de Sevilla (España), España.<irios@us.es>

Editores Adjuntos (2025)
Carolina del Valle Ramos, Universidad de Sevilla (Sevilla), España.<cdvalle@us.es>
María del Pilar Díaz Cuevas, Universidad de Sevilla (Sevilla), España.<pilard@us.es>
Rubén Ibán Díaz Parra, Universidad de Sevilla (Sevilla), España.<ibandiaz@us.es>
Reyes Gonzalez Relaño, Universidad de Sevilla (Sevilla), España.<rgrelano@us.es>
Enrique López Lara, Universidad de Sevilla (Sevilla), España.<elopezl@us.es>

Consejo de Redacción
Juan Manuel Barragán Muñoz, Universidad de Cádiz (Cádiz), España.<juan.barragan@uca.es>
Roberto Bustos Cara, Universidad Nacional del Sur (Bahía Blaca), Argentina.<usbustos@uns.edu.ar>
Rafael Cámara Artiga, Universidad de Sevilla (Sevilla), España.<rcamara@us.es>.
Ramesh Chandra Das, Vidyasagar University, India. <ramesh051073@gmail.com>
Angela D'Orazio, Università di Roma2, Italia.<Angela.D.Orazio.@uniroma2.it>
Javier Esparcia Pérez, Universidad de Valencia (Valencia), España.<javier.esparcia@uv.es>
Cayetano Espejo Marín, Universidad de Murcia (Murcia), España.<cespejo@um.es>
Javier Gutiérrez Puebla, Universidad Complutense de Madrid (Madrid), España.<javiergutierrez@ghis.ucm>
Enrico Ivaldi, Libera Università di Lingue e Comunicazione-IULM. (Milan)Italia. <Enrico.ivaldi@iulm.it>
Stefania Mangano, Universita' Degli Studi Di Genova (Genova), Italia.<stefania.mangano@unige.it>
M. Paula Mendes, Universidade de Lisboa (Lisboa), Portugal.<mpaulamendes@tecnico.ulisboa.pt>
Jorge Olcina Cantos, Universidad de Alicante (Alicante), España.< jorge.olcina@ua.es>
Liliana Perez, Universidad de Montreal (Montreal), Canadá.<lperez@umontreal.ca>
Fermín Rodríguez Gutiérrez, Universidad de Oviedo (Oviedo), España.<farragut@ uniovi.es>
María Asunción Romero Díaz, Universidad de Murcia (Murcia), España.<arodi@um.es>
Marco Antonio Sandoval Estrada, Universidad de Concepción (Concepción), Chile.<masandov@udec.cl>
Jesús Ventura Fernández, Universidad de Sevilla (Sevilla), España.< jventura@us.es>

Consejo Asesor
Alberto Capacci, Universidad de Génova (Génova), Italia
Aquiles Chihu Amparán, Universidad Autónoma Metropolitana (Iztapalapa), México
Francisco Javier Contreras Diaz, Universidad Autónoma de Zacatecas (Zacatecas), México
Fernando Díaz del Olmo, Universidad de Sevilla (Sevilla), España
Dominik Faust, Technische Universität Dresden (Dresden), Alemania
Rubén Camilo Lois González, Universidade de Santiago de Compostela (Santiago de Compostela), España
Andrés García Lorca, Universidad de Almería (Almería), España
Karolina Golemo, Uniwersytet Jagielloński "Universidad Jaguelónica"(Cracovia), Polonia
Bartolomeu Israel de Souza, Universidad Federal da Paraiba (Brasil)
Javier Martín Vide, Universidad de Barcelona (Barcelona), España
Ricardo Méndez Gutierrez del Valle, Instituto de Economía, Gª y Población CSIC (Madrid), España
Adriano Rovira Pinto, Universidad Austral (Valdivia), Chile
Kamal Targuisti El Khalifi, Université Andelmalek Essaadi (Tetouan), Marruecos
José Vallés Ferrer, Universidad Loyola Andalucía (Sevilla), España

Revista de Estudios Andaluces (REA). Núm. 50, julio (2025)
Edita: Editorial de la Universidad de Sevilla (Sevilla), España.
© Editorial Universidad de Sevilla 2025
https://editorial.us.es/es/revistas/revista-de-estudios-andaluces
https://revistascientificas.us.es/index.php/REA

Periodicidad Bianual (febrero, Julio)

Depósito Legal: SE-221-1984
ISSN: 0212-8594
ISSN-e: 2340-2776
DOI: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50
Diseño Portada: Ángel Luis Lucendo Monedero
Maquetación: Referencias Cruzadas - referencias.maquetacion@gmail.com

Licence Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

Revista de Estudios Andaluces (REA) | Núm. 50, julio (2025) | e-ISSN: 2340-2776
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50 | © Editorial Universidad de Sevilla 2025
https://editorial.us.es/es/revistas/revista-de-estudios-andaluces
https://revistascientificas.us.es/index.php/REA
CC BY-NC-SA 4.0.

Índice REA

Impact des instabilités de terrains sur les infrastructures routières dans le Rif central méridional (Cas du PK 144 de la RR 408 " -Taounate, Maroc) / *Impact of land instability on road infrastructure in the Southern Central Rif (Case of PK 144 on regional road 408 - Taounate, Morocco) / Impacto de la inestabilidad del terreno en las infraestructuras viarias del centro sur del Rif (Caso del PK 144 de la RR 408 -Taounate, Marruecos)*

Khalid El-Moudni 0009-0005-5453-6710
Abdelghani Houari 0000-0002-7037-584X
El Houssaine Afkir 0009-0009-4233-4491
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.01 ..... *8-32*

Análisis del desarrollo de las ciudades de 15 minutos en Andalucía a partir de datos de Twitter y OpenStreetMap / *Analysis of the development of 15-minute cities in Andalusia using Twitter and OpenStreetMap data*

Joaquín Osorio-Arjona 0000-0002-0102-8756
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.02 ..... *33-51*

Marketing cofrade en Andalucía: análisis prospectivo a través del método Delphi / *Brotherhood marketing in Andalucia: prospective analysis through the Delphi method*

Franscisco Javier Cristófol-Rodríguez 0000-0002-0967-3514
Diego Berraquero-Rodríguez 0009-0007-4238-0098
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.03 ..... *52-70*

Conventional and innovative financing strategies for local public transport: insights from the italian context / *Estrategias de financiación convencionales e innovadoras para el transporte público local: perspectivas desde el contexto italiano*

Tiziano Pavanini 0000-0001-8709-3710
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.04 ..... *71-89*

Les chutes de blocs dans le bassin versant Zireg: facteurs de genèse et cartographie des zones à risques (Moyen Atlas - Maroc) / *Rockfalls in the Zireg watershed: factors of genesis and mapping of risk zones (Middle Atlas - Morocco) / Desprendimientos de rocas en la cuenca del Zireg: factores de origen y cartografía de las zonas de riesgo (Atlas Medio - Marruecos)*

Mohamed Benaissa 0009-0004-6716-6512
Jaouad Gartet
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.05 ..... *90-109*

El estudio del capital social a través del análisis de redes sociales para una gestión participada del turismo: una propuesta de red de gobernanza para Tierra Bobal (Valencia) / *The study of social capital through the social network analysis for a participatory tourism management: a governance network proposal for Tierra Bobal (Valencia)*

Ruben Arnandis-i-Agramunt 0000-0002-8928-530X
J. Javier Serrano-Lara 0000-0003-0349-4176
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.06 ..... *110-135*

Spatial analysis of CO_2 emissions and their relationship with economic activity in the states of Mexico / *Análisis espacial de las emisiones de CO_2 y su relación con la actividad económica en los estados de México*

Abril Yuriko Herrera-Ríos 0000-0001-9301-9285
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.07 ..... *136-152*

Revista de Estudios Andaluces (REA) | Núm. 50, julio (2025) | e-ISSN: 2340-2776
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50 | © Editorial Universidad de Sevilla 2025
https://editorial.us.es/es/revistas/revista-de-estudios-andaluces
https://revistascientificas.us.es/index.php/REA
CC BY-NC-SA 4.0.

Dynamique des paysages forestiers associes aux cultures bours dans le Haut Atlas Atlantique marocain (cas de la basse vallee de l'Oued Tamri) / *Dynamics of forest landscapes associated with bours crops in Morocco's High Atlantic Atlas (case of the lower Oued Tamri valley) / Dinámica de los paisajes forestales asociados a cultivos herbáceos en el alto Atlas atlántico marroquí (caso del valle inferior del Oued Tamri)*

Hicham Irifi 0000-0003-4323-060X
Abdellatif Tribak 0000-0002-1564-5886
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.08 ..... *153-184*

Impact des caractétistiques hydro-morphométriques sur la reponse hydrologique du bassin versant de l'oued Adoudou (Anti-Atlas Occidental, Maroc) / *Impact of hydro-morphometric characteristics on the hydrological response of the Adoudou river watershed (Western Anti-Atlas, Morocco) / Impacto de las características hidromorfométricas según el comportamiento hidrológico de la cuenca del río Adoudou (Anti-Atlas Occidental, Marruecos)*

Hassan Nait-Si 0000-0003-3299-5447
M'hamed Nmiss 0009-0001-4107-3690
Mahjoub Benbih 0009-0008-5759-8097
Abdourrahmane Boukdoun 0009-0000-2703-1622
Abderrahmane Ouammou 0009-0000-3579-1947
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09 ..... *185-217*

Servicios, desarrollo económico y revitalización demográfica en La Campana de Oropesa y Cuatro Villas (Toledo) / *Services, economic development and demographic revitalisation in La Campana de Oropesa y Cuatro Villas (Toledo)*

Daniel Casas-Casas 0000-0002-9921-1566
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.10 ..... *218-244*

Cartographie des géo-ressources du plateau de Lakhssas et du massif d'Ifni (Maroc): une perspective géomatique et géotechnique / *Geo-resource mapping in the Lakhssas plateau and Ifni massif, Morocco: a geomatics and geotechnical perspective / Cartografía de recursos geográficos en la meseta de Lakhssas y el macizo de Ifni, Marruecos: una perspectiva geomática y geotécnica*

Mohamed Mahmoud Sebbab 0000-0001-6520-9129
Abdelhadi El Ouahidi 0009-0008-9407-4508
Mohamed Atik 0009-0006-3066-9647
Hamza Taghlaoui 0009-0008-8210-9339
Abdessamad El Atillah 0000-0003-2739-2617
Mehdi Ousbih 0000-0002-3312-614X
Khadija Sebbab 0009-0007-4615-9702
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.11 ..... *245-265*

Impacts anthropiques sur la dégradation des sols et la durabilité des écosystèmes oasiens du Moyen Draa (Maroc) / *Impact of human activities on soil degradation and sustainability of oasis ecosystems in the Middle Draa (Morocco) / Impactos antropogénicos sobre la degradación del suelo y la sostenibilidad de los ecosistemas de oasis en el Draa Medio (Marruecos)*

Mahjoub Benbih 0009-0008-5759-8097
Abderrahmane Ouammou 0009-0000-3579-1947
M'hamed Nmiss 0009-0001-4107-3690
Abdourrahmane Boukdoun 0009-0000-2703-1622
Hassan Nait-Si 0000-0003-3299-5447
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.12 ..... *266-285*

Revista de Estudios Andaluces (REA) | Núm. 50, julio (2025) | e-ISSN: 2340-2776
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50 | © Editorial Universidad de Sevilla 2025
https://editorial.us.es/es/revistas/revista-de-estudios-andaluces
https://revistascientificas.us.es/index.php/REA
CC BY-NC-SA 4.0.

INDEX

Summary of Articles

Impact of land instability on road infrastructure in the Southern Central Rif (Case of PK 144 on regional road 408 - Taounate, Morocco)
Khalid El-Moudni 0009-0005-5453-6710
Abdelghani Houari 0000-0002-7037-584X
El Houssaine Afkir 0009-0009-4233-4491
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.01 ..... *287-289*

Analysis of the development of 15-minute cities in Andalusia using Twitter and OpenStreetMap data
Joaquín Osorio-Arjona 0000-0002-0102-8756
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.02 ..... *290-292*

Brotherhood marketing in Andalucia: prospective analysis through the Delphi method
Franscisco Javier Cristófol-Rodríguez 0000-0002-0967-3514
Diego Berraquero-Rodríguez 0009-0007-4238-0098
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.03 ..... *293-295*

Conventional and innovative financing strategies for local public transport: insights from the italian context
Tiziano Pavanini 0000-0001-8709-3710
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.04 ..... *296-298*

Rockfalls in the Zireg watershed: factors of genesis and mapping of risk zones (Middle Atlas - Morocco)
Mohamed Benaissa 0009-0004-6716-6512
Jaouad Gartet
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.05 ..... *299-301*

The study of social capital through the social network analysis for a participatory tourism management: a governance network proposal for Tierra Bobal (Valencia)
Ruben Arnandis-i-Agramunt 0000-0002-8928-530X
J. Javier Serrano-Lara 0000-0003-0349-4176
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.06 ..... *302-304*

Spatial analysis of CO_2 emissions and their relationship with economic activity in the states of Mexico
Abril Yuriko Herrera-Ríos 0000-0001-9301-9285
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.07 ..... *305-307*

Dynamics of forest landscapes associated with bours crops in Morocco's High Atlantic Atlas (case of the lower Oued Tamri valley)
Hicham Irifi 0000-0003-4323-060X
Abdellatif Tribak 0000-0002-1564-5886
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.08 ..... *308-310*

Revista de Estudios Andaluces (REA) | Núm. 50, julio (2025) | e-ISSN: 2340-2776
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50 | © Editorial Universidad de Sevilla 2025
https://editorial.us.es/es/revistas/revista-de-estudios-andaluces
https://revistascientificas.us.es/index.php/REA
CC BY-NC-SA 4.0.

Impact of hydro-morphometric characteristics on the hydrological response of the Adoudou river watershed (Western Anti-Atlas, Morocco)
Hassan Nait-Si 0000-0003-3299-5447
M'hamed Nmiss 0009-0001-4107-3690
Mahjoub Benbih 0009-0008-5759-8097
Abdourrahmane Boukdoun 0009-0000-2703-1622
Abderrahmane Ouammou 0009-0000-3579-1947
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09 ..... *311-314*

Services, economic development and demographic revitalisation in La Campana de Oropesa y Cuatro Villas (Toledo)
Daniel Casas-Casas 0000-0002-9921-1566
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.10 ..... *315-317*

Geo-resource mapping in the Lakhssas plateau and Ifni massif, Morocco: a geomatics and geotechnical perspective
Mohamed Mahmoud Sebbab 0000-0001-6520-9129
Abdelhadi El Ouahidi 0009-0008-9407-4508
Mohamed Atik 0009-0006-3066-9647
Hamza Taghlaoui 0009-0008-8210-9339
Abdessamad El Atillah 0000-0003-2739-2617
Mehdi Ousbih 0000-0002-3312-614X
Khadija Sebbab 0009-0007-4615-9702
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.11 ..... *318-322*

Impact of human activities on soil degradation and sustainability of oasis ecosystems in the Middle Draa (Morocco)
Mahjoub Benbih 0009-0008-5759-8097
Abderrahmane Ouammou 0009-0000-3579-1947
M'hamed Nmiss 0009-0001-4107-3690
Abdourrahmane Boukdoun 0009-0000-2703-1622
Hassan Nait-Si 0000-0003-3299-5447
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.12 ..... *323-326*

Artículos



Revista de Estudios Andaluces (REA) | Núm. 50, julio (2025) | e-ISSN: 2340-2776
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50 | © Editorial Universidad de Sevilla 2025
https://editorial.us.es/es/revistas/revista-de-estudios-andaluces
https://revistascientificas.us.es/index.php/REA
CC BY-NC-SA 4.0.

Impact des instabilités de terrains sur les infrastructures routières dans le Rif central méridional (Cas du PK 144 de la RR 408 " -Taounate, Maroc)

Impact of land instability on road infrastructure in the Southern Central Rif (Case of PK 144 on regional road 408 - Taounate, Morocco)

Impacto de la inestabilidad del terreno en las infraestructuras viarias del centro sur del Rif (Caso del PK 144 de la RR 408 -Taounate, Marruecos)

Khalid El-Moudni
khelmoudni@gmail.com 0009-0005-5453-6710
Ministère de l'Éducation nationale, du Préscolaire et des Sports. Académie Régionale de L'Education et de Formation, Tanger – Tétouan - Al Hoceïma. BP 5183 - Tétouan. Av Mohammed Bannouna, Boujarrah. 93040 Tétouan, Maroc.

Abdelghani Houari
gartet.abdelghani@gmail.com 0000-0002-7037-584X
Département de Géographie, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines Sais-Fès, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès. BP 59, Route Immouzer. 30000 Fès, Maroc.

El Houssaine Afkir
elafkir@gmail.com 0009-0009-4233-4491
Equipe d'Etudes et Recherches en Géographie et Développement Durable, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Tétouan, Université Abdelmalek Essaâdi, Maroc. RN 16. BP 210. 93150, Martil, Maroc.

INFO ARTÍCULO

Reçu: 31-05-2024
Révisé: 16-12-2024
Accepté: 14-01-2025

MOTS-CLÉS

Rif central méridional
Unité structurale
Instabilité
Glissement

RÉSUMÉ

La zone d'étude appartient à l'unité structurale externe du Rif marocain, et plus précisément au sein du Rif central méridional (domaine du Mesorif), qui est considérée comme une zone de transition entre deux grandes unités; le Prérif au sud et le Rif interne au nord. En effet, ces zones se caractérisent par une forte susceptibilité à l'instabilité des versants, sous l'influence de plusieurs facteurs, dont les principaux sont ; la prédominance de roches tendres, reliefs accidentés à pentes abruptes, l'agressivité du climat, la forte érosion fluviale..., ainsi que les formes d'exploitation du sol, le déboisement et l'ouverture des routes. L'instabilité des versants affecte négativement les biens des populations et les infrastructures, notamment les routes et les ouvrages d'art associés. Dans la présente étude, nous traiterons cette problématique en présentant un cas typique des phénomènes d'instabilité dans le Rif central méridional, sur la route régionale n°408 au point kilométrique 144, qui est affecté par une dynamique superficielle (ravines et coulées) et semi-profonde combinant affaissement et glissement à une vitesse moyenne atteint 30,7 cm entre 2016 et 2021. Afin d'atteindre les objectifs de ce travail, une méthodologie scientifique a été adoptée, basée sur la recherche de terrain (suivi temporel du mouvement de glissement par l'utilisation de barres de fer), la réalisation d'analyses en laboratoire pour déterminer les caractéristiques du sol, et l'exploitation des études géotechniques qui ont réalisé des sondages jusqu'au substratum rocheux.

DOI: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.01
Formato de cita / Citation: El-Moudni, K., Houari, A., & Afkir, El H. (2025). Impact of land instability on road infrastructure in the Southern Central Rif (Case of PK 144 on regional road 408 - Taounate, Morocco). *Revista de Estudios Andaluces* (50), 8-32. https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.01
Correspondencia autores: khelmoudni@gmail.com (Khalid El-Moudni)

KEYWORDS

Southern central Rif
Structural unit
Instability
Landslide

ABSTRACT

The study area belongs to the external structural unit of the Moroccan Rif, and more precisely within the southern Central Rif (Mesorif domain), which is considered a transition zone between two major units: the Prérif to the south and the Internal Rif to the north. Indeed, these areas are characterized by a high susceptibility to slope instability, under the influence of several factors, the main ones being: the predominance of soft rocks, rugged terrain with steep slopes, aggressive climate, strong fluvial erosion..., as well as land use practices, deforestation, and road construction. Slope instability negatively affects the populations' properties, and infrastructure, particularly roads and associated engineering structures (bridges, culverts, etc.). In this study, we will address this issue by presenting a typical case of instability phenomena in the southern Central Rif, on regional road 408 at kilometer point 144, which is affected by surface dynamics and semi-deep erosion combining subsidence and landslide at an average speed of 30.7 cm between 2016 and 2021. In order to achieve the objectives of this work, a scientific methodology has been adopted, based on field research (temporal monitoring of the sliding movement using iron bars), laboratory analyses to determine the soil characteristics, and the use of geotechnical studies that have carried out deep boreholes down to the bedrock.

PALABRAS CLAVE

Rif centro sur
Unidad estructural
Inestabilidad
Deslizamiento

RESUMEN

La zona de estudio pertenece a la unidad estructural externa del Rif marroquí, y más precisamente dentro del Rif centro sur (dominio del Mesorif), que se considera una zona de transición entre dos grandes unidades; el Prerif al sur y el Rif interno al norte. En efecto, estas zonas se caracterizan por una fuerte susceptibilidad a la inestabilidad de las laderas, bajo la influencia de varios factores, entre los que destacan: la predominancia de rocas blandas, relieves accidentados con pendientes abruptas, la agresividad del clima, la fuerte erosión fluvial..., así como las formas de explotación del suelo, la deforestación y la apertura de carreteras. La inestabilidad de las laderas afecta negativamente a los bienes de las poblaciones y a las infraestructuras, especialmente las carreteras y las obras de fábrica asociadas. En el presente estudio, trataremos esta problemática presentando un caso típico de los fenómenos de inestabilidad en el Rif centro sur, en la carretera regional n°408 en el punto kilométrico 144, que se ve afectado por una dinámica superficial y semiprofunda que combina subsidencia y deslizamiento a una velocidad media que alcanza los 30,7 cm entre 2016 y 2021. Para alcanzar los objetivos de este trabajo, se adoptó una metodología científica, basada en la investigación de campo (seguimiento temporal del movimiento de deslizamiento mediante el uso de barras de hierro), la realización de análisis en laboratorio para determinar las características del suelo, y la explotación de los estudios geotécnicos que han realizado perforaciones profundas hasta el sustrato rocoso.

1. INTRODUCTION

Les risques naturels constituent aujourd'hui l'un des principaux enjeux et contraintes auxquels le monde est confronté, en raison de leurs conséquences néfastes sur les plans environnemental, économique et social (Sharpe, 1938; Tricart, 1977; Gueremy *et al.* 1987; Flageollet, 1989; Marre, 1998; Yvette, 2003; Olivier, 2002 et 2006). Le Maroc, pays méditerranéen caractérisé par une grande diversité géologique et climatique, est particulièrement vulnérable à ces aléas. Les phénomènes extrêmes tels que les inondations, les sécheresses, les séismes et les mouvements de terrain y sont récurrents, engendrant des conséquences socio-économiques et environnementales de plus en plus importantes (Gartet, 2007 et 2010; Suter, 1965; Morel, 1987). Ces événements représentent une menace pour les populations et les biens, et entravent le développement des régions touchées.

En raison de la fragilité des formations rocheuses, de l'agressivité climatique, de la forte pente et des interventions anthropiques non maîtrisées, la région du Rif est particulièrement exposée aux phénomènes morphodynamiques sur les versants et aux processus hydrodynamiques en bordure (berges) des cours d'eau (Lacoste, 1934; Suter, 1980; Leblanc, 1975; Maurer, 1964 et 1968; Al Karkouri, 2003). En conséquence, ce domaine se caractérise par une grande diversité de phénomènes (glissements, éboulements, coulées boueuses, affaissements, érosions fluviales...) qui menacent la stabilité des infrastructures routières et

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.01

des ouvrages d'art associés (Yazidi, 2002 ; Janati Idrissi, 2013; El-Moudni 2008 et 2022). Ces phénomènes engendrent d'importants dégâts matériels et économiques, compromettant ainsi les projets de développement socio-économique. C'est dans ce contexte que la problématique de l'instabilité des terrains a suscité l'intérêt de nombreux chercheurs.

Notre étude se concentrera sur le domaine du Rif central méridional, qui est fortement affecté par l'instabilité des versants, entraînant une dégradation continue des infrastructures routières. Cette forte récurrence est liée à la prédominance de formations géologiques fragiles, à la forte pente des terrains, à un réseau hydrographique dense, à l'intensité des pluies et à la construction de routes dans des zones à risque. À travers cette étude, nous présenterons un cas typique du domaine de Mesorif, au niveau de la route régionale 408 au point kilométrique 144. À cet endroit, l›axe routier est soumis à une dynamique complexe combinant des processus superficiels tels que les ravines et les coulées boueuses, entraînant l'obstruction des canalisations et la déséquilibre des remblais, ainsi que des instabilités semi-profondes comme d'affaissement et de glissement, avec une vitesse moyenne de 30,7 cm par an.

Cette étude vise à caractériser les processus d'instabilité des versants et à évaluer leur impact sur les infrastructures routières dans le domaine du Rif central méridional. A travers une approche géographique et géomorphologique; combinant travail de terrain (suivi l'évolution des phénomènes) et étude documentaire (rapports géotechniques, cartes et données climatiques), nous chercherons à identifier les facteurs de la genèse, de déclenchement et de réactivation de ces phénomènes.

2. LE CONTEXTE GENERAL DU MILIEU ET DU SITE ETUDIE

La zone d'étude est située dans les montagnes du Rif, plus précisément dans sa partie centrale méridionale, caractérisée d'un point de vue structural par la présence d'unités sous forme de nappes de charriages (nappes d'Aknoul, de Tanger, de Senhaja, unité de Loukous, fenêtres métamorphiques, zone de couverture tertiaire et zones de dépôts récents), constituées d'une structure géologique très complexe, affectées par une série d'accidents structuraux (failles et plis), caractérisée par une prédominance de roches friables, meubles et sensibles à l'instabilité (Asebriy, 1984; Poujol, 2014; Yazidi *et al.*, 1995). Ce domaine est traversé par plusieurs oueds, dont oueds d'Oudiyar, Oudeur, Aoulay, Amzez, Sra..., se caractérisent par un réseau de drainage orientés du nord vers le sud, et ils convergent (se rejoignent) tous au niveau de l'oued Ouergha qui dessine sa forme sub-arquée depuis l'est vers l'ouest (figure 1).

Le climat du Rif central méridional est un climat méditerranéen avec des variations locales importantes dues à l'altitude et à l'influence maritime. Il se caractérise par des étés chauds et secs et des hivers doux et humides, avec des précipitations concentrées en automne et en hiver. Concernant la température, en étés est chaud et sec, atteindre au moyen 37,1°C, et en hivers est doux et humides, avec des températures de 4,7°C en moyen (selon la station d'Ourtzagh). Tandis que les précipitations ; sont concentrées principalement en automne et en hiver, avec un moyen annuel varie considérablement en fonction de l'altitude et de l'exposition des versants, où les zones montagneuses reçoivent plus de précipitations (736,9 mm en moyen selon la station Bab Ouender, période 1956-2021) que les dépressions (511,2 mm en moyen selon la station d'Ain Aicha, période 1981-2021).

Ce demain est caractérisé par une forte pression démographique, avec une densité de population variant entre 144 et 210 hab./km^2 (cas des communes d'Aïn Mediouna, Sidi Yahya Beni Zeroual, Aïn Aïcha...), dont la plupart des activités économiques sont liées à l'agriculture et au commerce. Parmi les agglomérations les plus importantes de cette région, on cite la ville de Taounate, puis des centres semi-urbains émergents tels que Galaz, Ghafsaî, Bouhouda, Aïn Aïcha, Ourtzagh, Ain Mediouna, Khlalfa...etc.

Le site instable est localisé à la convergence des coordonnées géographiques 34° 31' 54,2" Nord et 04° 57' 20,1" Ouest, à une altitude de 192 mètres (figure 2). Le versant est orienté vers l'ouest, sa pente caractérisée par une forte irrégularité spatiale. Le talus, particulièrement au début, atteint une inclinaison de 75° et montre des signes de fragmentation (fissures) au niveau de la roche. Les pentes s'adoucissent ensuite, variant entre 40° et 50° jusqu'au point kilométrique 144+300.D'autre part, le site étudié est caractérisé par la prédominance de formations argileuses peu perméables.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.01

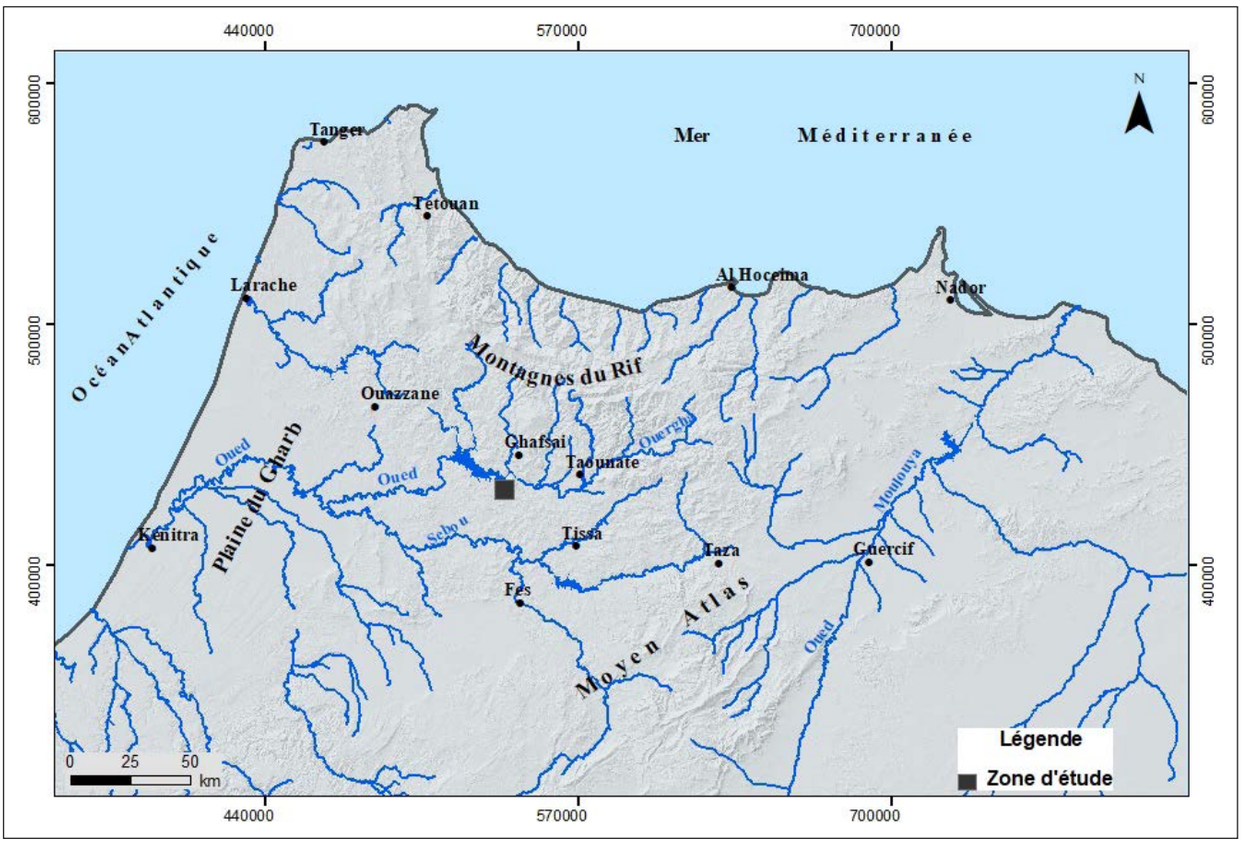


Figure 1. Localisation générale de la zone d'étude. Source: Cartes topographiques –élaboration propre–.

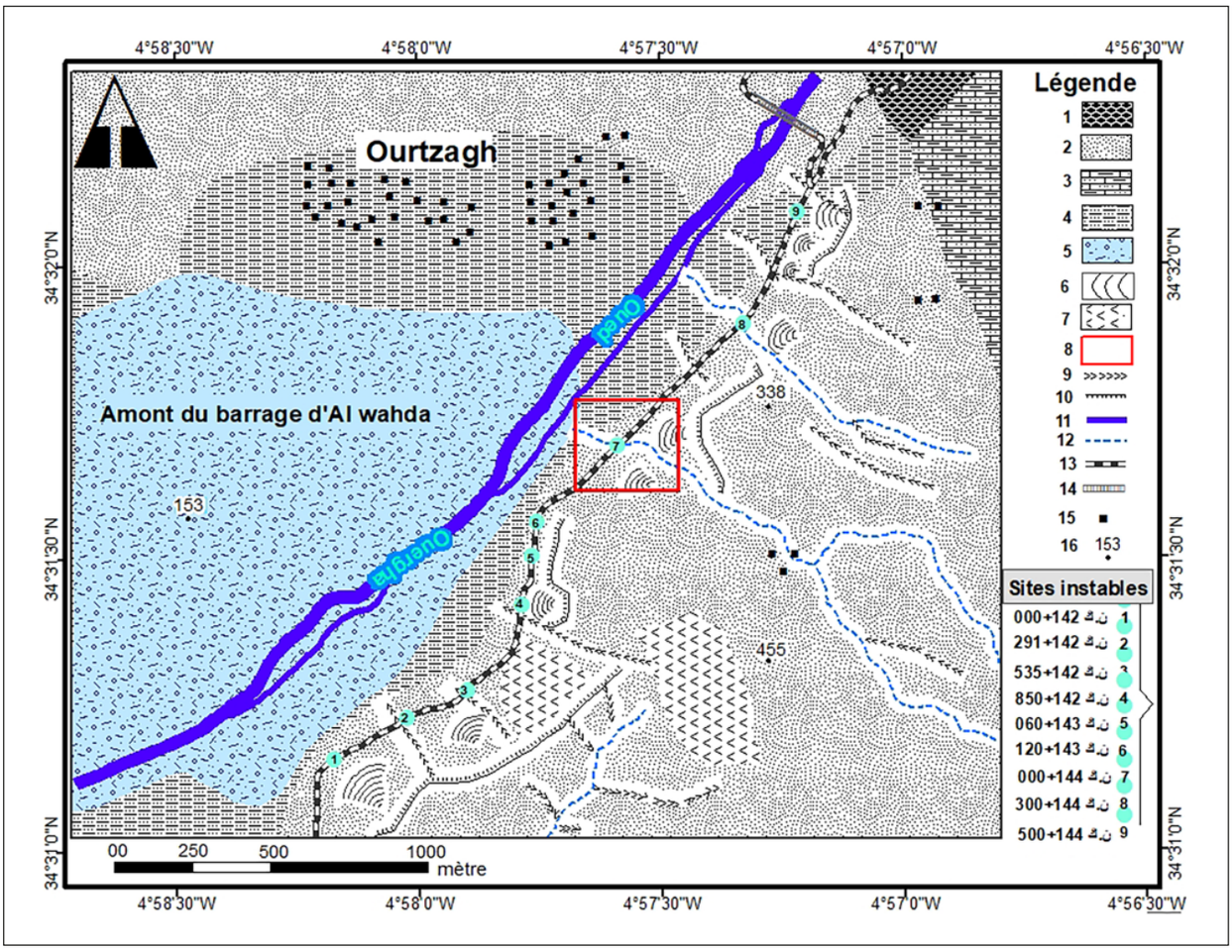


Figure 2. Localisation du site instable dans son contexte général. Source: Images satellites (2019), recherche de terrain et carte géologique du Rif au 1/500.000 –élaboration propre-. **1**: Conglomérat noir et grès massifs à silex, **2**: marne bleue, affleurements gréseuses et conglomérat, **3**: flych gréseux et calcaire, **4**: basses terrases, **5**: zone submergée par les eaux du barrage, **6**: coulées boueuses et glissements , 7: badlands, **8**: le site étudié, **9**: ravines, **10**: niches d'arrachement, **11**: oued Ouergha, **12**: cours d'eau saisonier, **13**: RR 408, **14**: pont, **15**: habitation, **16**: point d'altitude.

© Editorial Universidad de Sevilla 2024 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.01

3. MATERIELS ET METHODES

3.1. Etude et analyses granulométriques des sols

Ce processus consiste à soumettre un échantillon de sol à un tamis, qui permet de passer un échantillon de matériau à travers une série de tamis emboîtés les uns sur les autres, dont les mailles ont des ouvertures de plus en plus petites de haut en bas. Les particules dont la taille est supérieure à l'ouverture du tamis sont retenues, tandis que les particules plus petites le traversent et sont collectées par le tamis inférieur. Les matériels utilisés dans ce processus sont; une série de tamis normalisés (norme NF P 18-552), un agitateur mécanique, une balance de précision, un collecteur de fond et un pinceau. Les procédures pratiques suivies dans ce processus sont successivement les suivantes: préparation de l'échantillon (sécher l'échantillon et déterminer la masse totale M), montage de la série de tamis (d'ordre décroissant), verser l'échantillon sec sur le tamis supérieur, mettre en marche du tamis mécanique d'une durée de 10 minutes, peser des refus sur chaque tamis, et enfin de calculer le pourcentage de chaque fraction granulométrique par rapport à la masse totale de l'échantillon; soit pour le pourcentage passant au tamis i en fonction de l'équation (M-Σmj (j=1 à i)/M* 100, ou pour le retenu sur le tamis i en fonction de (mi / M) * 100.

D'autre part, et pour identifier et évaluer le comportement du sol, les essais de limites d'Atterberg ont été effectués, en utilisant la norme de NF P94-051. A travers ces essais, nous avons identifié les déterminants suivants:

- La limite de liquidité (LL) par la méthode de la coupelle de Casagrande;
- La limite de plasticité (LP);
- L'indice de plasticité (IP), qui est la différence entre la limite de liquidité et la limite de plasticité, où : IP = LL-LP;
- L'indice de consistance (Ic), pour caractériser l'état hydrique du sol et d'évaluer sa consistance. La formule utilisée est: IC = (LL - w) / IP (*où : LL est la limite de liquidité, W est la teneur en eau, et IP est l'indice de plasticité).*

3.2. Déterminer des propriétés mécaniques du substrat à partir des rapports géotechniques

La connaissance des caractéristiques mécaniques et granulaires des sols profonds permet de comprendre dans quelle mesure la formation rocheuse est sensible à certains phénomènes d'instabilité, notamment en ce qui concerne les glissements de terrain profonds, les affaissements et les effondrements. A cet effet, on a exploité les résultats des rapports géotechniques effectués par le service de l'Equipement et des Transports en partenariat avec le Laboratoire Public d'Etudes et d'Essais (LPEE). Les sondages profonds effectués dans le site étudié sont: trois sondages pressiométriques –SP– (pour calculer la portance du sol), et trois sondages pénétromètres dynamique –SPD– (pour but de déterminer la résistance dynamique), complétées par l'achèvement de puits par une pelle robotisée et des analyses de laboratoire. A partir de ces résultats, et afin de connaître les réactions du sol à différentes profondeurs, on a mesuré la pression de fluage (PF), la pression-limite (PL) et le module de pression (EM), (selon la classification de Ménard L., 1963).

3.3. Le travail de terrain et outils de mesurer l'affaissement de masse

Dans cette étude, le travail de terrain est constitué un processus indispensable pour ajuster l'instabilité du terrain. Il nous a permet d'observation directe, prendre des mesures, analyser les phénomènes et suivre leur évolution temporelle.

Pour le but d'évaluer la vitesse du glissement et compréhension de leur mécanismes, nous avons basé sur une technique simple à travers des tiges de fer. De sorte que 18 tiges (de 1,10 mètres) ont été

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.01

installées le long de la niche d'arrachement (figure 3), dont neuf sur la zone stable, opposées de façon perpendiculaire aux 9 tiges au niveau de la masse glissante. En mesurant régulièrement la position et la distance de déplacement entre les tiges opposées (exemple: la tige P5 située en face de la tige P'5). La vitesse de glissement est calculée en divisant le déplacement mesuré entre deux observations par l'intervalle de temps entre ces observations (où: *Vitesse* = *Déplacement / Temps*).

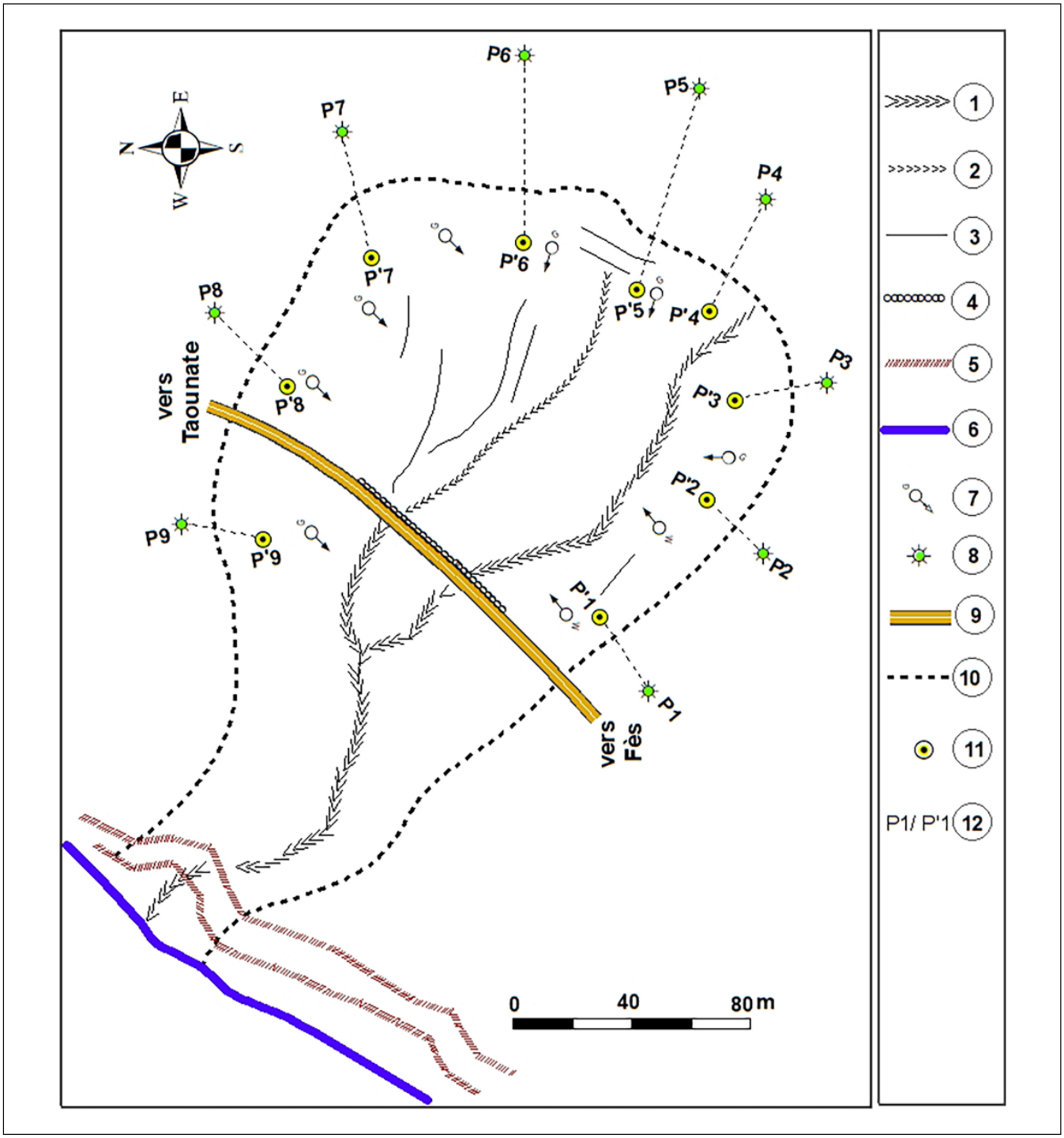


Figure 3. Quelques indicateurs d'instabilité et localisation des tiges de fer. Source: travail du terrain (entre 2016 et 2021 –élaboration propre-). **1**: ravinement concentré profond ; **2**: ravins ; **3**: fissuration de retrait ; **4**: zone d'accumulation des eaux et matériaux fins; **5**: terrasses résultant de la montée des eaux du barrage ; **6**: oued Ouergha. 7: orientation de la pente et le mouvement de masse et des particules ; **8**: barres de fer plantées en dehors de la masse glissée (zone stable) ; **9**: tronçon routier menacé ; **10**: limite de la masse en mouvement ; **11**: barres de fer plantées sur la zone de glissement ; **12**: la distance entre deux points de mesure.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.01

4. RESULTATS ET DISCUSSION

4.1. Conditions locales de la genèse et évolution de la dynamique au pk 144

4.1.1. Impact des facteurs météorologiques sur l'instabilité du terrain

Le travail de terrain montre que les phénomènes d'instabilité sont étroitement liés à la quantité et à la durée des précipitations. En effet, la plupart des cas d'affaissements (réactivation du glissement) ont été enregistrés pendant et après des périodes de pluies intenses ou prolongées. Afin d'illustrer ce facteur, nous nous appuierons sur la période climatique 2017-2019, en se basant sur la station d'Ain Aicha (figure 4).

L'analyse des données de la figure 4 permet de conclure que:

- De fortes variations des précipitations mensuelles sont observées au sein d'une même saison, ainsi qu'entre les saisons. Avec une grande variabilité interannuelle (exemple : 883.9 mm en 2017-2018 et 650.7 mm en 2018-2019);
- De fortes variations des précipitations mensuelles sont observées, tant au sein d'une même saison qu'entre les mêmes mois d'une saison à l'autre (Par exemple, les précipitations totales ont atteint 339 mm en mars 2017-2018, alors qu'elles n'ont pas dépassé 15,9 mm durant le même mois de la saison 2018-2019;
- Une forte concentration sur certaines périodes, avec des pics à 339 mm en mars 2017-2018 et 273,5 mm en octobre 2018-2019, entrecoupées de périodes sèches s'étendant de juin à août, ce qui caractérise un climat méditerranéen typique.

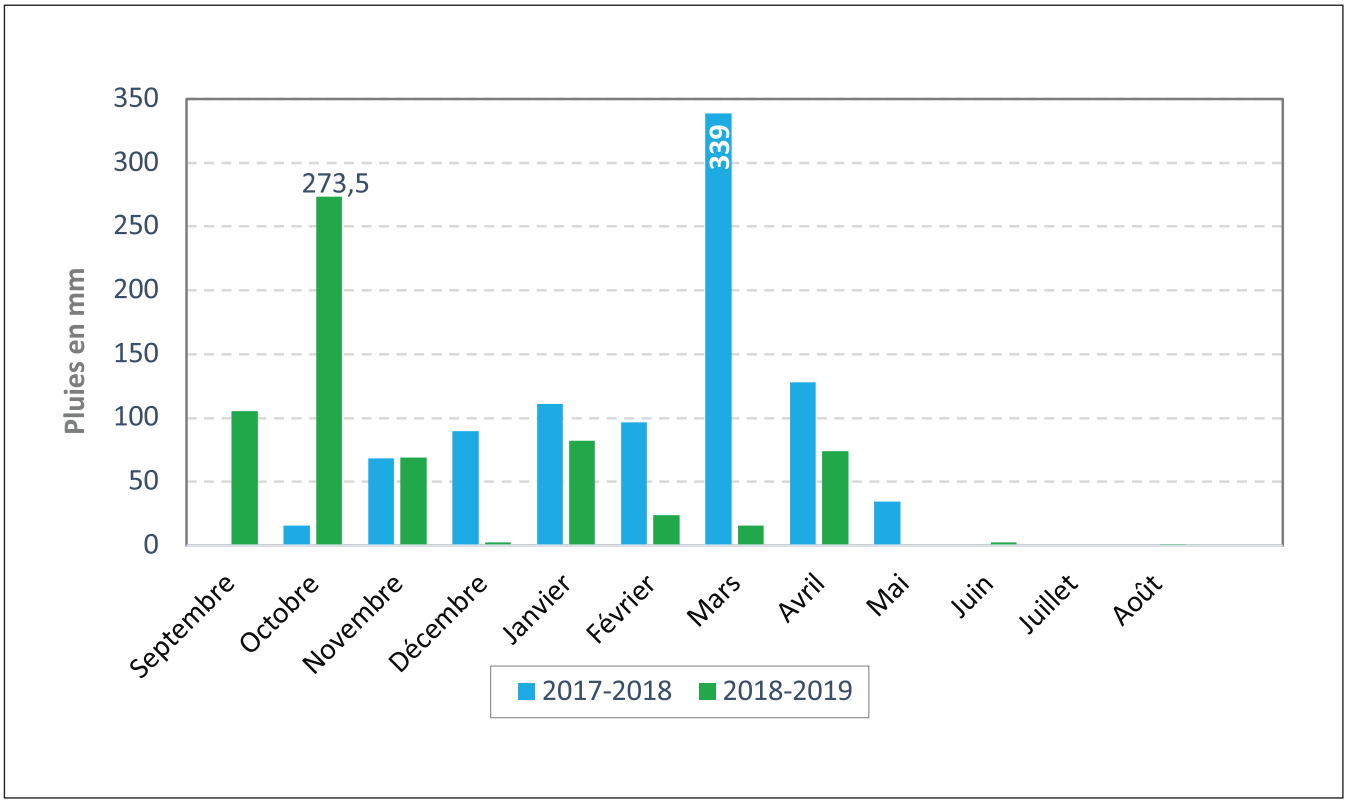


Figure 4. La distribution mensuelle des pluies au cours des saisons 2017-2018 et 2018-2019 selon la station d'Ain Aicha. Source: ABHS-Fès –élaboration propre-.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.01

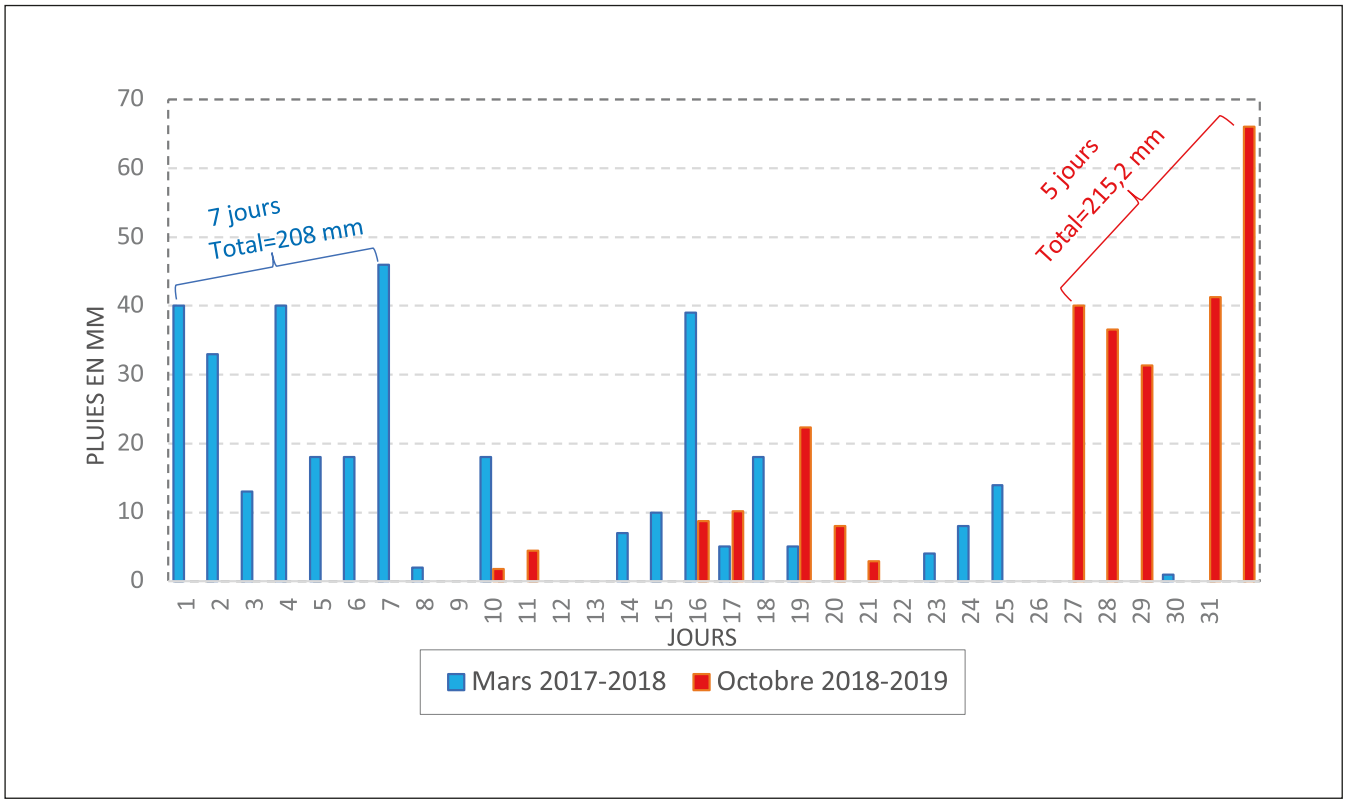


Figure 5. Répartition des pluies journalières au cours des mois de mars 2017-2018 et octobre 2018-2019 selon la station d'Ain Aicha. Source: ABHS-Fès –élaboration propre-.

Nous nous baserons sur les données des mois de mars 2017-2018 (à la saison d'hiver) et octobre 2018-2019 (à la saison d'automne), étant donné qu'ils sont les plus pluvieux. Ces données nous permettront de tirer les conclusions suivantes: 15

- Événements extrêmes et une grande variabilité des pluies journalières au cours des mois étudiés, avec des pics à 46 mm le 7 mars 2017-2018 et 66 mm le 31 octobre 2018-2019 (figure 5);
- Une forte concentration temporelle des pluies, avec des événements pluvieux de longue durée. En effet, la durée du 1er à 7 mars 2017-2018, a enregistrée 208 mm. Aussi entre le 26 et le 31 octobre (5 jours) 2018-2019, a enregistrée 215,2 mm (figure 5). Ces événements accélèrent le débit du cours d'eau, augmentant ainsi son pouvoir d'érosion des berges.

A partir de suivi de terrain, on affirme que cette forte concentration des pluies a provoqué une déstabilisation de versant, se manifestant par la réactivation de glissement et l'apparition de nouveaux ravinements et coulées. Ce fait indique que cette instabilité est attribuable à l'augmentation significative de l'humidité des sols, favorisée par l'infiltration des eaux. Aussi les propriétés mécaniques des sols (la résistance et la cohésion) se sont détériorées, conduisant à des pertes d'équilibre et à de mouvement de masse.

D'autre part, en raison de la prédominance des formations argileuses, la température est un facteur influençant significativement les propriétés des sols, en particulier compte tenu des écarts de température importants qui caractérisent la zone d'étude (en moyenne 4,7°C en hiver et 37.1°C en été). L'action de la température se traduise par les mécanismes suivants (El-Moudni, 2022):

- Dilatation et contraction thermiques, résulte des variations de température, le sol se dilate lorsqu'il fait chaud et se contracte lorsqu'il fait froid. Ces mécanismes répétés entraînent l›apparition des fissures dans les couches (observation visuelle);

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.01

- Le séchage du sol à cause d'évaporation, qui réduise sa teneur en eau. Cette perte d'eau provoque un retrait des particules du sol et la genèse de pores, augmentant ainsi sa porosité et sa fragilité;
- Les variations de température, en altérant la cohésion du sol, favorisent sa dégradation et augmentent sa sensibilité aux contraintes.

4.1.2. Impact de la dynamique fluviale sur l'instabilité du versant

La dynamique fluviale est considérée comme l'un des principaux facteurs naturels déclenchant l'instabilité des versants dans le domaine du Rif central méridional. Ce domaine se caractérise par des conditions favorables accentuent l'impact de l'eau sur l'érosion des berges (Afkir, 1985; Gartet, 1994; El-Fengeur, 2009). Ces conditions sont caractérisées par la faible perméabilité des sols, pentes très abruptes, la densité du réseau hydrographique, la dégradation de la couverture végétale et la concentration des précipitations (Gartet, 2001; El-Ommal, 2021). Ces conditions contribuent à rendre la réponse hydrologique de l'oued Ouergha rapide et violente, avec des débits instantanés atteignant des niveaux records (tableau 1), menaçant ainsi la stabilité des versants et des infrastructures routières. Pour illustrer cela, prenons l'exemple de l'évolution du débit instantané de cet oued à la station d'Ain Aïcha le 14 janvier 2010, qui est passé de 663 m^3/s à minuit à 2100 m^3/s à 10 heures du matin (figure 6).

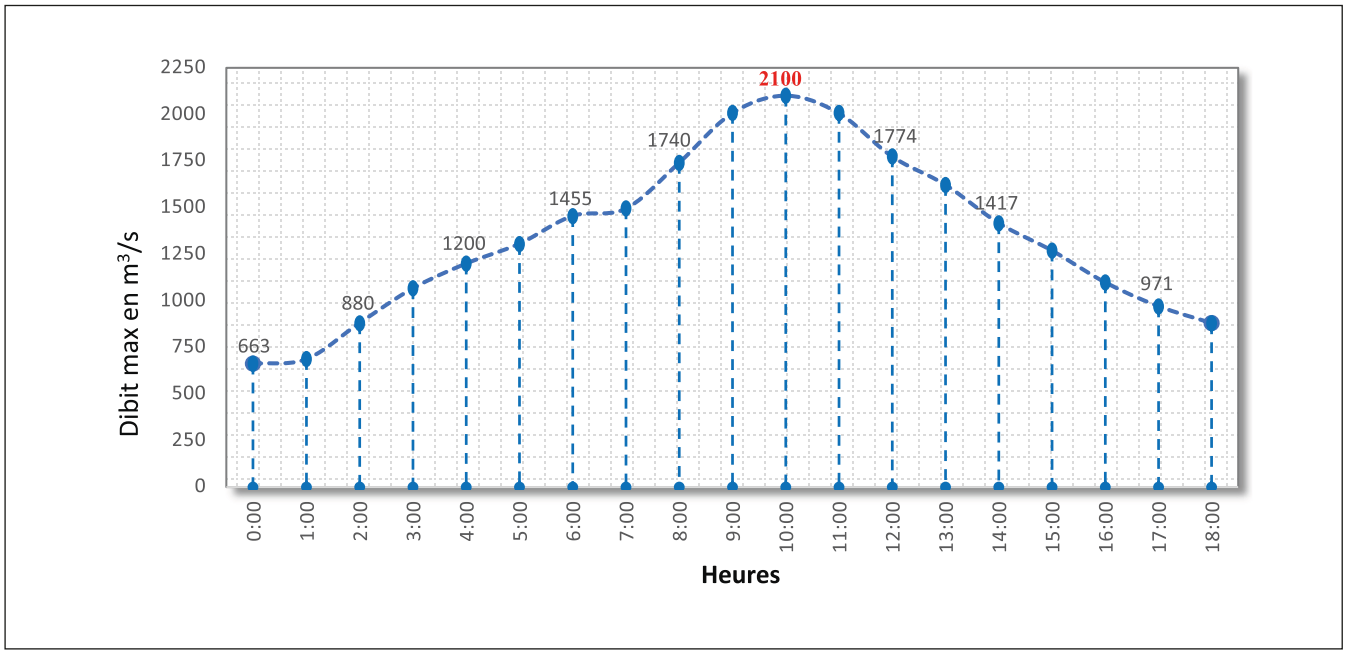


Figure 6. Évolution du débit instantané de l'Oued Ouergha entre minuit et 18 heures le 14 janvier 2010 à la station d'Ain Aïcha. Source: ABHS-Fès –élaboration propre-.

En général, l'impact de l'eau d'oued Ouergha sur l'instabilité du versant s'exerce par les mécanismes suivants:

- Sous-creusement: Où l'eau qui coule à la base du versant érode les matériaux, creusant ainsi un vide. Cette perte de support entraîne une diminution de la résistance du versant, le rendant plus susceptible de glisser;
- Erosion latérale: Le courant d'eau creuse les berges, entraînant un recul du versant et une modification de sa pente;
- Variations du débit: Ces variations peuvent induire des changements brusques de la force exercée sur le versant, favorisant ainsi leur instabilité.

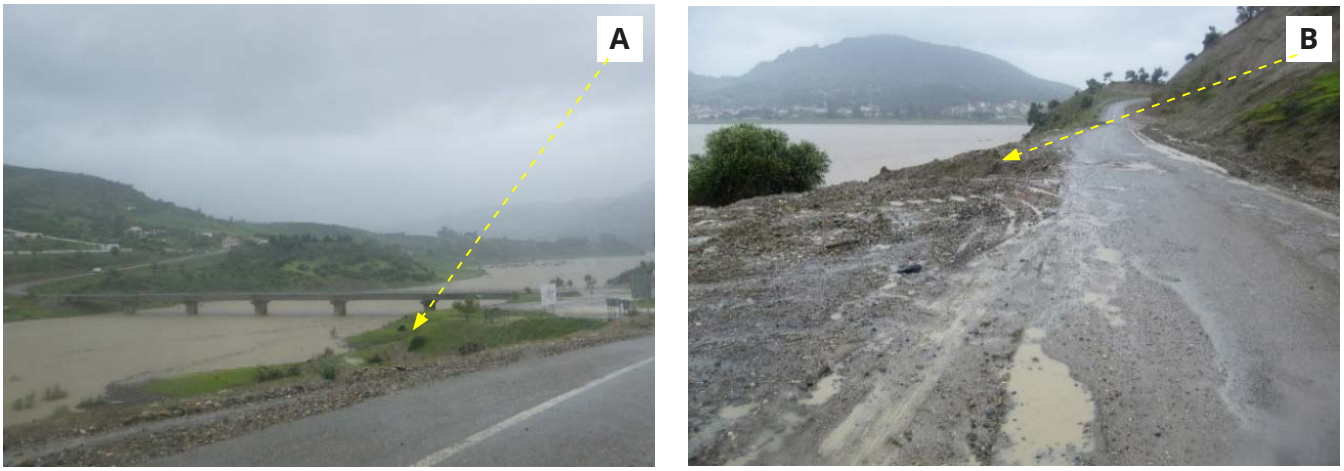
© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.01

Tableau 1. La situation du versant et du tronçon routier par rapport à la fréquence des écoulements de l'oued (mesure de 10 avril 2018).

Pk de la RR 408	La distance entre (en mètre)			Le niveau de l'eau en bas de versant (en mètre)
	La route et le pied du talus	Le bas de talus et le lit de l'oued à débit minimal	La route et le niveau d'eau à la hauteur maximale de débit	
144	175	68	146	29

Source: travail de terrain (élaboration propre).

De même, les observations et l'étude menée directement sur le terrain on bien élucidé l'impact des eaux retenues dans le barrage El Wahda une fois en contact avec les bas versant limitrophes (photos 1 et 2). Les imbibitions de l'eau qui se font latéralement, contribue à l'engorgement du substratum rocheux, et une fois le seuil de viscosité est franchi; les phénomènes liés à l'instabilité d'ensemble prennent naissance pour déclencher des empilements de matériaux arrachés de l'amont vers l'aval, sous l'effet de la gravité, volumes des vides et le poids de la masse décollée (Gartet, 1994; El-Moudni, 2022).



Photos 1 et 2. Hauteur importante de débit au niveau du pont de Ourtzagh (photo A au pk 144+500) et l'impact de l'eau imbibé sur le pied de versant étudié et sur le tronçon routier en question (photo B au pk 143+60). Source: auteurs, Cliché le 10 avril 2018.

4.1.3. Le rôle du mauvais drainage routier dans l'instabilité du versant

Le mauvais drainage routier est un facteur aggravant significatif dans l'instabilité de versant (Janati, 2013). Il contribue directement à la dégradation des sols et à l'augmentation du mouvement de la masse (photo 3). En effet, l'eau stagnante à proximité du tronçon routier affecte la stabilité du versant à travers de:

- Saturation du sol augmentant la pression interstitielle, et réduisant ainsi leur résistance au cisaillement et augmentant leur susceptibilité au mouvement (Boiffin, 1984);
- L'eau de ruissellement non canalisée augmente l'intensité d'érosion, creusant des ravines et fragilise la stabilité du versant. Aussi, elle entraîne le transport de particules fines, ce qui réduit la cohésion des sols et favorise le glissement;
- L'eau qui s'infiltre sous les fondations provoque des tassements différentiels, ce qui peut à son tour déstabiliser le versant;
- Augmentation de la pression hydrostatique à cause d'accumulation de l'eau dans les fissures, ce qui provoque des dilatations et des ruptures, favorisant ainsi le mouvement de masse.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.01



Photo 3. L'accumulation des eaux de pluie au-dessus de tronçon routier, due à l'insuffisance et à l'inefficacité des systèmes de drainage. Est un phénomène plus fréquent dans le Rif central méridional. La photo prise de pk 144+100 de la route régionale 408. Source: auteurs, Cliché le 13 avril 2018.

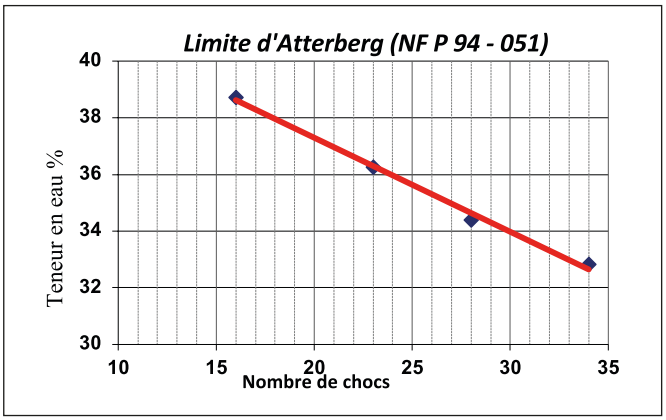
4.1.4. Vulnérabilité des formations superficielle aux phénomènes d'instabilité

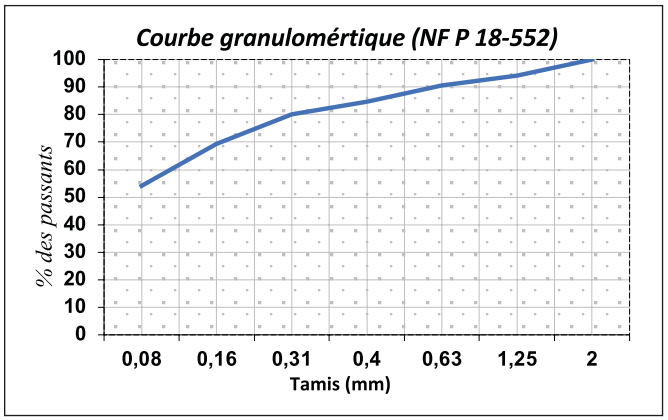
Le tableau 2 ci-dessous présente les résultats granulaires d'un échantillon de sol prélevé au-dessus de la masse instable.

Tableau 2. Résultats d'analyse granulaire d'un échantillon du sol pris du versant instable à une profondeur de 0,4 mètre.

Date de prise d'éch.	PK	Situation sur le versant	yh g/cm³	Teneur en eau W (%)	Limites d'Atterberg		IC	Propriétés granulaires	
					LW	LP		% >2 mm (%)	% < 80 µm (%)
10/09/2018	144	Côté droit du tronçon	107	25.88	36.0	15.0	0.48	5.88	54.12

Source: analyses réalisées au laboratoire géotechnique méditerranéen –élaboration propre-.





Figures 7 et 8. Courbes d'analyses granulaires d'échantillon testé au niveau de la masse glissée. Source: analyses réalisées au laboratoire géotechnique méditerranéen –élaboration propre-.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.01

Les résultats obtenus (représentés dans le tableau 2 et les figures 7 et 8) montrent que la zone étudiée est caractérisée par la domination des formations alluviales limoneuses de viscosité moyenne, classé comme sol fin (A3), pour que l'indice de viscosité est d'ordre de 21%, et les matériaux fins dont le diamètre moins de 80 µm sont d'environ 54,12%. Les formations semi-superficielles se caractérisent par une augmentation significative de la teneur en eau; qui atteint 25,88 %. Cela indique qu'il s'agit de l'une des formations caractérisées par leur grande capacité d'absorber et de retenir de l'eau. Ce qui influe directement le degré de leur cohésion et de leur résistance.

4.1.5. Un substrat rocheux aux propriétés géotechniques favorables à la genèse du glissement

Le tableau 3 ci-dessous, présente des résultats des sondages profonds (sondages pressiométriques –SP–, et sondages pénétromètres dynamique –SPD–) effectués au niveau de la masse glissée.

Tableau 3. Résultats d'analyse granulométrique des formations profondes sur les sites des sondages SP et SPD effectués le long du versant au pk 144.

Source référentielle	Prof. en mètre	yh kg/m³	Teneur en eau W (%)	Limites Atterberg		VBS	Caractéristiques granulaires		Propriétés mécaniques	
				IP (%)	WL (%)		% >2 mm (%)	% < 80 µ (%)	Cisaillement lent C.C.D	
									φ'°	C'kpa
223-2/0958/1 -SP5-	[4-3.5]	1960	21.0	31	54.1	7.5	00	98.3	23	29
	[10-09]	2040	16.0	28	49.6	5.8	01	99.0	30	27
223-2/957/3 -SP6-	[07-06]	2010	20.0	24	46.1	5.4	00	99.6	29	22
	[10-09]	2030	18.0	28	48.6	6.5	00	99.8	28	21
223-2/957/4 -SP7-	[07-06]	2080	17.7	27	51.2	6.9	00	99.1	28	26
	[11.5-11]	2070	22.3	31	51.7	7.0	00	99.7	24	19

Source: DETLE –Taounate.
DETLE : Direction d'Equipement et de Transport et de Logistique et de l'eau.
Prof.: la profondeur / **h.y**: la masse / **IP**: indice de plasticité / **WL**: limite de liquidité/ **mm**: millimètre / **µ**: micromère

A partir des données présentées au tableau 3, les formations profondes du site étudié sont à haute viscosité et riches en argiles (à l'exception de l'échantillon situé à une profondeur comprise entre 6 et 7 mètres au SP6), caractérisés par leur sensibilité excessive à l'eau. Ce qui provoque des changements importants de volume et une diminution de la résistance. Les réactions de celui-ci, à des profondeurs différentes, le long de la masse en mouvement sont très variées, on peut les traités comme suit:

- **Concernant SP7**: exécuté directement sur le bord de la route, ses résultats ont montré que les formations argileuses et alluviales voient leur teneur en eau augmente avec l'augmentation de la profondeur (22,3% à une profondeur de 11,5 m), et l'indice de plasticité aussi; ayant enregistré la valeur la plus élevée de l'ordre de 31%. Les essais de cisaillement lent montrent que les valeurs de l'indice de consistance et de l'angle de frottement diminuent à mesure que nous nous enfonçons, ce qui indique que le substrat à une profondeur de 11 à 11,5 mètres est plus cohérent, et donc plus résistant au cisaillement;
- **Pour le SP5**: exécuté sur la même ligne de sondage précédent (SP7), et deux échantillons ont été testés ; le premier à une profondeur comprise entre 3,5 et 4 mètres ; et le second à une profondeur

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.01

entre 9 et 10 mètres. Les résultats étaient différents par rapport à l'échantillon précédent, où la teneur en eau diminue avec la profondeur (21% dans le premier échantillon et 16% dans le deuxième). À 4 mètres de profondeur, la formation rocheux montre une cohésion réduite, signe d›une altération avancée de la couche superficielle, soumise aux influences climatiques et hydriques. Inversement, à 10 mètres, l›angle de frottement de 30° indique des formations plus cohérentes, moins affectées par les processus d›altération.

- **Quant à le SP6**: exécuté au pied du versant, deux échantillons ont été testés: le premier à une profondeur de 6 à 7 m, qui a montré que la formation alluviale argileuse est de plasticité moyenne (24%), et le second échantillon à une profondeur de 9 à 10 m ; a montré que les formations argileuses et alluviales sont à forte plasticité (28%). L'analyse granulométrique et les essais mécaniques ont démontré une symétrie relative entre les formations rocheuses, entre 6 et 10 mètres de profondeur, où nous n'avons pas enregistré de changements significatifs des valeurs enregistrées, ni au niveau de l'angle de frottement (entre 28 et 29 degrés) ni au niveau des valeurs de cohésion (entre 21 et 22).

Généralement, en raison de l'agressivité des conditions externes (climatiques), les formations superficielles sont soumises à une forte altération chimique, produisant des éléments et particules fins ; qui migrent par lessivage à travers les fissures, ce qui explique la valeur élevée de l'angle de frottement au niveau du substrat à des profondeurs de 6 mètres et plus.

4.1.6. Résultats de mesure de Pression de Fluage, Pression-limite et Module de pression

A partir des données du tableau 3 et des figures 9, 10 et 11, nous enregistrons une différence très nette d'allures, que ce soit d'un site à l'autre (selon les sites des sondages), soit au niveau du même sondage en passant de formations proches de la surface à des formations profondes. Ce qui souligne la différence de niveau d'interaction de formation avec l'extension de la sonde.

On conclure, donc, que des valeurs retenues et enregistrées au niveau du module de pression (EM) connaissent une augmentation de la surface vers la profondeur, et les valeurs s'avèrent très élevées, allant de 356 MPa au point de sondage SP7 à 409,4 MPa au SP5 (à l'aval du versant). Également, au niveau de la surface; les déformations du sol sont une résultante de légères pressions, à l'inverse aux niveaux lithologiques profonds, de sorte que le remblai alluvial ; libère des pressions limites inférieures à 0,5 MPa, montrant une puissance d'environ de 3,5 mètres.

De plus, selon la classification conventionnelle des sols adoptée par Ménard (Fascicule 62-V.), les pressions limites apparaissent très faibles à une profondeur de 1,5 mètre, d'environ de 0,7 MPa aux points de sondage SP6 et SP7, ce qui confirme que les formations superficielles d'argiles alluviaux sont très molles et sensibles aux mécanismes d'érosion, ce qui explique la forte concentration des phénomènes de ravinements et des coulées de boue. On observe également que ces pressions limites deviennent moyennes à une profondeur de 3 mètres (entre 1 et 2 MPa), ce qui indique la présence d'une formation ferme (argile et alluviaux), puis les mêmes valeurs ont enregistré une augmentation à partir d'une profondeur de 6 mètres au point de sondage SP6 ; et de 4,5 mètres au SP5 et SP7 (du côté droit de la chaussée et au pied du versant), dépassant la valeur de 2,5 MPa et plus, indiquant l'existence d'une argile très ferme à solide.

De ce qui précède, nous concluons que la cohésion des formations argileuses et alluviales augmente encore avec la profondeur et devient plus résistante au cisaillement (rupture). Ceci est confirmé par le résultat de la division des valeurs de module de pressions par les valeurs des pressions limites (EM/PL), qui ont montré l'existence d'une épaisseur d'argile altérée d'environ 3,5 mètres (notamment au SP6 au pied du versant), tandis qu'à partir d'une profondeur de 3,5 mètres; on enregistre la variation des couches argileuses marneuses de cohésion forte à très forte (solide à très solide).

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.01

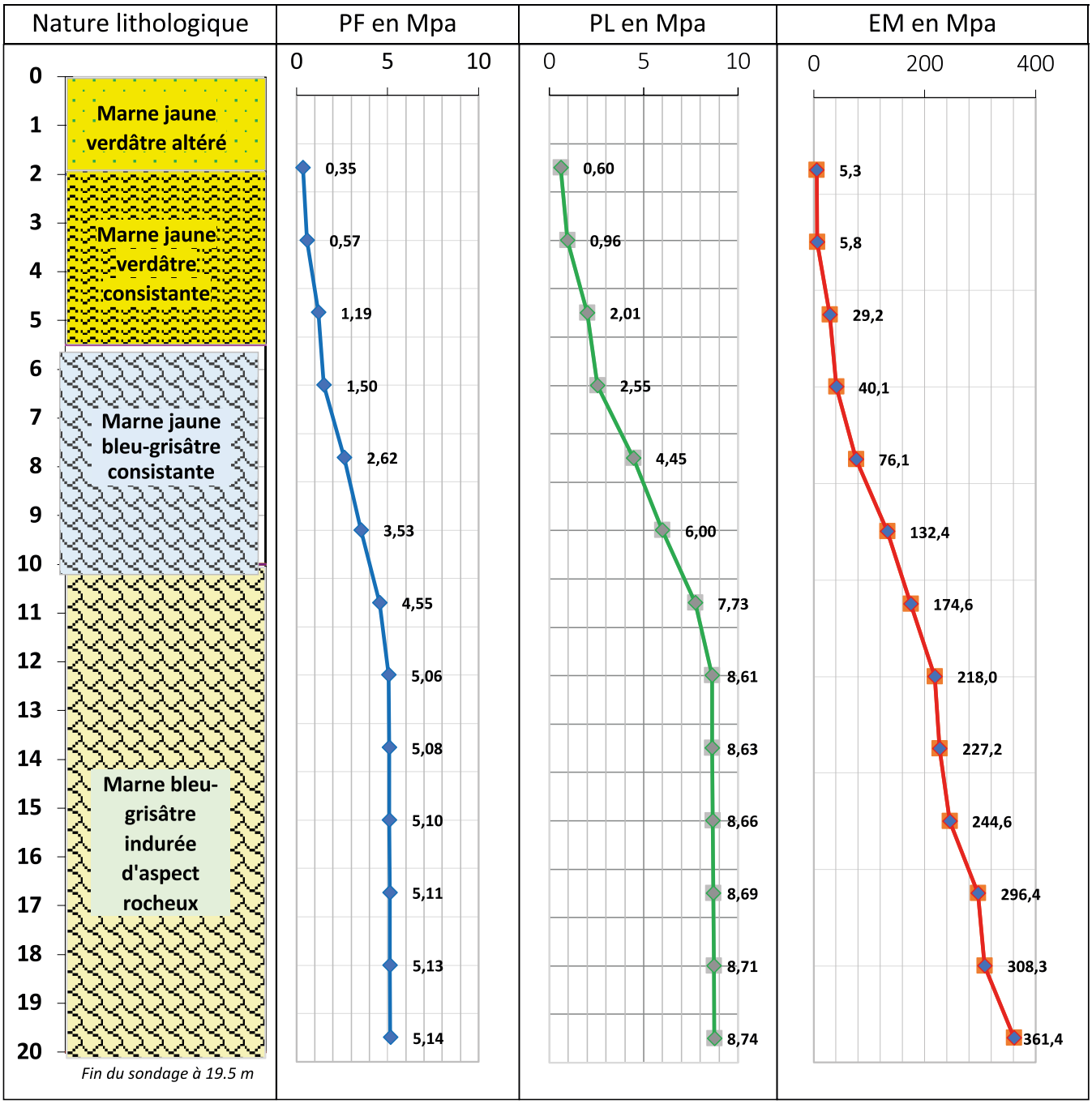


Figure 9. Résultats de l'essai de sondage pressiométrique (SP5) réalisé au pied du versant (2016). Source: DETLE de Taounate –Modifié-.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.01

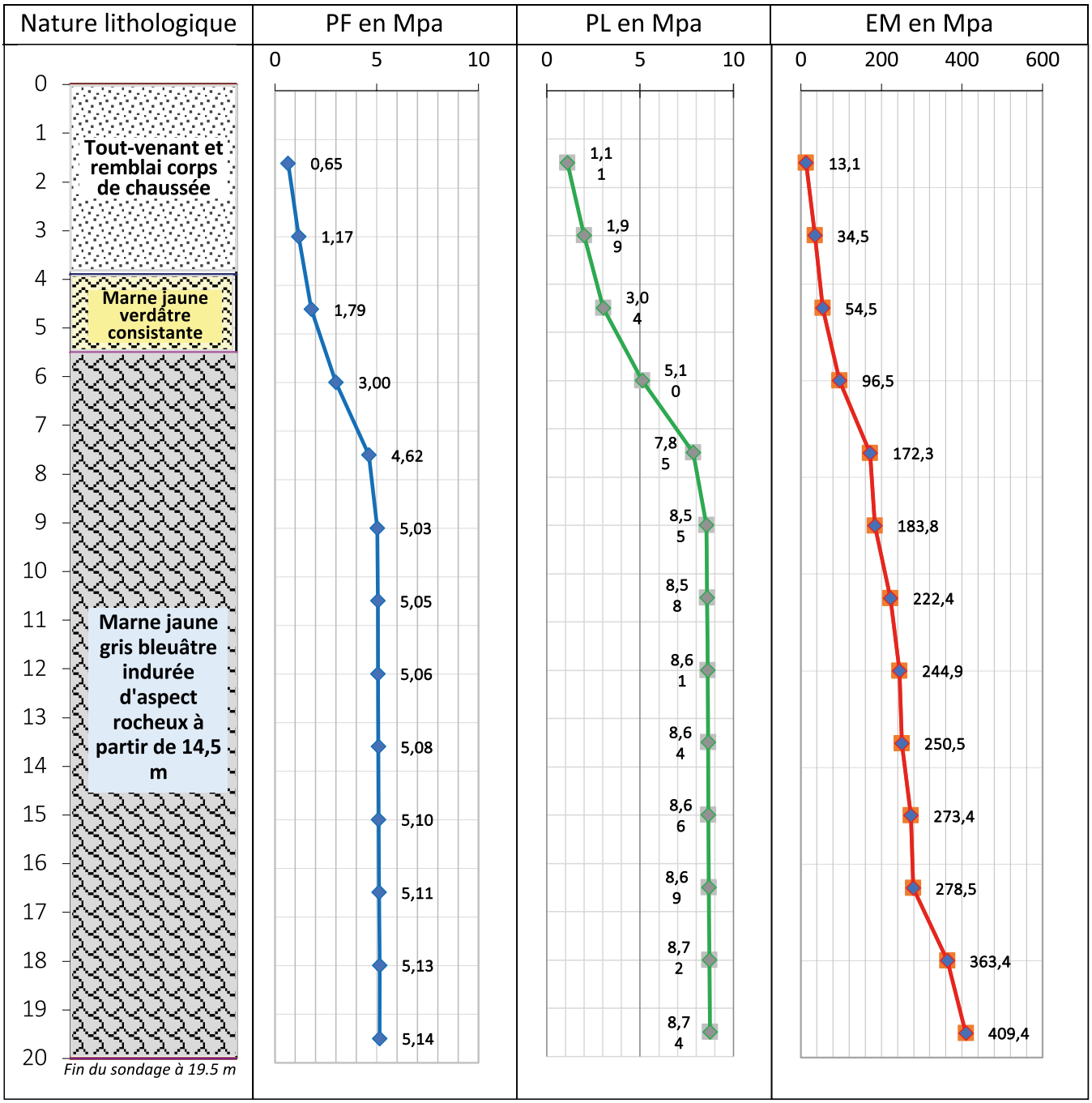


Figure 10. Résultats de l'essai de sondage pressiométrique (SP6) réalisé au côté gauche de la chaussée (2016). Source: DETLE de Taounate –Modifié-.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.01

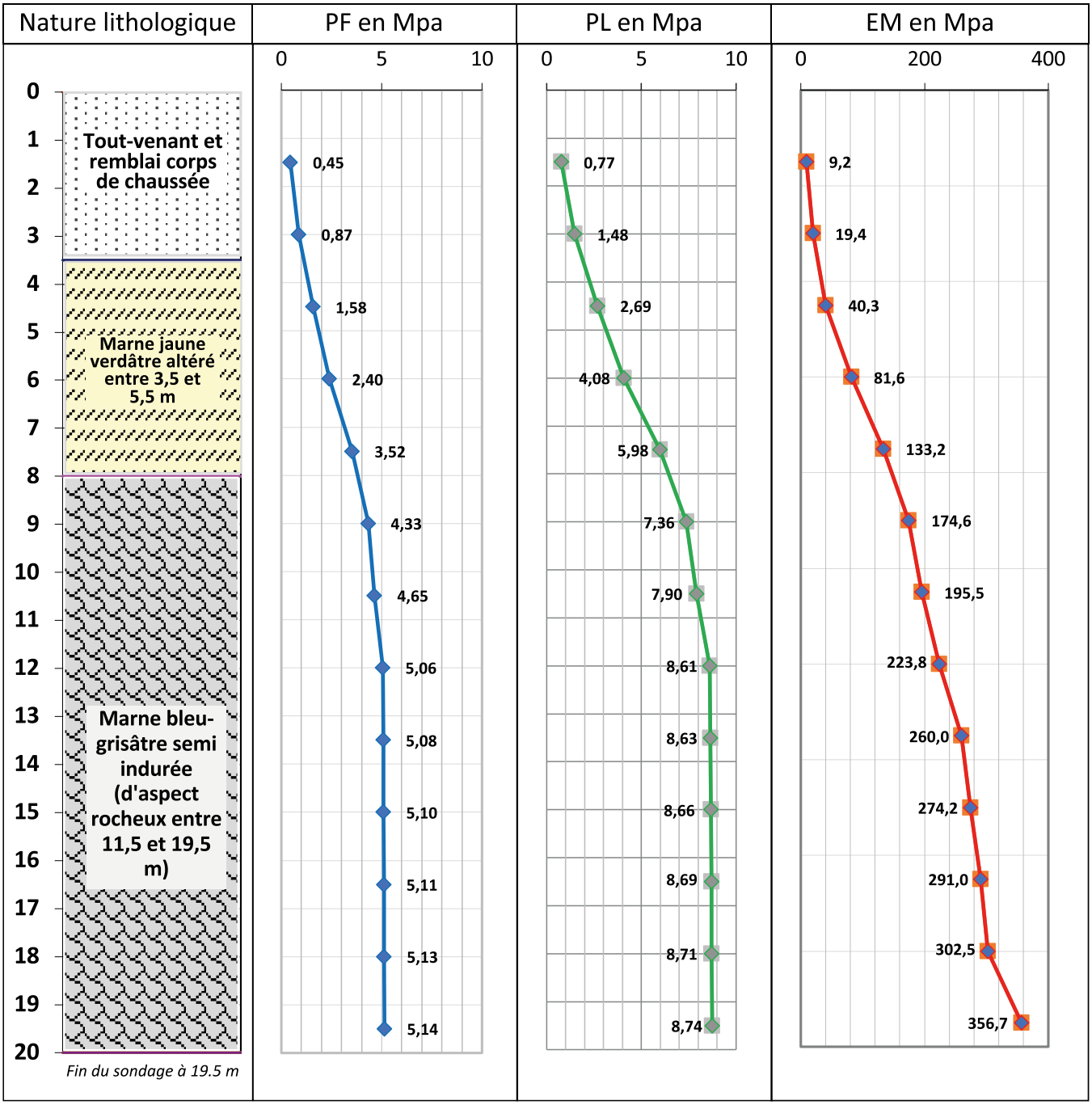


Figure 11. Résultats de l'essai de sondage pressiométrique (SP7) réalisé au côté droit de la chaussée (2016). Source: DETLE de Taounate –Modifié-.

4.1.7. Analyse des résultats de mesure de sondage pénétromètre dynamique

L'analyse des résultats des sondages pénétromètre dynamique ; ayant été exécuté le long de la pente (six sondages distribués à deux profils – figures 12 à 17) ; a permis de dégager et décrire deux horizons lithologiques, qui sont comme suit :

- **Premier horizon**: qui est l'horizon superficiel instable, dans lequel une évolution de N se fait de manière continue jusqu'à 9 mètres de terrain naturel (TN). Cette évolution des nombres de coups N permet de constater que la formation est en perpétuelle dynamique, et donc non stable. Cette évolution peut se faire de manière arithmétique comme c'est le cas de la majorité de profil, mais aussi,

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.01

peut être marquée par une surface d'instabilité nette comme c'est le cas du profil SPD3 (entre 6 et 7 mètres/TN);

- **Le deuxième horizon**: correspond au niveau profond du sol; situé entre 9 et 10 mètres de profondeur, c'est l'horizon le plus stable marqué par un nombre de coups d'environ 90, ce qui indique, selon la classification ‹›Ménard››, une résistance mécanique très élevée de formation rocheux. Dans ce contexte, nous confirmons les résultats obtenus au niveau des sondages pressiométriques (SP), où nous avons conclu que plus nous fonçons en profondeur; plus la formation sera compacte, non poreux, cohérente et donc plus résistante.

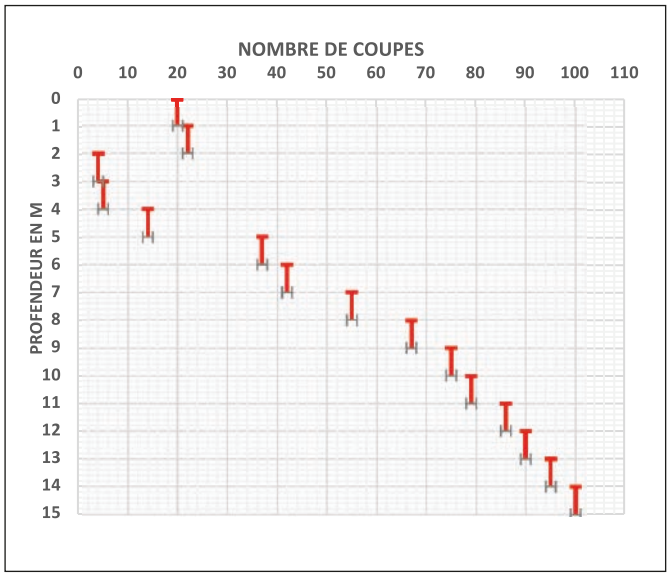


Figure 12. Résultat de SPD1 exécuté en amont. Source: DETLE de Taounate –Modifié-.

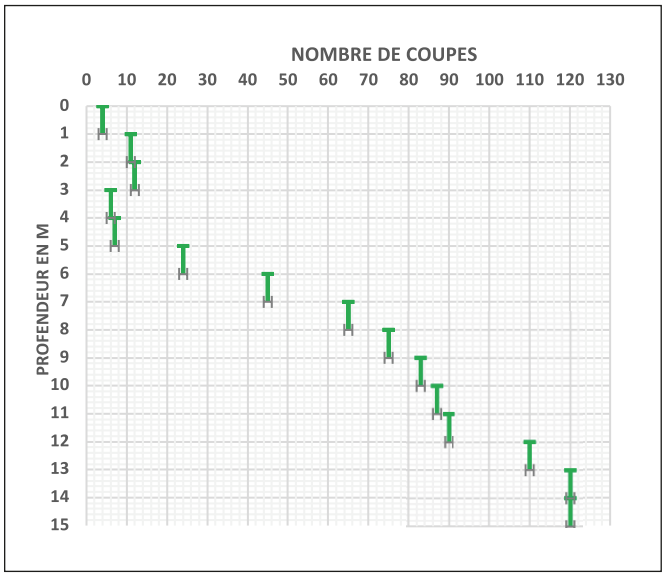


Figure 13. Résultat de SPD2 exécuté en remblai. Source: DETLE de Taounate –Modifié-.

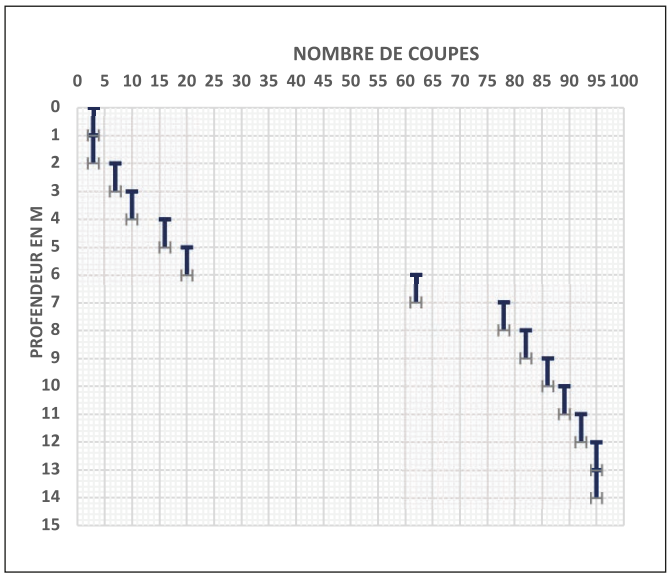


Figure 14. Résultat de SPD3 exécuté en aval. Source: DETLE de Taounate –Modifié-.

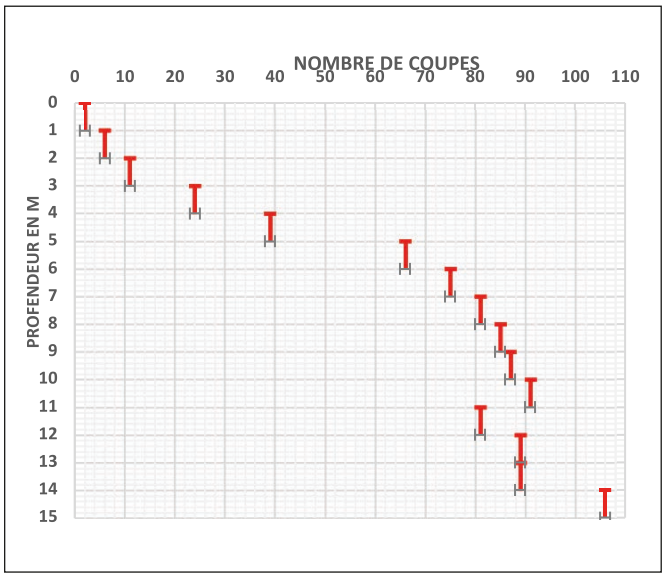


Figure 15. Résultat de SPD4 exécuté au mi-versant. Source: DETLE de Taounate –Modifié-.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.01

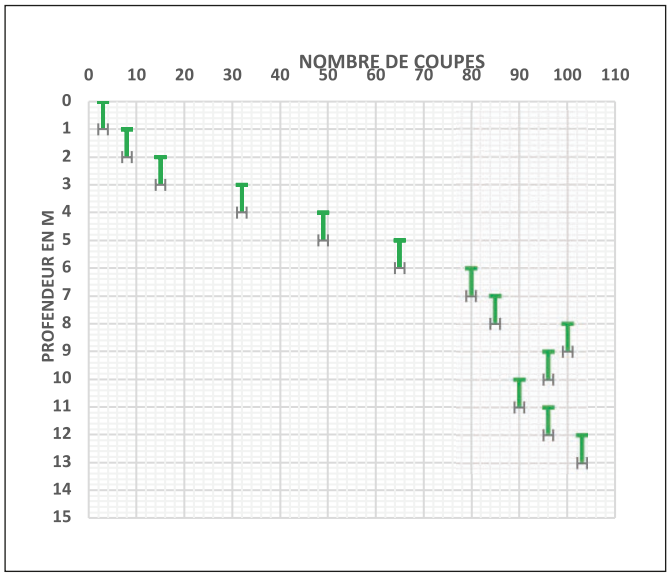


Figure 16. Résultat de SPD5 exécuté en remblai. Source: DETLE de Taounate –Modifié-.

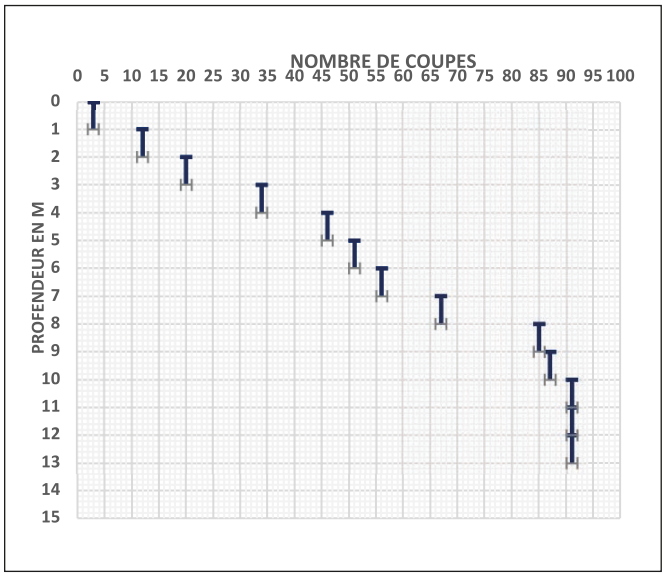


Figure 17. Résultat de SPD6 exécuté en aval. Source: DETLE de Taounate –Modifié-.

4.2. Les formes et les processus d'évolution géomorphologique sur le versant

4.2.1. L'érosion linéaire superficielle associée aux ravinements

La concentration de l'érosion superficielle sur le versant est due aux facteurs de la fragilité lithologique, l'intensité des précipitations, la pente et la faible couverture végétale. Parmi les manifestations les plus importantes de l'érosion superficielle sur ce versant, on peut citer les ravinements, que l'on distingue en deux types:

- **Ravinements superficiels récents**: sont moins profonds (moins de 0,60 mètre), se présentent sous forme de rainures ou d›érosions en griffe. Ils se développent principalement sur la partie moyenne du versant et près des zones d›arrachement. Ces ravinements sont liés à l'érosion linéaire et verticale induite par les écoulements superficiels, particulièrement dans les zones à forte pente et dépourvues de végétation. Ils apparaissent et évoluent sous l'effet des pluies saisonnières, et peuvent être partiellement comblés par les pratiques agricoles.
- **Ravins profonds**: Ce sont des ravins anciens, situés en aval en forme de U, résultant d'une érosion concentrée et prolongée. Leur profondeur varie entre 1 et 3 mètres (figure 20). Ils sont orientés et développés vers le tronçon routier.

L'évolution des ravins a significativement compromis la stabilité du tronçon routier. L'élargissement et l'approfondissement de ces ravins ont induit une perturbation majeure de la stabilité du remblai routier, notamment en fragilisant sa base (figures 3 et 20). Par ailleurs, l'encaissement et le décapage des matériaux meubles en amont ont exacerbé la situation. Ces matériaux, transportés par l'érosion, viennent s'accumuler directement sur la chaussée, obstruant les caniveaux et ouvrages d'art. Cette sédimentation provoque une élévation du niveau de base et favorise la stagnation des eaux, en particulier sur le côté droit de la route. L'infiltration progressive de ces eaux dans les remblais et le corps de chaussée entraîne une diminution rapide de leur cohésion et de leur résistance, favorisant ainsi le glissement de terrain, les affaissements et les arrachements de chaussée. Ces phénomènes dégradent considérablement les infrastructures de drainage et de soutènement.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.01

4.2.2. Dynamique semi-profonde liée à un glissement avec affaissement

4.2.2.1. Quelques caractéristiques géométriques de la dynamique

Le glissement de terrain a affecté une superficie considérable, s'étendant sur environ 286 mètres de long pour 160 mètres de large. La masse instable a adopté une morphologie caractéristique en forme de poire, avec un élargissement marqué dans sa partie médiane et amont, et un rétrécissement progressif en aval (figure 20). Cette configuration suggère un mouvement complexe, peut-être influencé par la topographie locale et la nature des matériaux.

La zone d'arrachement, d'où s'est détachée la masse glissante, présente une forme en croissant de lune. Toutefois, la détermination précise de sa profondeur s'avère délicate en raison de la vitesse relativement lente du glissement. Cette dynamique lente a également compliqué l'évaluation détaillée de la nature des matériaux mobilisés et de leur vitesse de déplacement. Par ailleurs, les pratiques anthropiques exercées sur le versant ont rendu difficile toute analyse approfondie, notamment en termes de quantification des volumes déplacés et de caractérisation des mouvements.

4.2.2.2. L'estimation annuelle du mouvement de glissement

Le tableau ci-après récapitule les résultats des mesures effectuées sur le terrain entre 2016 et 2021. Ceux – ci ont permis de cerner de près le taux moyen de déplacement qu'est de l'ordre de 30,7 cm pour une période de cinq ans.

Tableau 4. L'évolution annuel du glissement (en mètre) à partir des mesures de terrain.

Points de mesure	Evolution la distance de déplacement en mètre						La distance totale de déplacement en cm (2016/2020)
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
[P1-P'1]	36	36,07	36,18	36,2	Stabilité	Stabilité totale du glissement	20
[P2-P'2]	34	34,08	34,19	34,21			21
[P3-P'3]	38	38,12	38,26	38,31	38,34		34
[P4-P'4]	47	47,14	47,30	47,35	47,39		39
[P5-P'5]	80	80,14	80,30	80,36	80,40		40
[P6-P'6]	74	74,15	74,30	74,36	74,40		41
[P7-P'7]	48	48,13	48,29	48,34	48,37		37
[P8-P'8]	40	40,10	40,22	40,24	Stabilité		24
[P9-P'9]	34	34,08	34,19	34,21			21
Moyen* en cm	--	11,22	13,66	3,88	2	--	30,7

(*): le moyen annuel de déplacement/affaissement (en cm).
Source: travail du terrain –élaboration propre–.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.01

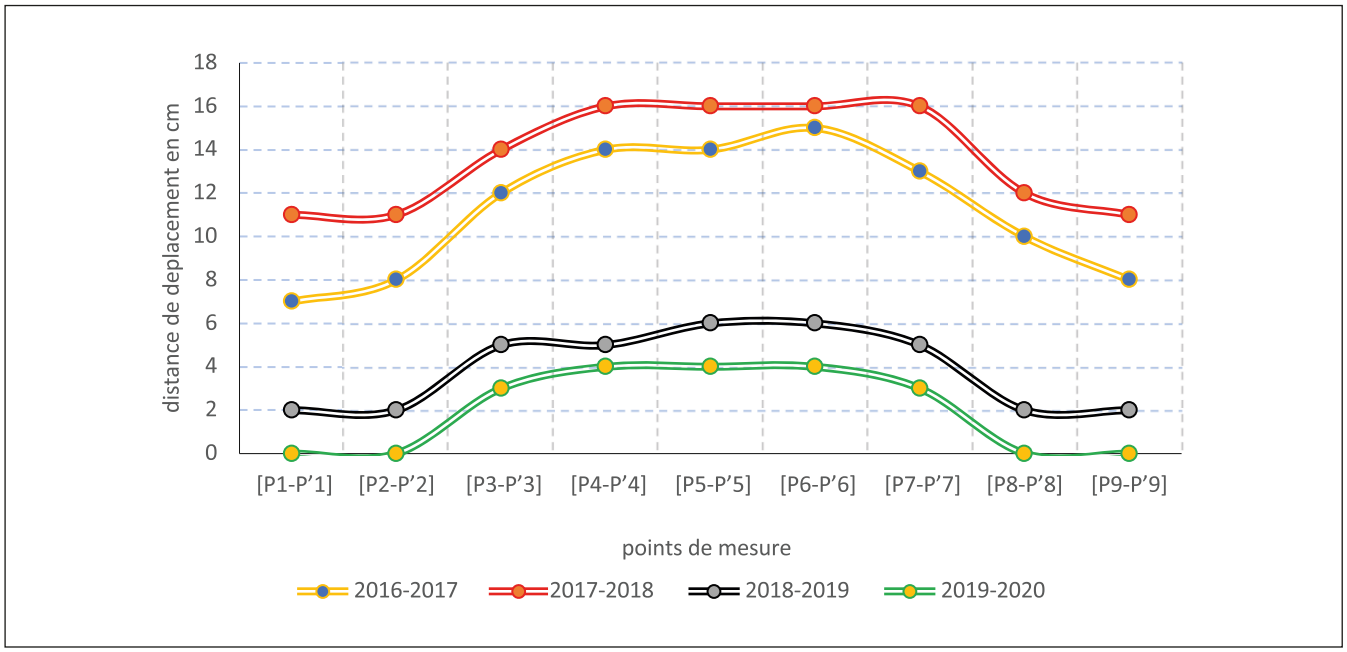


Figure 18. Evolution des mouvements annuels du glissement (en cm) selon les points de mesure. Source: travail du terrain entre 2016 et 2021 (élaboration propre).

La lecture des données du tableau 4 et de la figure 18; nous permet de conclure des notes suivantes:

- Une nette différence du mouvement de la masse glissante selon les années, où le déplacement maximal enregistré en 2018 (d'une moyenne de 13,66 cm), et le minimal n'a pas dépassé une moyenne de 2 cm en 2020;
- Une grande différence du mouvement selon la situation des points de mesures, où nous avons enregistré un mouvement clair en amont du versant (entre P3 et P7); allant de 34 à 41 cm en cinq ans, tandis qu'il en reste généralement lent sur les bords centrale (entre 20 et 24 cm comme le total de déplacement);
- Le mouvement le plus fort des masses a été enregistré au niveau des points de P4 à P7 d'environ 16 cm durant une seule année (2018), ce sont les points affectés soit par la présence des ravins ascendantes, soit par les fissures de retrait (voir figures 3 et 20);
- Une stabilité partielle enregistrée à quelques points en 2020, et elle en totale à l'ensemble du versant à l'année 2021, grâce aux travaux d'aménagement réalisés par DETLE (Travaux achevés fin de 2019).

4.2.2.3. L'estimation mensuelle du mouvement de glissement

La figure ci-après montre des résultats obtenus des mesures mensuelles du mouvement de glissement, qui nous a permis d'estimer le taux moyen de déplacement à 0,64 cm par mois. Cependant, ce moyen est hétérogène, et le plus souvent il dépend de quantité de pluies retenues jusqu'alors.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.01

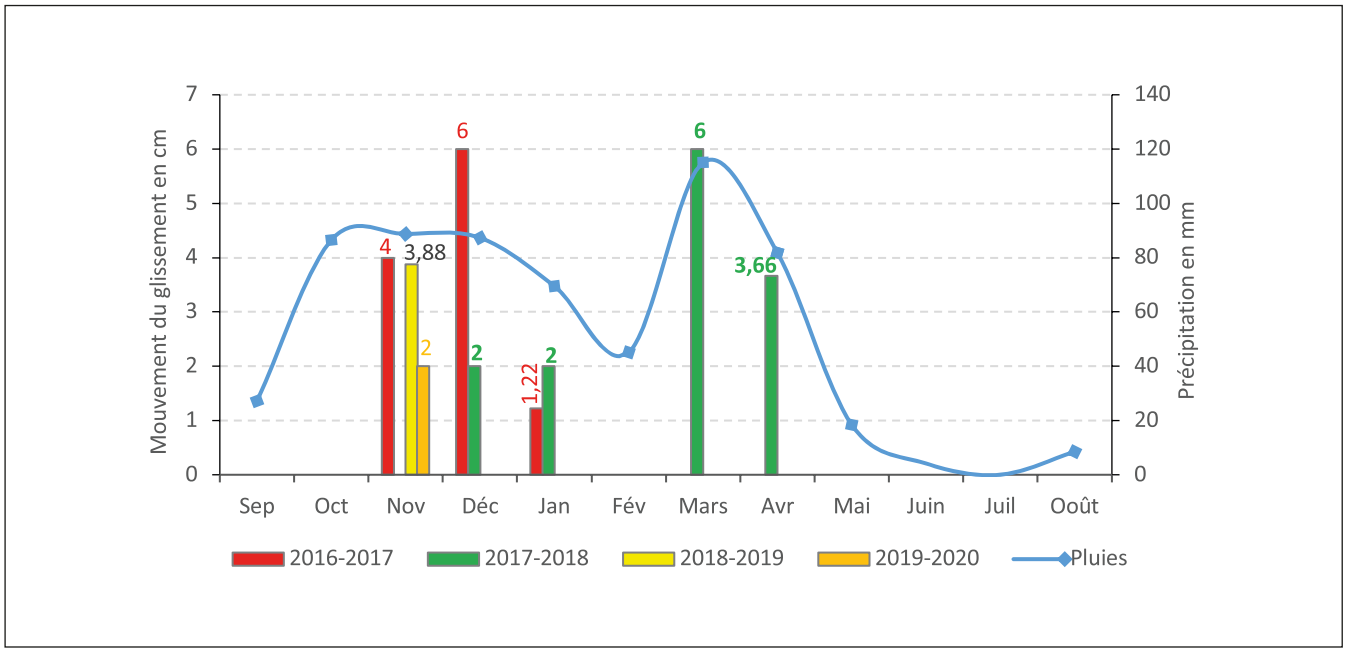


Figure 19. Le mouvement mensuel du glissement (en cm) par rapport aux moyennes pluviométriques entre 2016 et 2020 selon la station d'Ain Aicha (en mm). Source: travail du terrain 2016-2021 (données climatiques de l'ABHS) –élaboration propre-.

L'analyse des résultats liés au mouvement mensuel du glissement, tout en tenant compte des précipitations recueillies, a permis de souligner les remarques suivantes:

- La plupart des cas des mouvements ont été enregistrés au cours de la période allant de novembre à janvier qui coïncide avec la saison la plus arrosée de l'année, avec deux exceptions enregistrées au cours des mois de mars et avril 2018, après des pluies fortes et continues au cours de ces mois s'élevant respectivement à 339 et 128 mm (saison 2017-2018);
- La moyenne mensuelle maximale du mouvement de glissement était de 6 cm, enregistrée en décembre 2016-2017 et en mars 2017-2018, suite à de violentes pluies en deux phases successives ayant enregistrées respectivement 168,3 et 339 mm;
- Une stabilité nette du glissement pendant les mois d'été et au début de l'automne. Au cours ce mois; bien qu'il pleuve, la quantité retenue il ne suffit pas pour déclencher de telle dynamique;
- La dynamique, s'elle existe, au cours de chaque automne; peut se limiter au déclenchement de petits glissements sans importance. Seules les formations lithologiques préparées issu la dessiccation estivale peut être mis en mouvement par ruissellement superficiel direct et donnent naissance à des eaux chargés en boue. Et, toutes nouvelles pluies peuvent les conditions d'instabilité.

4.2.2.4. Impact de la dynamique et les dégâts enregistrés

Les dégâts et les répercussions sont clairement liés au type de dynamique ; de sorte que:

- En dépit d'un mouvement de glissement lent (30.7 cm/an en moyenne), la partie médiane du versant a connu un effondrement catastrophique en avril 2018, entraînant un affaissement de la chaussée de plus de 85 cm et la destruction complète de la route (figure 20 et photo 5);
- Colmatage des caniveaux et système de drainage, à cause de l'intensité d'érosion superficiel (photos 4 et 6), provoquant l'accumulation de l'eau et des boues sur le bord de la route et provoque ainsi des difficultés de drainage;

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.01

– Répercussions économiques dues à des pertes énormes en terres agricoles à cause de l'érosion, en moyens de financement, en retard de mise à niveau du réseau routier endommagé, particulièrement après des périodes très humides ou des évènements climatiques exceptionnels.

Photo 4. Coulées de boue affectés les gabions et les canaux de drainage. *Source: auteurs, Cliché le 19 avril 2019*



Photo 5. Détérioration et affaissement violent du tronçon routier. *Source: auteurs, Cliché le 10 avril 2018*



Photo 6. Colmatage total des tubes et des canaux de drainage. *Source: auteurs, Cliché le 13 avril 2019*



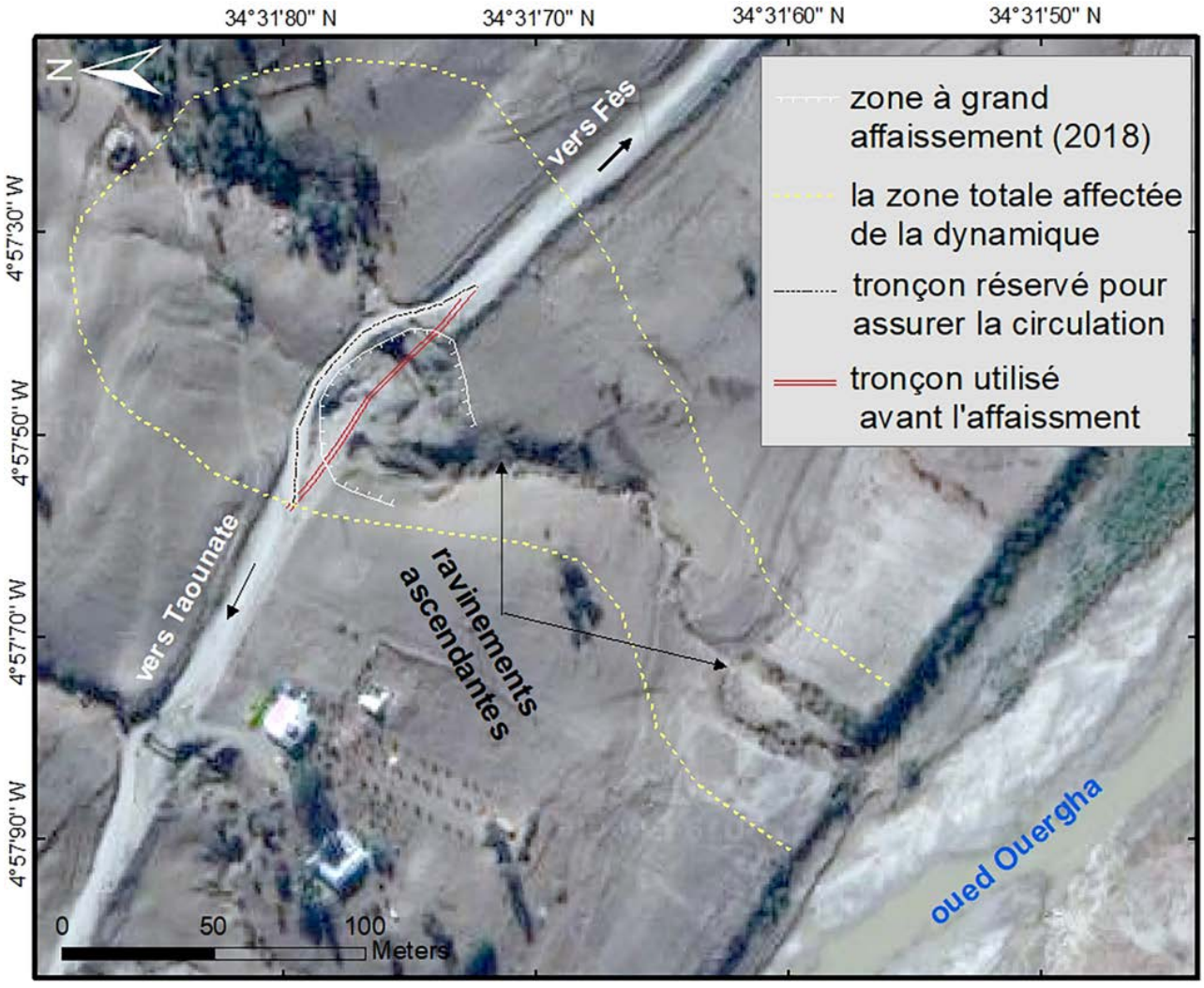


Figure 20 et photos 4-6. Quelques indices d'impact de la dynamique et instabilité du site. Source: image satellite et recherche de terrain –élaboration propre-.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.01

5. CONCLUSION

Dans le nord marocain, le domaine du Rif central méridional, et par leurs caractéristiques physiques et anthropiques, est une région particulièrement vulnérable aux risques géomorphologiques et morphodynamiques. Où, les glissements de terrain, les éboulements et les coulées de boue, les affaissements..., sont plus fréquents, ont des conséquences directes et souvent dévastatrices sur le réseau routier.

Dans ce contexte, les phénomènes d'instabilité de terrain sont des déséquilibres environnementaux résultent de l'action combinée de facteurs plus ou moins complexes. Soit permanents tels que la géologie, l'hydrogéologie, la topographie, le couvert végétale..., ou facteurs variants (dynamiques) dont les agents climatiques, impacts de l'eau, actions anthropiques, vibrations sismiques...etc.

Dans le cas étudié, l'utilisation d'une approche géographique et géomorphologique, a permis de déterminer les facteurs possibles responsables d'instabilité, d'identifier le type et la structure du phénomène affecté (glissement/affaissement), de déterminer la vitesse moyenne de glissement (d'ordre de 30,7 cm comme un moyen annuel) et d'estimer probable de la profondeur de la masse glissée (≈3,5 mètres en raison de la présence d'une couche d'argile très altérée à cette profondeur).

Les résultats de notre étude sont en accord avec les travaux précédents réalisés sur déférentes régions Rifaine, qui ont mis en évidence l'importance de certains facteurs génétiques et déclenchants l'instabilité des versants. Dans le site étudié, nos analyses permettent d'affiner ces résultats en proposant une classification en deux niveaux des facteurs explicatifs:

- Facteurs liés à l'augmentation (forces) de la pente et l'ablation du support sous-jacent par érosion, la surcharge exercée soit par des agents naturels (l'eau), soit par l'action anthropique (terrassement routier) ;
- Facteurs liés à la diminution de la résistance du matériau, qu'il s'agisse des facteurs intrinsèques liés à la nature des matériaux d'origine, c'est-à-dire les minéraux et les roches constituant le sol, ou des facteurs actifs liés indirectement aux matériaux affectés, tels que l'altération due aux agents atmosphériques, l'augmentation des pressions interstitielles et la modification de la structure intergranulaire.

En effet, l'étude des phénomènes morphodynamiques dans le domaine Rifain est rendue complexe par l'interdépendance et l'interaction de nombreux facteurs. Il est ainsi difficile de généraliser les résultats d'une étude de cas à l'ensemble de ce domaine. Pour mieux comprendre ces processus, il est nécessaire d'identifier les seuils critiques (climat, hydrogéologie, topographie, propriétés des matériaux) qui marquent le passage de la stabilité à l'instabilité. La détermination de ces seuils permettra d'établir une base de données précise pour l'élaboration de cartes des risques et la mise en place de mesures de prévention adaptées.

Dans une perspective de recherche approfondie, nous envisageons de mener une étude géotechnique détaillée des sols, en portant une attention particulière aux argiles. Cette étude aura pour objectifs d'identifier les mécanismes de dégradation des sols, de déterminer les facteurs déclencheurs des instabilités et de quantifier les seuils critiques de rupture. Les résultats obtenus permettront de mieux comprendre la dynamique des mouvements de terrain dans cette zone et de proposer des mesures de prévention adaptées, notamment pour les infrastructures routières situées à proximité.

Remerciements

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à tous ceux qui nous ont aidés à mener à bien ce travail, et nous souhaitons remercier tout particulièrement: 1) La Direction d'Equipement et de Transport et de Logistique et de l'eau de Taounate (DETLE), qui nous a fourni les rapports géotechniques (résultats des sondages et analyses géotechniques du substrat rocheux), 2) Le laboratoire géotechnique méditerranéen

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.01

à Tétouan qui a accepté de réaliser les analyses des sols, 3) L'Agence du Bassin Hydraulique du Sebou à Fès (ABHS) qui nous a fourni des données climatiques et hydrologiques.

Responsabilité et conflit d'intérêts

Les auteurs affirment leur engagement à déclarer tout conflit d'intérêts, actuel ou potentiel, qui pourrait être lié à la publication de cet article. Les trois auteurs ont contribué à cette recherche de la manière suivante: 1) Khalid El-Moudni a été chargé de la collecte de diverses données (cartes, images satellites, images solaires, données numériques, rapports géotechniques, suivi de phénomènes...), de la rédaction de l›article, de la préparation des cartes, des figures et des bases de données, ainsi que de l›interprétation des résultats. 2) Abdelghani Houari et El Houssaine Afkir ont encadré ce travail, l'ont orienté, ont analysé et interprété les données, ont corrigé l'article, ont vérifié la validité des résultats (en laboratoire et sur le terrain), et ont préparé et traduit les résumés.

RÉFÉRENCES

Afkir, E. (1985). *Le bassin versant de l'Inaouène : caractéristiques climatiques et comportement hydrologique, Contribution à une connaissance climato-hydrologique d'un bassin versant méditerranéen*. [Thèse de 3è cycle]. Univ. Toulouse Le Mirail.

AFNOR, (2000). *Norme Française NF P-94-110, Essai pressiométrique Menard*. Partie 1 sons cycle. AFNOR la plaine Saint-Denis, France.

Al Karkouri, J. (2003). *Dégradation du milieu naturel dans le bassin versant de Béni Boufrah (Rif central– Maroc): Analyse des facteurs et des processus, essai de quantification et de modélisation spatiale*. [Thèse de Doctorat d'état en géographie]. Univ. Mohamed V, Rabat.

Asebriy, L. (1984)**.** *Etude géologique de la zone sub-rifaine: nouvelles interprétations paléogéographiques et structurales du Rif externe; exemple du Moyen Ouergha, Maroc*. [Thèse 3e cycle]. Faculté des Sciences, Université, Mohammed V, Rabat.

Arif, S. (1994). *La géomorphologie des terrasses quaternaires de la vallée moyenne de Ouergha: Rif et Prérif du Maroc*. [Thèse de doctorat]. Univ Bordeaux III.

Boiffin, J. (1984). *La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies.* [Thèse pour le titre de Docteur ingénieur, Sciences Agronomiques]. INA-PG, Paris Grignon.

El Fellah, B. (2000). *Dynamique des versants et risques associés dans le Rif central*. [Thèse de doctorat en géographie]. Université Mohammed V, Rabat.

El Fengeur, M. (2009). *Dynamique des milieux naturels et enjeux d'aménagement dans les marges méridionales du Rif central. Cas des bassins versants d'Oulaï et d'Amzmaz*. [Thèse de doctorat en géographie]. FLSH Saïs-Fès, Maroc.

El-Moudni, Kh. (2008). *Impacts des mouvements de terrain sur l'instabilité des axes routiers dans la région de Taounate*. [Mémoire de Master en Géographie]. FLSH Sais-Fès.

El-Moudni, Kh. (2022). *Dynamique des milieux naturels et déséquilibres des fondations des infrastructures routières dans le Rif central méridional et les collines de prérif*. [Thèse de doctorat en Géog., 3ème cycle]. FLSH Saîs-Fès, USMBA.

El Ommal, M. (2021). *Dynamique des versants dans le Rif central : évaluation quantitative et qualitative de l'érosion hydrique et enjeux d'aménagement du territoire (cas du bassin versant de l'Oued Sra)*. [Thèse de doctorat en géographie]. FLSH Saïs-Fès.

Faris, A. (1994). *Essai méthodologie de la cartographie des risques naturels liés au mouvement de terrain. Application à l'aménagement de la ville de Taounate (Rif. Maroc)*. [Thèse de doctorat, université Franch-Conté, Besancon]. https://doi.org/10.1051/geotech/1994069063

Flageollet, J.C. (1989). *Les mouvements de terrains et leurs prévention.* Masson, coll. Géographie.

Gartet, A. (1994). *Morphogenèse et hydrologie dans le bassin versant de l'Oued Lebène (Rif méridional et Prérif Central et Oriental).* [Thèse Doc.]. Univ. Provence, Aix-en-Provence.

Gartet, A. (2007). *Risques naturels, anthropiques et technologiques dans l'agglomération de Fès et son arrière-pays: aménagement, gestion et prévention*. [Thèse Doc. D'Etat en Géog.]. FLSH Saîs-Fès, USMBA.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.01

Gartet, A. (2010). *Mouvements de terrain et risques environnementaux dans l'agglomération de Fès et son arrière-pays, Aménagement, Gestion et Prévention*.

Gartet, J. (2001)**.** *Contribution à la connaissance de la dynamique fluviale au Pléistocène supérieur et à L'holocène dans la vallée de Ouergha: (Rif, Maroc)*. [Thèse de doctorat d'état]. Université d'Aix Marseille.

Gueremy, P. *et al.* (1987). Mouvements de terrain successifs: les glissements de terrain et les coulées du versants sud de la Montagne d'Avize (Marne). *Trav. Instit. Géogr. de Reims*, (69-72), 113-127. https://doi.org/10.3406/tigr.1987.1213

Janati Idrissi, A. (2013). *Routes et Entretien Routier au Maroc, la route du développement passe par le développement de la route.* Editions et impressions Bouregreg.

Lacoste, J. (1934). *Etudes géologiques dans le Rif méridional*. [Thèse de doctorat]. Ecole Pratique des Hautes Études, Paris.

Leblanc, D. (1975). *Etudes géologiques dans le Rif externe oriental au nord de Taza*. [Thèse d'Etat Univ.]. Paul Sabatier Toulouse.

L.P.E.E. (2016). *Etude Géotechnique pour traitement de l›environnement et confortement des points de glissement, Section du PK 144+000 de la RR408*. DPETL de Taounate, Doss. n° 2016-220-01284-2016-0055/001. 11 pages + Annexes. Fès.

Maurer, G. (1964). L'érosion dans le Rif et le Prérif. I: Présentation de la vallée des Beni- Hassan. (d'Ikaouen). II: Présentation du paysage autour de Bab Jbah (Ouest de Taounate- el-Kchour). *Revue de Géographie du Maroc*, (6), 89-106 et 111-118.

Maurer, G. (1968). *Les Montagnes du Rif central: Etude géomorphologique*. [Thèse de Doctorat d'État]. Faculté des lettres et sciences, Université de Paris.

Marre, A. (1998). *L'érosion entre nature et société*. Dossiers n°22 des Images Economiques du Monde, Paris, SEDES.

Olivier, M. (2002). *Aléas géomorphologiques (Mouvements de terrain), processus, fonctionnement, cartographie*. [Diplôme d'Habilitation]. Université louis Pasteur-Strasbourg I.

Olivier, D. (2006). *Cinématique de glissements de terrain et prédiction de leur réactivation: approche probabiliste dans la région d'Oudenaarde*. [Thèse de doctorat]. Université de Liège.

Poujol, A**.** (2014). *Analyse des déformations actuelles dans le Rif (Maroc) : approche morpho-tectonique*. [Thèse de Doctorat]. Université Montpellier, France.

Sharpe, C.F.S. (1938). *Landslides and realted phenomena*. Uni. Press.

Suter, G. (1980). *Carte géologique du Rif, 1/500.000. Notes explécatives et Mémoires du Service géologique du Maroc.*

Tricart, J. (1977). *Précis de Géomorphologie dynamique générale*. SEDES. Paris.

Yazidi, A., & Benziane, F. (1995). *Géologie du Rif: Relation avec les mouvements de terrain.* Séminaire: Glissements de terrain: Cas du Nord marocain. Casablanca, Maroc.

Yazidi, M. (2002). *Etude et cartographie de zones d'instabilités de terrain le long de la route nationale 2 entre Bab Taza et Bab Berred*. [Thèse Doc. National]. Uni. Ibn Tofail.

Yvette, V. (2003). *Les risques*. SEDES.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.01

Revista de Estudios Andaluces (REA) | Núm. 50, julio (2025) | e-ISSN: 2340-2776
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50 | © Editorial Universidad de Sevilla 2025
https://editorial.us.es/es/revistas/revista-de-estudios-andaluces
https://revistascientificas.us.es/index.php/REA
CC BY-NC-SA 4.0.

Análisis del desarrollo de las ciudades de 15 minutos en Andalucía a partir de datos de Twitter y OpenStreetMap

Analysis of the development of 15-minute cities in Andalusia using Twitter and OpenStreetMap data

Joaquín Osorio-Arjona
joaosoarj@geo.uned.es 0000-0002-0102-8756
Departamento de Geografía, Facultad de Geografía e Historia, C/ Senda del Rey, 7, 4ª planta, despacho 426 , Universidad Nacional de Educación a distancia (UNED). Moncloa - Aravaca, 28040 Madrid, España.

INFO ARTÍCULO

Recibido: 01-10-2024
Revisado: 31-01-2025
Aceptado: 09-02-2025

PALABRAS CLAVE

Ciudad de 15 minutos
Big Data
Tipos de infraestructuras
Isócronas residenciales
Regresión Geográficamente Ponderada

RESUMEN

Recientemente, el concepto de ciudad de 15 minutos ha cobrado relevancia en los modelos de planificación urbana. Esta investigación aprovecha el potencial de fuentes de Big Data para observar la distribución espacial de posibles lugares de residencia y de infraestructuras a escala regional en Andalucía. Para ello se estiman lugares de residencia a partir de los datos de *Twitter* y, tomándolos éstos como puntos de origen se calculan isócronas que recogen el número de equipamientos obtenidos de *OpenStreetMap*, siendo accesibles a un tiempo de 15 minutos caminando. A continuación, se desarrollan dos modelos de regresión con los que cartografiar áreas de Andalucía que cumplan con criterios aplicados a la ciudad de los 15 minutos. Los resultados de estos modelos son comparados teniendo en cuenta las diferentes categorías de servicios. Estos resultados muestran que los barrios periféricos, las ciudades dormitorio de las principales aglomeraciones urbanas, y las ciudades medias del interior del Valle del Guadalquivir presentan los mejores resultados mientras que los cascos históricos de las grandes ciudades y la costa atlántica muestran mayores problemas de accesibilidad a equipamientos.

KEYWORDS

15-minute city
Big Data
Infrastructure types
Residential isochrones
Geographically Weighted Regression

ABSTRACT

Recently, the concept of the 15-minute city has gained relevance in urban planning models. This research takes advantage of the potential of Big Data sources to observe the spatial distribution of possible places of residence and infrastructure on a regional scale in Andalusia. For that, places of residence are estimated from Twitter data and taking them as points of origin, isochrones that collect the number of facilities obtained from OpenStreetMap and accessible within a 15-minute walk are calculated. Next, two regression models are developed to map areas of Andalusia that meet the criteria applied to the 15-minute city. The results of these models are compared taking into account the different categories of services. The results show that the peripheral neighborhoods, the dormitory cities of the main urban agglomerations, and the medium-sized cities in the interior of the Guadalquivir Valley present the best results, while the historic centers of the large cities and the Atlantic coast show greater accessibility problems.

DOI: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.02
Formato de cita / Citation: Osorio-Arjona, J. (2025). Analysis of the development of 15-minute cities in Andalusia using Twitter and OpenStreetMap data. *Revista de Estudios Andaluces,*(50), 33-51. https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.02
Correspondencia autor: joaosoarj@geo.uned.es (Joaquín Osorio-Arjona)

1. INTRODUCCIÓN

Los desarrollos tecnológicos en los últimos dos siglos han condicionado el modo en el que las ciudades han sido diseñadas (Allam *et al.*, 2022; Balletto *et al.*, 2021). Uno de los aspectos más negativos del urbanismo contemporáneo es la implantación de modelos de movilidad urbana que priorizan los desplazamientos en vehículos privados. Este modelo obsoleto ha convertido a las ciudades en emisoras de más del 60% de las emisiones de gases de efecto invernadero del planeta (Allam *et al.*, 2022; Caselli *et al.*, 2022; Gaxiola-Beltrán *et al.*, 2021).

En el año 2020, la pandemia mundial provocada por el virus COVID-19 paralizó la actividad cotidiana en las ciudades durante varios meses. La idea de trabajar, socializar y comprar en el entorno en el que vive la gente ha ganado popularidad debido a las limitaciones de movilidad experimentadas durante la pandemia. (Allam *et al.*, 2022). Basándose en esta experiencia, muchas ciudades empezaron a adoptar mecanismos de planificación urbana centrados en la prestación de servicios básicos cerca de los domicilios de las personas, de modo que sean fácilmente accesibles a pie *(*Guzmán *et al.*, 2021; Moreno *et al.*, 2021; Nieuwenhuijsen, 2021). En otras palabras, se ha vuelto a poner el acento en la "vida de barrio", una forma tradicional de habitar la ciudad basada en la micromovilidad que aún pervive en muchos pueblos y ciudades de tamaño medio, pero que se ha perdido en las grandes ciudades y áreas metropolitanas (Kissfazekas, 2022; Pozoukidou & Chatziyiannaki, 2021).

En este contexto, el marco conceptual de la ciudad de 15 minutos ha empezado a establecerse como referencia para el desarrollo de la planificación y la gestión urbana en ciudades de todo el mundo. Este paradigma se basa en la idea central de permitir el acceso de los ciudadanos a todos los servicios básicos a una distancia máxima de 15 minutos a pie, en seis funciones urbanas esenciales: vivienda, trabajo, comercio, sanidad, educación y ocio (Moreno *et al.*, 2021; Moreno *et al.*, 2023). Este concepto de ciudad de proximidad, además de proporcionar formas de vida comunitaria más equilibradas e integradoras, tiene importantes efectos en la reducción de las emisiones contaminantes gracias a la disminución del tráfico rodado y de las necesidades de desplazamiento, sustituidas por trayectos más cortos realizados a pie o en bicicleta (Allam *et al.*, 2022). Para lograrlo, el modelo de ciudad de 15 minutos se basa en cuatro dimensiones operativas básicas: proximidad a los recursos, densidad que permita a la población vivir cómodamente con el apoyo de los recursos disponibles, diversidad de usos del suelo y digitalización de la sociedad. (Moreno *et al.*, 2021).

En esta última dimensión, el marco de la ciudad de 15 minutos establece vínculos significativos con el paradigma de la ciudad inteligente, un concepto sustentado en las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) como nuevas fuentes que permiten recopilar y procesar grandes volúmenes de datos casi en tiempo real (Moreno *et al.*, 2021). Aunque la pandemia provocada por el COVID-19 ha acelerado la transformación digital de la sociedad urbana, este proceso ya estaba en marcha desde hace una década (Allam *et al.*, 2022). Los datos se han convertido en el recurso clave de la cuarta revolución industrial, hasta el punto de que la recogida, almacenamiento, análisis e interpretación de la información procedente de un número creciente de sensores y dispositivos telemáticos se ha convertido en un activo fundamental para la planificación y gestión de las infraestructuras, instalaciones y servicios urbanos (Gutiérrez, 2018; Osorio-Arjona & García-Palomares, 2017).

Una de estas nuevas fuentes de datos son las redes sociales, plataformas de comunicación que generan cantidades masivas de datos y pueden proporcionar a científicos y urbanistas valiosa información sobre los patrones de movilidad, distribución o comportamiento de la población en el territorio a diferentes escalas. Una de las redes sociales más destacadas es *Twitter* (renombrada recientemente como *X*), una aplicación que permite publicar mensajes de texto u otros contenidos multimedia. Una de sus características es la posibilidad de geolocalizar los tweets a partir de la ubicación GPS de los teléfonos móviles. *Twitter* descarga sus datos geolocalizados en forma de punto, lo que faculta integrar grandes muestras de datos en un Sistema de Información Geográfica para su tratamiento (Blanford *et al.*, 2015; Gutiérrez, 2018; Lansley & Longley, 2016). Los datos de *Twitter* presentan ventajas en estudios urbanos respecto a fuentes de datos como el registro de edificios del Instituto Nacional de Estadística. Éstos presentan un alto detalle espacial y temporal de los datos que permiten el análisis a diferentes escalas o la posibilidad de descargar grandes volúmenes

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.02

de tweets a tiempo real, facilitando la obtención de resultados actualizados, en contraste con las fuentes de datos oficiales que pueden tardar años en actualizar y publicar sus resultados (Osorio-Arjona & García-Palomares, 2020).

Otra fuente de datos que ha surgido en la última década es *OpenStreetMap*. Esta plataforma consiste en datos gratuitos, abiertos y accesibles sobre localizaciones, infraestructuras, servicios y otra información geográfica capturada con dispositivos móviles, ortofotografías y otras fuentes de datos. Se trata de un proyecto cartográfico colaborativo en el que los propios ciudadanos voluntarios capturan, cargan, almacenan y editan información geográfica con el objetivo de proporcionar información accesible y actualizada que pueda ser utilizada libremente por cualquiera (Bégin *et al.*, 2018; Machado & Camboim, 2019).

Partiendo de estos antecedentes, esta investigación tiene dos objetivos principales. El primero consiste en analizar el grado de implantación del concepto de las ciudades de 15 minutos en Andalucía, considerando la diversidad que existe en el territorio de esta comunidad autónoma debido a la variedad en el número de habitantes, el dominio físico donde se ubican las ciudades y el nivel socioeconómico de la población. Dentro de esta casuística, se prestará atención a las cuatro principales ciudades de la región (Sevilla, Málaga, Córdoba y Granada). El segundo objetivo estudia la fiabilidad de las nuevas fuentes de datos basadas en las TIC, como *Twitter* y *OpenStreetMap*, para la obtención de conocimiento relacionado con la propuesta de la ciudad de 15 minutos.

Aunque hay datos abiertos de infraestructuras como centros de salud, escuelas o servicios públicos en el portal de Datos Espaciales de Referencia de Andalucía (DERA), no hay disponibles datos abiertos de tiendas, pequeños comercios o bares, encontrándose limitados los datos georreferenciados del Directorio de Empresas y Establecimientos con Actividad Económica en Andalucía a establecimientos con más de 50 empleos. En este sentido, los datos de *OpenStreetMap* cobran interés debido a que, al ser generados por cualquier ciudadano, pueden aportar esos datos de pequeños establecimientos que los portales abiertos todavía no ofrecen.

En comparación con trabajos previos sobre la implantación de la ciudad de 15 minutos en el territorio, este trabajo presenta tres originalidades: el uso de fuentes de datos accesibles y gratuitas basadas en Big Data como fuente alternativa a los datos catastrales habitualmente utilizados en este tipo de estudios, el análisis a escala regional frente a la escala urbana en la que habitualmente se trabaja, y el diseño de un modelo de regresión que tiene en cuenta el componente espacial de los datos.

Este artículo se estructura en seis apartados. Tras esta introducción, el apartado 2 repasa las investigaciones previas realizadas en el marco de la ciudad de 15 minutos. El apartado 3 define el área de estudio, mientras que el apartado 4 presenta los datos utilizados. El apartado 5 define la metodología utilizada en la investigación. Por último, en el apartado 6 se analizan los resultados obtenidos, y en 7 se extraen una serie de conclusiones y limitaciones a tener en cuenta a partir de la discusión de los resultados.

2. ESTADO DEL ARTE

Desde la década de los 90, los planificadores urbanos han discutido sobre el diseño de ciudades centrado en el principio teórico de planteamiento urbano, en el análisis de la proximidad y en la movilidad del transporte no motorizado. El modelo de la ciudad de 15 minutos es un concepto reciente fundamentado en este principio teórico, descrito en la literatura desde el año 2016 (Allam *et al.*, 2022). Fue propuesto por Carlos Moreno en el 2020 para su implementación en París (Francia) bajo el eslogan *la ville du quart d'heure* (Moreno *et al.*, 2023). En los últimos años, ha habido una cantidad significativa de investigaciones relacionadas con este nuevo concepto para el desarrollo de políticas urbanas. Aunque la mayoría de estos trabajos son de carácter teórico y conceptual, también existen investigaciones que tratan de establecer una metodología para analizar la implantación de la ciudad de 15 minutos en las ciudades objeto de estudio.

En este sentido, Weng *et al.* (2019) diseñaron un método para la medida y construcción de barrios de 15 minutos en Shanghai (China). Ellos utilizaron datos de la red viaria de Shanghái, los puntos de interés de la ciudad proporcionados por el gobierno local y datos demográficos del censo de población, con los que

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.02

realizaron una autocorrelación espacial entre la proporción de la población de la zona y el valor de transitabilidad a pie para detectar patrones espaciales. Además, efectuaron una regresión espacial siguiendo el modelo de desfase espacial para analizar las desigualdades sociales en la ciudad en función del distinto grado de implantación del concepto de ciudad de 15 minutos. Los resultados mostraron una mayor transitabilidad a pie en las zonas centrales de la ciudad, con una mayor concentración de población adulta. Por el contrario, las zonas con menor transitabilidad a pie se caracterizaban por una población flotante. Da Silva *et al.* (2020) estudiaron la implementación de un modelo de 20 minutos en Tempe, Arizona (EEUU). En este trabajo, se estimó la población de la ciudad a partir de datos de parcelas residenciales y se analizó la movilidad a una selección de puntos de interés utilizando la red de transporte de la ciudad. Como resultado, se cartografiaron los puntos de interés accesibles a menos de 20 minutos de la población mediante distintos modos de transporte (peatonal, bicicleta y transporte público), lo que demostró que la ciudad tiene un alto grado de accesibilidad mediante múltiples modos de transporte distintos del automóvil.

Hay varios estudios realizados en Italia. Balletto *et al.* (2021) clasificaron las infraestructuras de Cagliari y crearon isócronas de 15 minutos a pie hasta tres puntos relacionados con espacios públicos. Utilizando el método de clasificación del índice de Simpson, analizaron la diversidad de los puntos de interés identificados y situados en las áreas de servicio de los tres lugares seleccionados. Gaglione *et al.* (2021) centraron su estudio en Nápoles, creando áreas de servicio alrededor de los edificios residenciales y realizando un análisis de proximidad para visualizar las infraestructuras y servicios situados dentro de isócronas de 15 minutos, relacionándolos con la densidad de población de la zona. Estos autores continuaron este trabajo (Gaglione *et al.,* 2022) comparando los resultados obtenidos en Nápoles con la situación observada en Londres (Reino Unido). Los resultados mostraron una accesibilidad poco desarrollada en la periferia de Nápoles, considerada como una zona urbana espacialmente degradada con altos índices de marginación social. Por el contrario, los suburbios londinenses pueden definirse como barrios autosuficientes y funcionales, donde la población puede acceder fácilmente a los servicios a pie o en bicicleta.

Abdelfattah *et al.* (2022) estudiaron la situación en Milán utilizando datos del portal abierto del ayuntamiento y otras fuentes de datos. Para ello cartografiaron la distribución de la población tanto en su lugar de residencia como en su lugar de trabajo, la densidad y variedad de servicios básicos cotidianos, y utilizaron la plataforma *Walk Score* para cartografiar el nivel de transitabilidad a pie de la ciudad. A partir de esta cartografía elaboraron un modelo para mostrar en un mapa final el grado de implantación actual del concepto de la ciudad de 15 minutos. El mapa mostró que, aunque la ciudad tiene un alto potencial para aplicar políticas relacionadas con este marco, actualmente carece de espacios peatonales para explotar este potencial. Borhetti *et al.* (2021) analizaron la conexión entre las estaciones ferroviarias de la región de Lombardía y el concepto de ciudad de 15 minutos utilizando un modelo de *Index Station* que identificó la integración de la estación en el territorio a partir de una serie de indicadores definidos por el tipo de servicio que se encuentra en la ciudad.

En América Latina, Guzman *et al.* (2021) desarrollaron una cartografía de establecimientos comerciales en Bogotá (Colombia) para analizar la implantación de la ciudad de 15 minutos a partir de un análisis de curvas de distribución de establecimientos por proximidad según el nivel socioeconómico de las parcelas de residencia. Los resultados mostraron desigualdades en el acceso a los servicios de proximidad entre grupos socioeconómicos, especialmente en los barrios más densamente poblados que, a su vez, tienen un nivel socioeconómico más bajo. Gaxiola-Beltrán *et al.* (2021) analizaron en Monterrey (México) el grado de accesibilidad a diferentes destinos de la ciudad tanto caminando como en bicicleta. Los resultados mostraron que no solo es necesario reestructurar los modos de transporte sino también la mezcla de usos del suelo y la descentralización de los servicios.

Los estudios realizados hasta la fecha en España se han centrado en la ciudad de Barcelona. Graells-Garrido *et al.* (2021) utilizaron datos del ayuntamiento para calcular el número medio de instalaciones accesibles por barrio y un coeficiente de accesibilidad. Además, utilizaron datos de telefonía móvil de junio de 2018 para obtener flujos de movilidad origen-destino entre los distintos barrios, estableciendo un modelo de gravedad para obtener patrones generales de movilidad, así como una regresión geográficamente ponderada del modelo para visualizar patrones de movilidad locales. Los resultados mostraron una mayor

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.02

movilidad hacia zonas de la ciudad con mejor acceso a servicios educativos y de compra de alimentos. Ferrer-Ortiz *et al.* (2022) exploraron el panorama en Barcelona utilizando una serie de indicadores que representan funciones sociales urbanas clave. Para ello, utilizaron la red viaria municipal y los datos catastrales de parcelas de la ciudad y elaboraron una serie de mapas parciales que mostraban la distribución espacial del número de establecimientos de cada categoría, para después elaborar un mapa sintético final que reflejaba el grado de integración del modelo de ciudad de 15 minutos en toda la ciudad. Los autores han demostrado que Barcelona cumple los requisitos propugnados por este modelo, aunque existen algunas dificultades en las zonas periféricas de reciente construcción.

Casi ninguno de estos estudios ha analizado la implementación del concepto de ciudad de 15 minutos utilizando nuevas fuentes de datos basadas en Big Data. Entre los trabajos encontrados, cabe destacar el de Graells-Garrido *et al.* (2021), donde emplearon datos de telefonía móvil para observar la movilidad en Barcelona, aunque no utilizaron estos datos para calcular la accesibilidad a los diferentes infraestructuras de la ciudad. Otro estudio que sí utilizó Big Data en mayor profundidad es el de Yoshimura *et al.* (2022), quienes analizaron la influencia de la peatonalización del espacio urbano en el rendimiento de los comercios de 14 ciudades españolas utilizando datos de tarjetas bancarias y de usos del suelo de *OpenStreetMap*. Sin embargo, este trabajo no empleó el marco analítico de las ciudades de 15 minutos en estas áreas de estudio.

En lugar de analizar el grado de penetración de la ciudad de 15 minutos en una sola ciudad, esta investigación pretende estudiar su idoneidad actual para un conjunto diverso de ciudades de una región de forma simultánea, como es el caso de Andalucía. El único trabajo conocido que utiliza una escala regional es el de Borghetti *et al.* (2021) en la Lombardía, centrándose en el estudio de las estaciones de tren de la región como centros regionales.

3. AREA DE ESTUDIO Y DATOS

Andalucía es la comunidad autónoma más poblada de España, con una población de 8.628.026 habitantes en 2024 según el Padrón Municipal. Andalucía cuenta con un sistema de ciudades secular, bien articulado que se extiende por los distintos dominios y áreas geográficas de la región, pero que es especialmente denso y complejo en la franja costera, el valle del Guadalquivir y en determinadas campiñas y depresiones del interior de la región. Como resultado, Andalucía tiene un alto nivel de urbanización, con aproximadamente 30 ciudades de más de 50.000 habitantes. Las ciudades con mayor población son Sevilla y Málaga, con más de 500.000 habitantes. Le siguen Córdoba y Granada, con más de 200.000 habitantes.

En este estudio se ha trabajado a nivel de celdas espaciales de población descargadas del Instituto Nacional de Estadística (INE). Estos polígonos vectoriales se han creado de forma que cada celda tenga una población comprendida entre un mínimo de 5.000 y un máximo de 50.000 habitantes, de modo que se pueda analizar homogéneamente todo el territorio, facilitando el análisis y la comparación de resultados de un modo uniforme en toda el área de estudio. De esta forma, las ciudades con mayor número de habitantes se dividen en distritos o barrios. Andalucía cuenta con un total de 565 celdas de población de la cuales 38 conforman la ciudad de Sevilla, 27 Córdoba, 20 Málaga, y 7 Granada.

La base de datos inicial utilizada para este trabajo contiene un total de 2.887.925 tweets geolocalizados en Andalucía, producidos por 196.417 usuarios. Estos tweets fueron descargados desde la API de *Twitter* mediante un script de *Python* que utilizó la librería *twarc* para seleccionar y almacenar solamente los registros localizados dentro de la comunidad autónoma durante un periodo de 5 años (desde el 1 de enero de 2016 hasta el 31 de diciembre de 2020). Cada tweet tiene los siguientes campos de información: un número identificador del usuario que publicó el mensaje (ID), coordenadas de latitud y longitud, fecha y hora.

Los tweets descargados se enriquecieron mediante una operación de unión espacial con información espacial de la capa de celdas de población descargada del INE. Esta información se ha añadido para poder permitir la posterior identificación de cada área de Andalucía y facilitar el conteo de mensajes y usuarios según el lugar a partir de la asignación del nombre de la celda de población a cada tweet. También se han cruzado las localizaciones de los tweets con datos de usos del suelo del catastro para poder identificar

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.02

posibles lugares de residencia. Para ello, se han utilizado datos de los servicios de Cartografía Catastral INSPIRE, que contienen información de alto nivel espacial actualizada al año 2023. Esto permite asociar cada tweet con la actividad predominante en la parcela desde la que fue generado.

Los comercios, servicios e infraestructuras urbanas que se han utilizado para contextualizar el entorno urbano y comercial en este trabajo se han descargado de la capa de puntos de interés disponible en la base de datos *OpenStreetMap*. Los datos utilizados están actualizados a 20 de febrero de 2024 y contienen 111.876 puntos, que ya incluyen información sobre los principales usos y actividades que se desarrollan en cada una de las localizaciones (comercios, restaurantes, hoteles, etc.). Se han seleccionado los datos asociados a diez categorías básicas de actividad, obteniendo de este modo 41.375 puntos de interés. Estas categorías se basan en las identificadas por Abdelfattah *et al.* (2022) y Ferrer-Ortiz *et al.* (2022) tras un estudio exhaustivo de las categorías utilizadas por las investigaciones anteriores. Un aspecto clave de esta clasificación ha sido la singularización de las cadenas de supermercados como categoría específica y separada de las tiendas de alimentación y los pequeños comercios minoristas. Esta decisión responde a la importancia de los supermercados en la estructura comercial y de consumo de las ciudades, alineándose con enfoques recientes en la literatura sobre geografía urbana y planificación comercial. Las diez categorías utilizadas en esta investigación figuran en la tabla 1.

Tabla 1. Tipos de establecimientos utilizados en el presente trabajo.

Variables utilizadas	
1	Cadenas de supermercados.
2	Tiendas de alimentación (tiendas tradicionales de alimentación, panaderías, fruterías, carnicerías, pescaderías, etc.).
3	Otros comercios (kioscos, ferreterías, librerías, tiendas de informática, droguerías, tiendas de ropa, zapaterías, etc.).
4	Otros servicios (bancos, oficinas de correos, peluquerías, lavanderías, gimnasios, etc.).
5	Farmacias, centros de salud, hospitales, residencias de ancianos.
6	Escuelas, institutos, y guarderías.
7	Centros culturales (museos, bibliotecas, cines, centros cívicos, centros deportivos, etc.).
8	Bares y restaurantes (se han excluido los establecimientos asociados con cadenas de comida rápida).
9	Parques y espacios verdes.
10	Paradas de transporte público, aparcamientos de bicicletas y patinetes.

Fuente: elaboración propia.

4. METODOLOGÍA

El primer paso consistió en realizar un conteo del número de tweets publicados por cada usuario con el objetivo de eliminar las cuentas de usuarios que han publicado menos de 5 tweets, o de usuarios con más de 5.000 tweets (tabla 2), de forma que se eliminaron tanto los usuarios esporádicos como las cuentas bot (cuentas automatizadas para publicar un gran número de mensajes). A continuación, se seleccionaron los tweets publicados en horario de noche (de 21:00 a 8:00), y luego los tweets registrados en días laborables para estimar posibles lugares de residencia, bajo la hipótesis de que en los días laborables los usuarios de *Twitter* publican con mayor frecuencia mensajes desde sus hogares durante la noche. Los tweets se unieron espacialmente con la capa del catastro, con el fin de seleccionar los puntos situados en parcelas cuyo uso del suelo es residencial, de modo que se descartan tweets publicados en lugares de ocio o puestos de trabajo nocturno. Con estos tweets, se utilizó el número de identificación del usuario para seleccionar el lugar cuyas

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.02

coordenadas se repetían un mayor número de veces, estimando ese lugar como el punto de residencia potencial del usuario. Para eliminar incoherencias, se descartaron los usuarios con dos o más puntos con la misma frecuencia máxima. Como resultado, se estimaron 16.648 residencias (tabla 2).

A partir de estas 16.648 residencias, se calcularon las isócronas o áreas de influencia de las residencias obtenidas mediante la herramienta de análisis de áreas de servicio disponible en *ArcGIS Pro*, indicando en los parámetros que el modo de transporte es el desplazamiento a pie, el punto de origen es la residencia estimada, y el tiempo límite de desplazamiento es de 15 minutos. La red utilizada en esta herramienta es la red de carreteras y transportes de *ArcGIS Online*, la cual cuenta con información de los modos de transporte, el tráfico activo y la actividad pedestre de España.

Tabla 2. Proceso de filtrado de datos de *Twitter*.

Filtro	Tweets	Usuarios
Base de datos inicial	2.287.925	196.417
Eliminación de bots y usuarios esporádicos.	2.125.037	109.044
Selección de tweets publicados en días laborables.	1.398.652	92.903
Selección de tweets publicados en horario de noche.	422.638	56.158
Selección de tweets publicados en parcelas de catastro con uso residencial.	65.719	20.785
Selección del lugar potencial de residencia.	16.648	16.648

Fuente: elaboración propia.

Una vez calculadas las áreas de influencia, la capa resultante se unió espacialmente con los puntos de interés descargados en *OpenStreetMap*. Estos puntos ya estaban clasificados en las diez categorías comentadas en la tabla 1. Como resultado, se seleccionaron 35.162 puntos de interés localizados dentro de las 16.648 isócronas residenciales calculadas (figura 1). Se realizó una suma de valores estadísticos para obtener el número total de puntos de interés ubicados en cada isócrona usando el campo identificador de usuario, y se diseñó una tabla dinámica para clasificar estos puntos por su categoría de equipamiento. De este modo, se ha estimado el número de puntos de interés por cada categoría que están a una distancia de 15 minutos caminando para cada uno de los lugares de residencia.

La capa de áreas de influencia se unió espacialmente a la capa de celdas de población del INE, de forma que a cada una de las 565 celdas espaciales de Andalucía le fue agregada la información estimada en el paso anterior de cada isócrona. De esta forma, cada celda de población de la región, con un número aproximado de habitantes entre ellas, obtuvo un número determinado de comercios e infraestructuras por categoría ubicados a una distancia de 15 minutos caminando de un lugar de residencia estimado, y un número determinado de lugares de residencia asociados a usuarios de *Twitter*.

A continuación, se realizaron dos modelos de regresión por Mínimos Cuadrados Ordinarios (OLS) sobre estas 565 celdas de población. El primer modelo tomó como variable dependiente de cada celda el número de residencias de los usuarios de *Twitter* y como variables explicativas el número de establecimientos de *OpenStreetMap* divididos en los diez tipos de puntos de interés definidos en la tabla 1. Mientras, el segundo modelo tomó como variables explicativas ocho de las diez categorías de puntos de interés, descartando bares y restaurantes y paradas de transporte debido a su alto valor de desviación estándar. En ambos casos se ha buscado estudiar para cada celda la relación entre el número de lugares de residencia estimados y la distribución de los diferentes servicios e infraestructuras urbanos disponibles a una distancia de 15 minutos de los lugares de residencia. Se cartografiaron los valores residuales de estos modelos para evaluar las relaciones globales y el comportamiento de las variables elegidas, y así identificar las celdas de población más próximas a cumplir el criterio de ciudad de 15 minutos en función de la sobreestimación o subestimación de lugares de residencia o infraestructuras. Además, se realizó una autocorrelación espacial de Moran I para verificar la distribución de los datos y observar si los residuos formaban relaciones espaciales.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.02

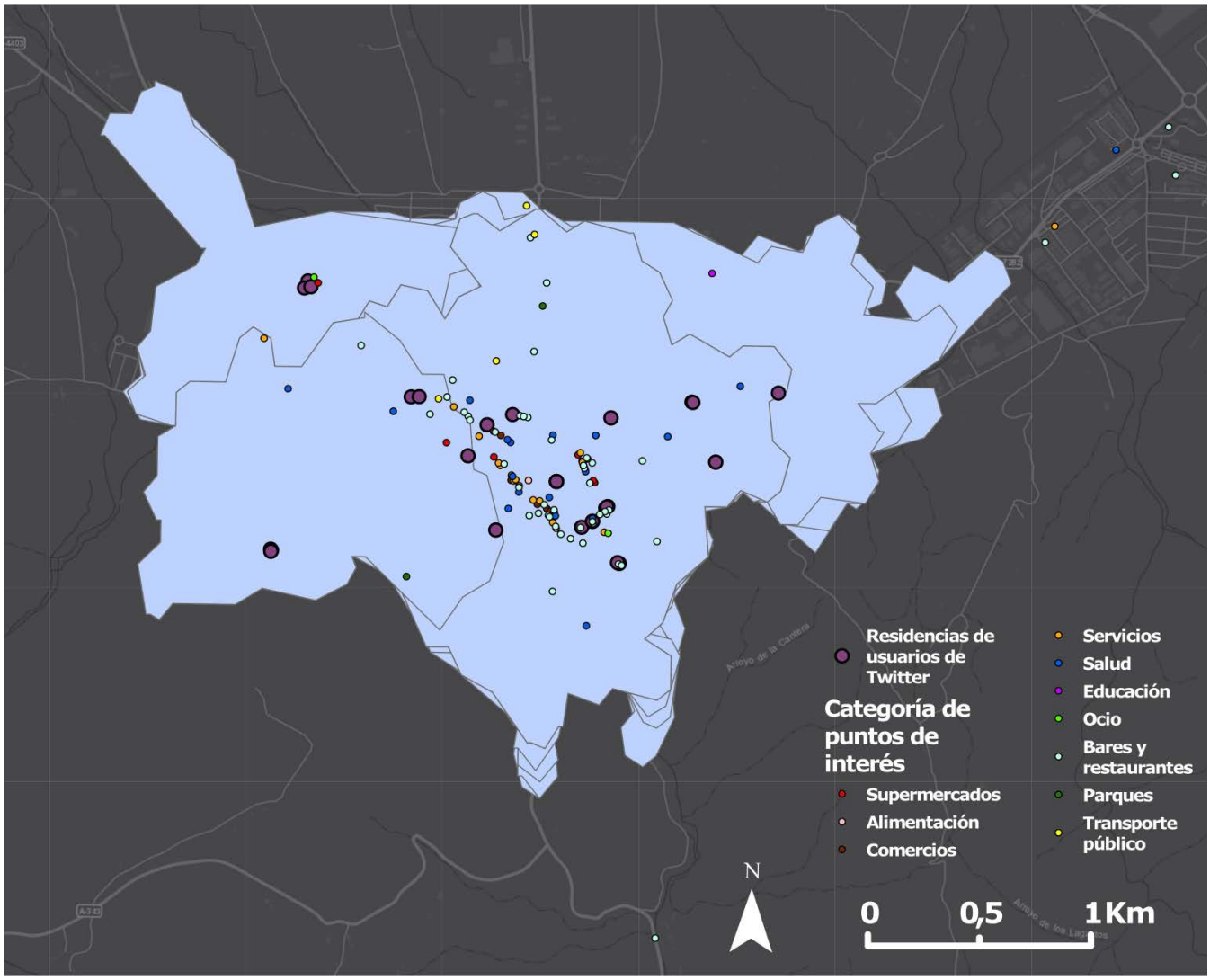


Figura 1. Ejemplo de puntos de interés descargados de *OpenStreetMap* asociados a las isócronas de residencias obtenidas en la ciudad de Antequera. Fuente: elaboración propia a partir de datos de *Twitter* y de *OpenStreetMap*.

Al observar que el segundo modelo mostraba una autocorrelación espacial fuerte, se realizó una regresión geográficamente ponderada (GWR) para buscar variaciones en las relaciones espaciales que el modelo OLS no pudo mostrar (Brunsdon *et al.*, 1996; LeSage, 1998). El modelo GWR obtiene coeficientes locales que revelan la influencia de estas variables en la proporción de la población de cada celda y suministra información sobre el grado de poder explicativo que tiene cada variable independiente (Cardozo *et al*., 2012; Osorio-Arjona *et al.,* 2021). Este modelo puede ser definido con la siguiente fórmula:

$$y_i = \beta_0(u_i v_i) + \beta_1(u_i v_i)\, x_1 + \beta_2(u_i v_i)\, \text{x_2} + \ldots + \beta_n(u_i v_i)\, x_n + \varepsilon_i$$

donde indica la variable dependiente, son los valores de interceptación en las coordenadas espaciales *i* de una celda espacial) y en los predictores que varían espacialmente, and es el error aleatorio (Fotheringham *et al.,* 2002).

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.02

5. RESULTADOS

5.1. Análisis exploratorio de la distribución espacial de las infraestructuras descargadas de OpenStreetMap y los lugares de residencia de los usuarios de Twitter

Los resultados exploratorios muestran que la principal categoría de infraestructuras descargadas de *OpenStreetMap* corresponde a bares y restaurantes. Este resultado puede explicarse por la "cultura de bar" existente en España en general y en Andalucía en particular, siendo los bares y restaurantes lugares comunes donde la gente se reúne diariamente tanto para comer como para establecer vínculos sociales. La otra categoría que destaca es el transporte público. Por el contrario, las categorías de educación, ocio y espacios verdes son las que cuentan con un menor número de puntos (figura 2).

La desviación estándar es alta en la mayoría de las variables, lo que indica que hay zonas con muchos equipamientos y otras con muy pocos. Destaca la elevada desviación estándar de los bares y restaurantes y el alto valor de las paradas de transporte público, reforzando la hipótesis de que los equipamientos de estas dos categorías están muy concentrados en ciertas áreas. En contraste, las categorías de educación y parques tienen medias bajas y poca variabilidad, lo que sugiere una oferta generalmente reducida en casi todas las zonas de Andalucía (tabla 3).

La cartografía muestra una mayor concentración de infraestructuras en las ciudades más pobladas de la comunidad autónoma, situadas en la costa (especialmente en las provincias de Málaga y Cádiz) y a lo largo del valle del Guadalquivir. En las cuatro mayores ciudades andaluzas, la mayor densidad de servicios e infraestructuras se ve en los cascos históricos (figura 3). Las infraestructuras relacionadas con el transporte público se concentran en las áreas metropolitanas y a lo largo de la costa mediterránea. Los bares y restaurantes están repartidos por toda la región, con una fuerte concentración en los cascos históricos de las grandes ciudades y a lo largo de la costa. Los supermercados están muy extendidos por toda Andalucía, mientras que los pequeños comercios minoristas se encuentran en los suburbios y en las ciudades dormitorio de las aglomeraciones urbanas, y en las ciudades pequeñas y medianas del interior de la comunidad autónoma (figura 4).

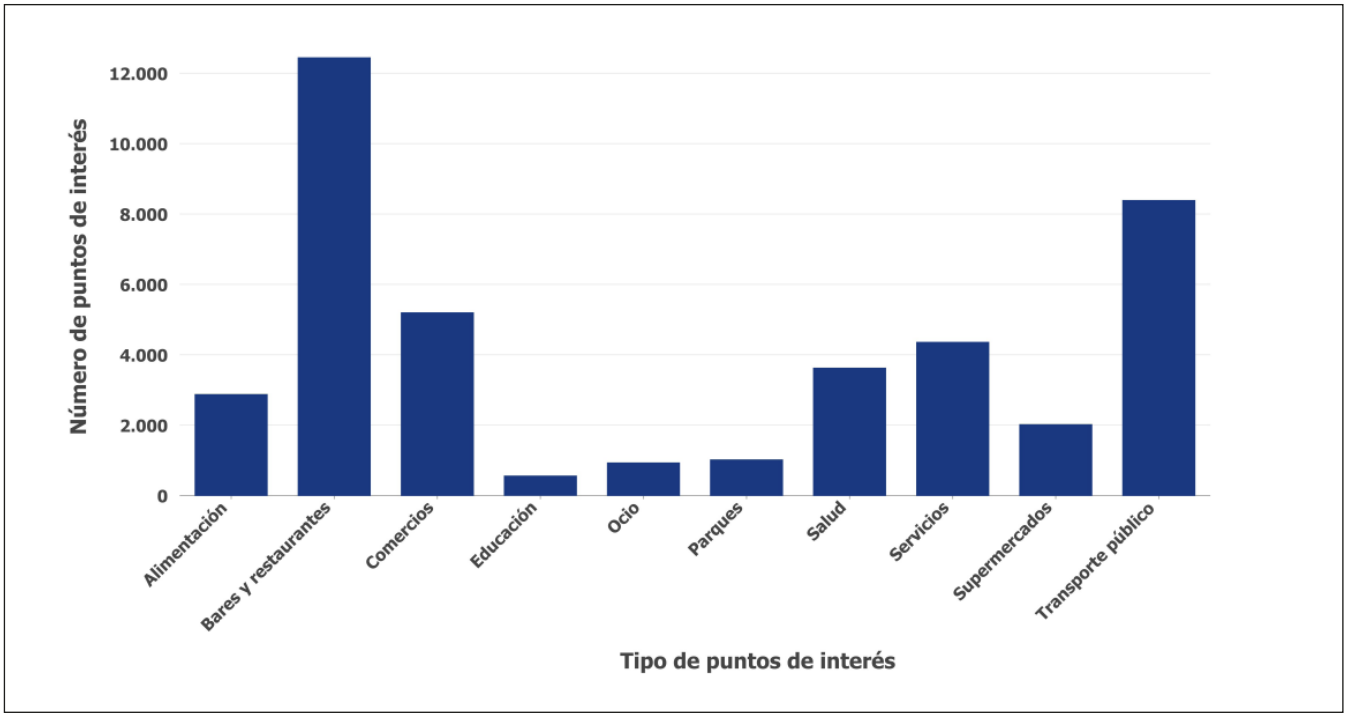


Figura 2. Número de infraestructuras de *OpenStreetMap* por categoría. Fuente: elaboración propia a partir de datos de OpenStreetMap.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.02

Tabla 3. Parámetros de las categorías de los puntos de interés de *OpenStreetMap* por celda espacial.

Variable	Valor mínimo	Valor máximo	Media	Desviación estándar
Supermercados	0	23	3,56	3,95
Alimentación	0	67	5,08	8,44
Comercios	0	247	9,19	21,59
Servicios	0	91	7,70	11,31
Salud	0	67	6,40	7,74
Educación	0	11	0,97	1,62
Ocio	0	22	1,64	2,33
Bares y restaurantes	0	434	22,01	37,07
Parques	0	24	1,79	2,84
Transporte público	0	301	14,84	25,93

Fuente: elaboración propia.

Las residencias de la muestra de usuarios de *Twitter* se concentran principalmente en las ciudades más pobladas de Andalucía, a lo largo de la costa (excepto la costa de la provincia de Granada), y en menor medida a lo largo del Valle del Guadalquivir. En las cuatro principales ciudades de la comunidad autónoma, el mayor número de residencias detectadas corresponde de nuevo a los cascos históricos (figura 5). A grandes rasgos, la distribución de residencias de usuarios de *Twitter* se asemeja a la distribución de puntos de interés de *OpenStreetMap*, aunque con un mayor peso en la costa atlántica y un menor peso en el interior del Valle del Guadalquivir. Esta similitud puede deberse a que las zonas urbanas más pobladas, donde es más fácil encontrar posibles lugares de residencia de los usuarios de *Twitter*, suelen contar con un mayor número de servicios y comercios de proximidad para satisfacer la demanda de la población.

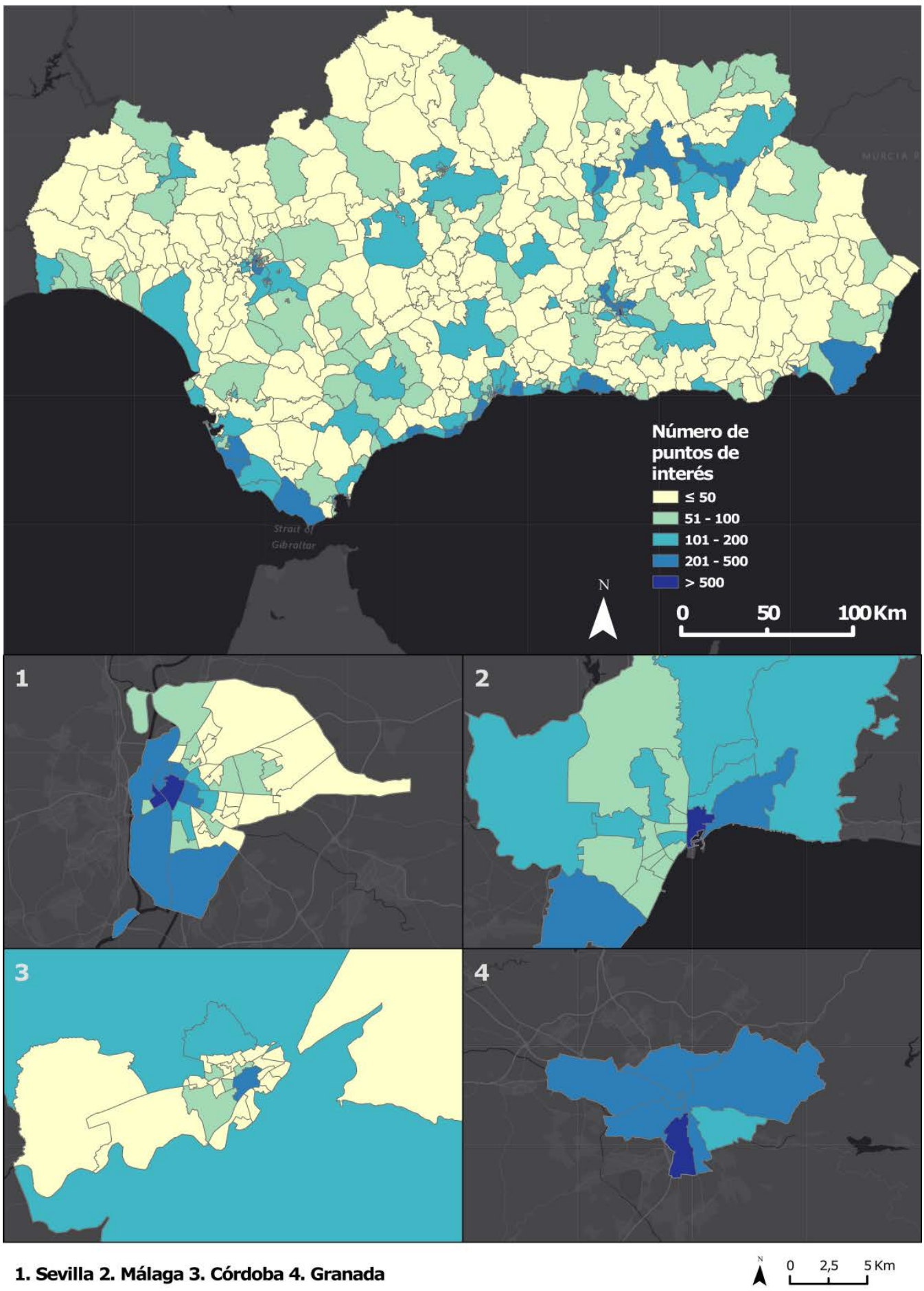


Figura 3. Número de puntos descargados de *OpenStreetMap* por celda de población. Fuente: elaboración propia a partir de datos de *OpenStreetMap*.

© Editorial Universidad de Sevilla 2024 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.02

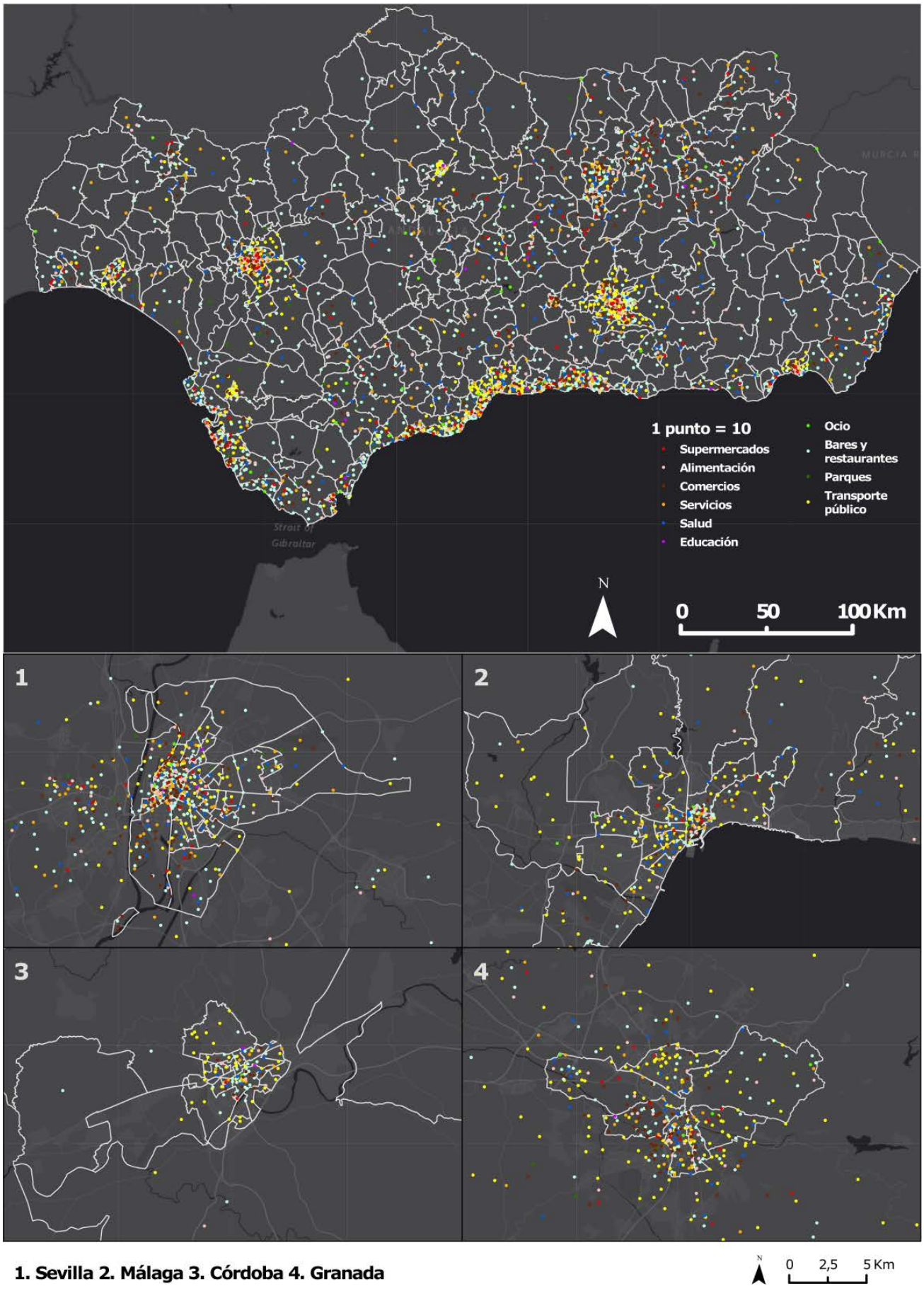


Figura 4. Distribución de infraestructuras de *OpenStreetMap* por categoría. Fuente: elaboración propia a partir de datos de *OpenStreetMap.*

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.02

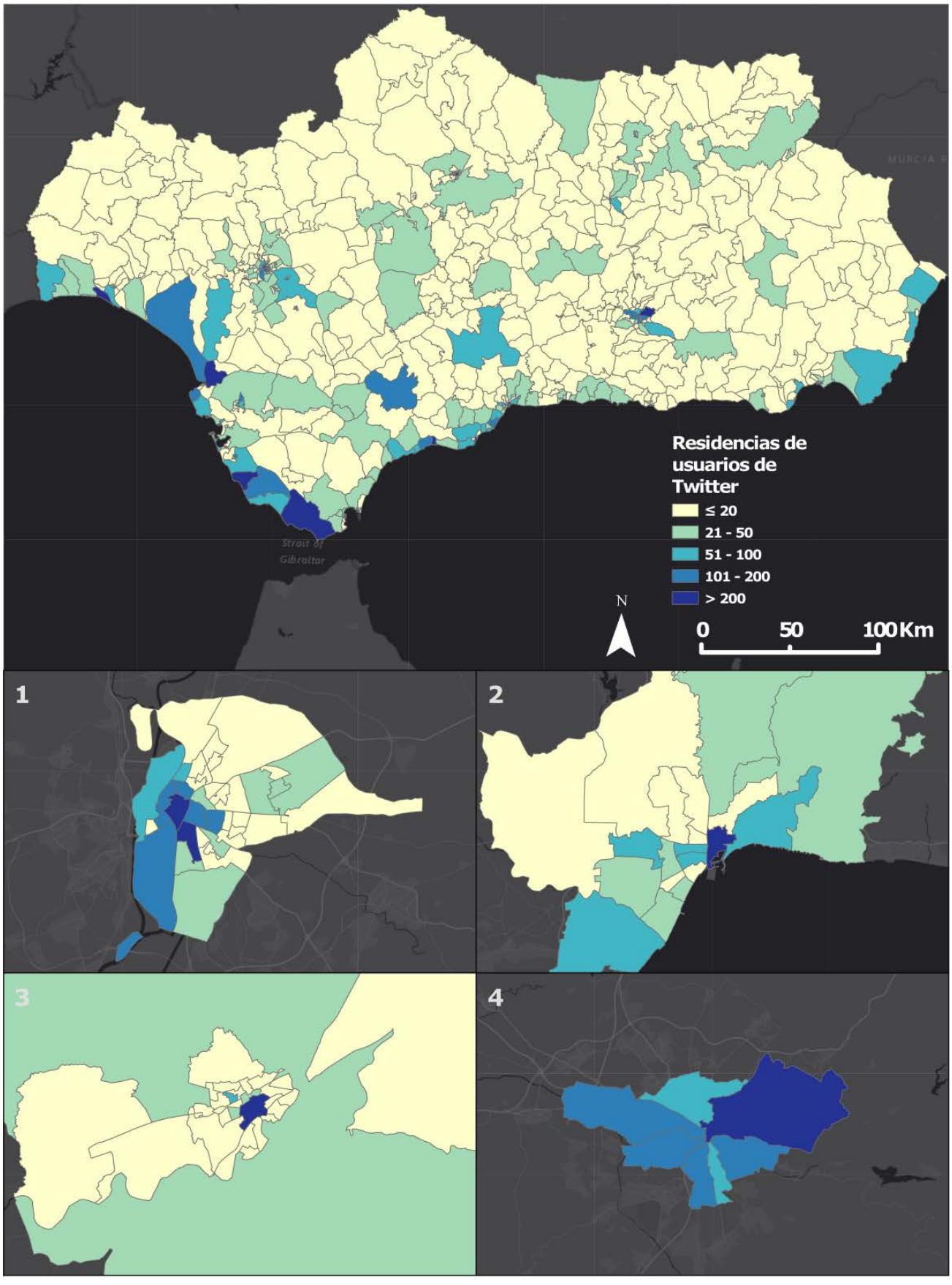


Figura 5. Número de residencias de usuarios de *Twitter* por celda de población. Fuente: elaboración propia a partir de datos de *Twitter*.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.02

5.2. Aplicación de los modelos OLS y GWR a los datos de Twitter y OpenStreetMap

Los resultados del índice de Moran I realizados sobre el primer modelo OLS (tomando todas las categorías de puntos de interés como variables explicativas) indican que no existe autocorrelación espacial al tener el valor z un resultado de 1,19, por lo que el modelo OLS está correctamente especificado. El coeficiente de determinación del modelo tiene un valor R^2 de 0,55 lo que indica un ajuste aceptable de los resultados a la realidad, aunque con un efecto moderado.

Al eliminar como variables explicativas las categorías con mayor concentración de puntos en las zonas más pobladas (bares y restaurantes y paradas de transporte), el segundo modelo OLS señala de forma más clara una distribución menos adecuada de los servicios en los cascos históricos de las grandes ciudades y en la costa atlántica, mientras que la costa mediterránea, el interior de la provincia de Jaén y el barrio de Triana en Sevilla emergen como zonas donde se desarrolla el modelo de ciudad de 15 minutos. Sin embargo, el coeficiente de determinación del modelo presenta un valor de R^2 de 0,39, lo que indica un bajo ajuste. En este caso, el resultado del Índice de Moran I tiene un valor de 3,98 e indica una alta autocorrelación espacial.

Analizando los parámetros de cada variable en los modelos se aprecia de forma general que a medida que crece el número de usuarios de *Twitter* de una celda, crece el número de bares y restaurantes, lugares de ocio, y paradas de transporte público, mientras que el número de supermercados, comercios de alimentación y establecimientos de educación decrece. La mayoría de las variables son estadísticamente significativas, siendo los comercios que no son de alimentación, los espacios verdes, los servicios y los centros de salud las únicas variables que no explican la distribución de usuarios de *Twitter* en Andalucía. Los servicios son la única variable que presenta un valor alto de colinealidad, lo que indica una fuerte correlación entre la distribución espacial de este tipo de equipamientos con otras infraestructuras básicas como centros de alimentación o lugares de salud.

Al eliminar del modelo los bares y restaurantes y paradas de transporte público, los coeficientes se suavizan, con la excepción de los lugares de ocio, que tienen un valor explicativo mayor. En este segundo modelo, las únicas variables con coeficiente negativo son los supermercados y los centros de educación. Sin embargo, las únicas variables estadísticamente significativas son los centros de ocio, los comercios, y los espacios verdes (tabla 4). Estos resultados, sumados a la alta autocorrelación espacial del segundo modelo, señala que es necesario ejecutar un modelo GWR que considere la variación espacial de los datos.

Tabla 4. Parámetros de las categorías de los puntos de interés de *OpenStreetMap* en los dos modelos OLS.

Variable	Coeficiente OLS 1	Valor p OLS 1	VIF OLS 1	Coeficiente OLS 2	Valor p OLS 2	VIF OLS 2
Supermercados	-2,28	0,00	2,12	-0,63	0,45	2,06
Alimentación	-1,12	0,02	4,65	0,06	0,91	4,51
Comercios	0,14	0,40	3,38	0,64	0,00	3,19
Servicios	0,02	0,96	8,34	1,09	0,05	8,04
Salud	-0,19	0,71	4,38	0,04	0,93	4,11
Educación	-3,66	0,01	1,37	-2,28	0,17	1,36
Ocio	5,85	0,00	1,69	11,37	0,00	1,44
Bares y restaurantes	1,37	0,00	3,98	-	-	-
Parques	-0,12	0,87	1,24	1,79	0,04	1,20
Transporte público	0,38	0,00	1,33	-	-	-

Fuente: elaboración propia.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.02

Los resultados del modelo GWR realizado, teniendo en cuenta que se han utilizado las ocho variables explicativas del segundo modelo OLS (descartando bares y restaurantes y paradas de transporte), señalan una adecuación con la realidad mejor que los dos modelos OLS previos. El coeficiente de determinación del modelo cuenta con un valor R^2 de 0,68 lo que señala un buen ajuste de los resultados a la realidad. El valor z -0,35 del Índice de Moran I indica además que el modelo está correctamente especificado al no tener autocorrelación espacial.

La comparación de los parámetros de los dos modelos OLS indica que el modelo que utiliza todas las variables es el más confiable de los dos, además de no tener autocorrelación espacial, por lo que no hay necesidad de implementar en este caso un modelo de regresión GWR. Sin embargo, el ruido generado de los puntos asociados a bares y restaurantes y las paradas de transporte público (infraestructuras muy concentradas en las grandes ciudades de la comunidad autónoma) condicionan el modelo en todo el territorio. El modelo GWR que excluye esas dos variables es el que se asocia mejor a la realidad de los datos según los resultados cartografiados y la comparación de sus parámetros con los modelos OLS. Su valor de R^2 de 0,68 indica un buen ajuste del modelo con la realidad, y al ser el valor más alto de los tres modelos, el modelo GWR tiene una mejor capacidad predictiva. El coeficiente sigma^2 indica que el modelo GWR tiene la menor varianza residual, lo que indica que los errores son menores en comparación con los otros dos modelos. Los resultados de la autocorrelación espacial de Moran I muestran que este modelo no tiene correlación espacial en los residuos, lo que también señala que es el modelo más fiable de los tres realizados (tabla 5).

Tabla 5. Comparación de los parámetros de los tres modelos diseñados en este estudio.

i	Modelo OLS 10 variables	Modelo OLS 8 variables	Modelo GWR 8 variables
R^2	0,55	0,39	0,68
AICc	5978,69	6145,00	6015,25
Sigma2	2253,11	3035,68	2028,36
Moran I	0,02	0,07	-0,00
Valor Z	1,19	3,98	-0,35
Valor P	0,23	0,00	0,72

Fuente: elaboración propia.

La cartografía de residuos del modelo GWR indica en color azul las celdas de población con mejor ajuste al concepto de ciudad de 15 minutos, y en color rojo las celdas más alejadas del dicho concepto. Así, existe un fuerte acercamiento del modelo de la ciudad de los 15 minutos en los municipios del interior, especialmente en el interior de las provincias de Jaén y Granada. Además, la costa mediterránea también cuenta con una alta accesibilidad hacia los servicios. En cambio, la costa atlántica (especialmente el campo de Gibraltar), aunque también tiene una marcada votación turística, tiene una baja accesibilidad a causa de la orografía del territorio. Otros puntos rojos es el Parque Natural de Doñana (resultado lógico al ser un espacio natural protegido, ubicándose la población y los equipamientos cartografiados en la localidad costera de Matalascañas) y algunas localidades de interior localizadas en terrenos montañosos.

En cuanto a las principales ciudades andaluzas, los cascos históricos muestran una sobreestimación de usuarios de *Twitter*. Esta sobreestimación es claramente visible en Sevilla y Granada, y puede deberse a los fenómenos de gentrificación y turistificación que están experimentando estas ciudades, provocando un aumento del precio de los pisos y el cierre de pequeños comercios para la apertura de establecimientos de comida rápida y servicios orientados al turismo (Jover & Díaz-Parra, 2020; Parralejo *et al.,* 2022). Por el contrario, las celdas asociadas a los barrios periféricos (excepto en Granada) sí tienen un buen grado de adaptación al concepto de ciudad de 15 minutos al ser áreas orientadas a la residencia. En esta línea,

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.02

el modelo GWR muestra que las ciudades dormitorio de las aglomeraciones metropolitanas (como, por ejemplo, los municipios que rodean a la ciudad de Málaga o las pequeñas ciudades del Aljarafe localizadas al oeste de Sevilla), son celdas de población con mayor aproximación a la noción de ciudad de 15 minutos, ya que son áreas pobladas y con un fuerte comercio necesario para satisfacer las necesidades de los residentes (figura 6).

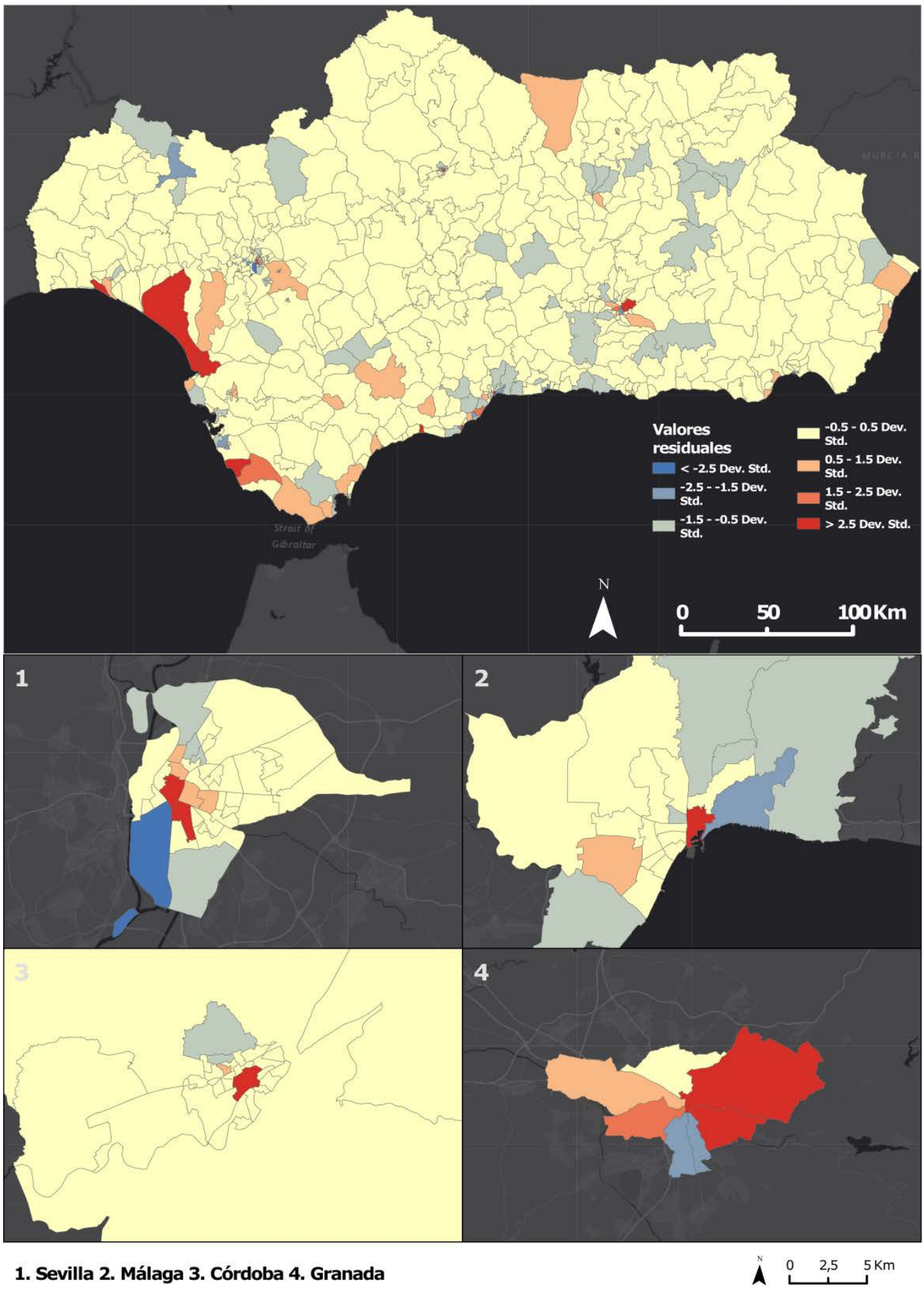


Figura 6. Distribución de los valores residuales por celda de población del modelo GWR entre el número de residencias de *Twitter* y ocho categorías de infraestructuras. Fuente: elaboración propia a partir de datos de Twitter y *OpenStreetMap*.

© Editorial Universidad de Sevilla 2024 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.02

6. DISCUSIÓN

Este estudio ha empleado datos basados en las TIC para analizar la implantación del modelo de la ciudad de 15 minutos en Andalucía, aprovechando datos geolocalizados de *Twitter* y de *OpenStreetMap*. A diferencia de la información censal, *Twitter* permite mostrar en forma de punto posibles lugares de residencia gracias a su alto detalle espacial, lo que posibilita la identificación y conteo de infraestructuras disponibles a un tiempo máximo de 15 minutos caminando (figuras 1 y 4), mientras que la información de las secciones censales, aunque más precisa al no ser afectada por sesgos, no cuenta con el detalle necesario para poder identificar servicios desde puntos determinados.

Además, la flexibilidad espacial de los datos de *Twitter* permite definir unidades de análisis adaptadas a las necesidades del estudio. En este caso, se han usado celdas de población del INE debido a la posibilidad de analizar y comparar diferentes lugares de Andalucía manteniendo la homogeneidad de la población, de forma que cada celda de población tiene un número aproximado de habitantes desde el cual se puede analizar la variación en la oferta o accesibilidad de servicios de una amplia región en una misma escala (figura 3). Mientras, *OpenStreetMap* cuenta con información de diferentes servicios e infraestructuras clasificada por categorías temáticas, algunas de las cuales no suelen estar accesibles de otro modo.

Los resultados obtenidos indican que los centros históricos de las grandes ciudades presentan una alta concentración de usuarios de *Twitter* en comparación con las infraestructuras disponibles (figura 5). Además, la mayor cantidad de los equipamientos identificados en estos entornos corresponden principalmente a bares y restaurantes. Si se excluye esta categoría de establecimientos, los resultados muestran que los cascos históricos de las ciudades tienen mayores dificultades para cumplir el criterio de ciudad de 15 minutos, debido a la menor cantidad de servicios esenciales para la vida cotidiana de los residentes y al fuerte proceso de gentrificación y turistificación que sufren estos centros. Por el contrario, los barrios periféricos de las grandes ciudades y las ciudades dormitorio de las aglomeraciones metropolitanas suelen contar con un mayor número de comercios y pequeños establecimientos comerciales que se encuentran cerca de los lugares de residencia. Esto sugiere que estas áreas están en mejor disposición para cumplir los criterios de la ciudad de 15 minutos, aunque su nivel de autosuficiencia depende en gran medida de la disponibilidad de transporte público y de la accesibilidad a ciertos servicios.

A nivel regional se han identificado diferencias significativas entre las distintas zonas de Andalucía. En las zonas del interior de la comunidad autónoma, especialmente en los pueblos con menor número de habitantes, la accesibilidad a los servicios básicos es elevada, especialmente en el interior de las provincias de Jaén y Granada, zonas compuestas por pueblos pequeños y autosuficientes. La costa mediterránea, especialmente el litoral de las provincias de Málaga y Granada, también cuenta con un fuerte acercamiento al modelo de la ciudad de los 15 minutos, entre otros motivos por la gran accesibilidad con la que cuentan las ciudades de esta área, y el tamaño pequeño de las ciudades, sumado a una fuerte población flotante en verano para la cual estas ciudades se han dotado fuertemente de una amplia gama de servicios.

En contraste, la costa atlántica (particularmente el litoral de Huelva y el Campo de Gibraltar) tiene un bajo nivel de implantación del modelo de la ciudad de los 15 minutos pese al alto impacto turístico de la zona debido a la menor accesibilidad a infraestructuras y servicios. Esto se puede deber a la falta de existencia de servicios eficientes de transporte público y a barreras geográficas como la orografía montañosa del Campo de Gibraltar, lo que provoca entre otras consecuencias, una falta de conexión fluida con las ciudades de la Bahía de Cádiz.

Estos hallazgos pueden compararse con las conclusiones de investigaciones anteriores basadas en fuentes de datos tradicionales. La información generada a partir de Big Data indica que los centros históricos de las ciudades andaluzas son altamente accesibles y ofrecen una amplia gama de servicios, como se observa en Barcelona (Ferrer-Ortiz *et al.*, 2022) y Milán (Abdelfattah *et al.*, 2022). Sin embargo, la sobrerrepresentación de usuarios de *Twitter* y la tipología priorizada de bares y restaurantes como puntos de interés descargados en *OpenStreetMap* muestran cómo los datos basados en las TIC indican más claramente los fenómenos de gentrificación y turistificación y su influencia en el marco de las ciudades de 15 minutos. Por el contrario, los barrios periféricos de las principales ciudades andaluzas se comportan de forma similar a la periferia de Barcelona (Ferrer-Ortiz *et al.*, 2022) y los suburbios autosuficientes de Londres, en contraste con

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.02

la periferia subdesarrollada de Nápoles (Gaglione *et al.*, 2022) o Bogotá (Guzmán *et al.*, 2021). Además, las nuevas fuentes de datos han permitido trazar un perfil en otras ubicaciones, como las ciudades de tamaño medio o el litoral. No existe bibliografía previa con la que contrastar estas tipologías, probablemente debido a las limitaciones de las fuentes de datos tradicionales.

Aunque los datos geolocalizados obtenidos a partir de las TIC han resultado ser una opción válida y alternativa para la realización de investigaciones urbanas como los estudios relacionados con la implantación del modelo de la ciudad de los 15 minutos, hay que tener en cuenta algunas limitaciones a la hora de trabajar con estas fuentes basadas en el Big Data. En primer lugar, el número de tweets georreferenciados es bastante bajo (los tweets con coordenadas de latitud y longitud suelen rondar el 1% del total de tweets generados en la aplicación), por lo que ha sido necesario descargar datos de un periodo temporal amplio de cinco años. Aunque en los últimos años el rango de edad de los usuarios de *Twitter* se ha ampliado considerablemente, estos datos siguen contando con un sesgo de edad, con una primacía de uso por parte de la población comprendida entre los 18 y 39 años. Esta limitación también afecta a la distribución geográfica de la muestra, siendo más difícil identificar y obtener usuarios en las zonas del interior de Andalucía (como por ejemplo el interior de la provincia de Andalucía o los pueblos ubicados en Sierra Morena al norte de la comunidad autónoma). Esto se debe a la escasa población, que además es demográficamente más envejecida que en las grandes ciudades y las zonas costeras, que tienen una población más joven y, por tanto, más propensa a utilizar las redes sociales.

Además, hay que tener en cuenta las cuestiones de privacidad que implica el uso de datos geolocalizados de redes sociales. Al anonimizar y agregar los datos en unidades espaciales, estos problemas se mitigan. Otra limitación importante en cuanto a la obtención de datos es la dependencia total de los propietarios de las nuevas fuentes de datos. Este es un problema que ha impactado directamente en *Twitter* desde junio del año 2023, cuando Elon Musk eliminó el acceso y descarga gratuita de los tweets mediante un plan de monetización que actualmente cuesta 5000 dólares al mes. Afortunadamente, cada vez hay un mayor número de organismos e instituciones que son conscientes del gran potencial de las nuevas fuentes de datos basadas en las TIC, y que están compartiendo sus datos de forma abierta y gratuita. Una alternativa gratuita a los datos de *Twitter* consiste en los datos de telefonía móvil suministrados por el Ministerio de Movilidad y Transportes desde el año 2022, que además cuenta con datos sociodemográficos como el sexo, la edad por franjas o el nivel de renta. Hay que tener en cuenta que la resolución especial de los datos de telefonía móvil es inferior al de los datos de *Twitter* ya que no se basan en coordenadas específicas captadas por el sistema GPS, sino en la ubicación de las antenas de telefonía más próximas.

Por otro lado, aunque los datos de *OpenStreetMap* son los únicos datos geográficos abiertos disponibles con información geográfica detallada sobre comercios y establecimientos, estos datos suelen estar completos sólo en las ciudades más pobladas. En otras palabras, los datos ya se hallan incompletos en las ciudades medianas con una población considerable, por lo que se pierde información espacial sobre muchos pequeños comercios y negocios. Otro problema a tener en cuenta es el interés del tipo de establecimiento: la población tiende a cargar en la base de datos *OpenStreetMap* puntos de interés relevantes para el turismo, como restaurantes y bares, mientras que los puntos relacionados con tiendas de alimentación o pequeños comercios se pasan por alto más fácilmente.

7. CONCLUSIONES

Este estudio ha demostrado que los datos basados en las TIC son una herramienta útil para analizar la implantación del modelo de la ciudad de 15 minutos en Andalucía, aprovechando las ventajas de estos datos como su alto volumen de información o su alto detalle espacial y temporal, y proporcionando una perspectiva complementaria a los enfoques basados en fuentes tradicionales. Los resultados sugieren que las principales ciudades andaluzas cumplen en gran medida los criterios del modelo, aunque los centros históricos presentan problemas de accesibilidad a servicios esenciales debido a la gentrificación y la turistificación. En cambio, los barrios periféricos y las ciudades dormitorio tienden a ofrecer mejores condiciones

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.02

para la proximidad urbana. A nivel regional, las zonas rurales del interior y la costa mediterránea muestran buenos niveles de accesibilidad, mientras que la costa atlántica enfrenta mayores dificultades debido a su menor conectividad.

A pesar de las ventajas del uso de Big Data mostradas en esta investigación, es necesario también considerar sus limitaciones, como el sesgo sociodemográfico que suelen presentar los usuarios de *Twitter*, la dependencia de proveedores privados y la falta de exhaustividad en los datos de *OpenStreetMap*.

Este trabajo permite vislumbrar algunas futuras líneas de investigación. Entre ellas, la posibilidad de utilizar infraestructuras relacionadas con el turismo (hoteles, pisos de alquiler *AirBNB* o establecimientos de cadenas de comida rápida) para medir el grado de gentrificación de una celda de población y ponerlo en contexto con el marco teórico de la ciudad de 15 minutos. Otra futura vía de estudio podría orientarse hacia la consideración conjunta del lugar de trabajo y los tiempos de desplazamiento de los usuarios de *Twitter*, de forma que pueda analizarse la aplicación de otro de los conceptos que se desprenden de este marco teórico de la proximidad urbana: el territorio de los 45 minutos. Esta teoría define que el lugar de trabajo debe estar situado en un tiempo máximo de acceso de 45 minutos en transporte público. Por último, la información temporal procedente de los datos de *Twitter* puede utilizarse para crear series temporales que permitan observar si existe una evolución en la implantación del concepto de ciudad de 15 minutos a lo largo de una serie de años.

Declaración responsable y conflicto de intereses

El autor declara que este trabajo no presenta ningún tipo de conflicto de interés con relación a su publicación.

REFERENCIAS

Abdelfattah, L., Deponte, D., & Fossa, G. (2022). The 15-minute city: interpreting the model to bring out urban resiliencies. *Transportation Research Procedia*, *60*, 330–337. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.12.043

Allam, Z., Bibri, S. E., Chabaud, D., & Moreno, C. (2022). The Theoretical, Practical, and Technological Foundations of the 15-Minute City Model: Proximity and Its Environmental, Social and Economic Benefits for Sustainability. *Energies*, *15*(16), 6042. https://doi.org/10.3390/en15166042

Allam, Z., Bibri, S. E., Jones, D. S., Chabaud, D., & Moreno, C. (2022). Unpacking the '15-Minute City' via 6G, IoT, and Digital Twins: Towards a New Narrative for Increasing Urban Efficiency, Resilience, and Sustainability. *Sensors*, *22*(4), 1369. https://doi.org/10.3390/s22041369

Balletto, G., Ladu, M., Milesi, A., & Borruso, G. (2021). A Methodological Approach on Disused Public Properties in the 15-Minute City Perspective. *Sustainability*, *13*(2), 593. https://doi.org/10.3390/su13020593

Bégin, D., Devillers, R., & Roche, S. (2018). The life cycle of contributors in collaborative online communities -the case of OpenStreetMap. *International Journal of Geographical Information Science*, *32*(8), 1611–1630. https://doi.org/10.1080/13658816.2018.1458312

Blanford, J. I., Huang, Z., Savelyev, A., & MacEachren, A. M. (2015). Geo-located tweets: Enhancing mobility maps and capturing cross-border movement. *PLOS ONE*, *10*(6), e0129202. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129202

Borghetti, F., Longo, M., Mazzoncini, R., Somaschini, Cl., Cesarini, L., & Contestabile, L. (2021). Relationship Between Railway Stations and the Territory: Case Study in Lombardy – Italy for 15-Min Station. *International Journal of Transport Development and Integration*, *5*(4), 367–378. https://doi.org/10.2495/TDI-V5-N4-367-378

Capasso Da Silva, D., King, D. A., & Lemar, S. (2019). Accessibility in Practice: 20-Minute City as a Sustainability Planning Goal. *Sustainability*, *12*(1), 129. https://doi.org/10.3390/su12010129

Caselli, B., Carra, M., Rossetti, S., & Zazzi, M. (2022). Exploring the 15-minute neighbourhoods. An evaluation based on the walkability performance to public facilities. *Transportation Research Procedia*, *60*, 346–353. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.12.045

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.02

Ferrer-Ortiz, C., Marquet, O., Mojica, L., & Vich, G. (2022). Barcelona under the 15-Minute City Lens: Mapping the Accessibility and Proximity Potential Based on Pedestrian Travel Times. *Smart Cities*, *5*(1), 146–161. https://doi.org/10.3390/smartcities5010010

Gaglione, F., Gargiulo, C., Zucaro, F., & Cottrill, C. (2021). 15-minute neighbourhood accessibility: a comparison between Naples and London. *European Transport/Trasporti Europei*, (85), 1–16. https://doi.org/10.48295/ET.2021.85.5

Gaglione, F., Gargiulo, C., Zucaro, F., & Cottrill, C. (2022). Urban accessibility in a 15-minute city: A measure in the city of Naples, Italy. *Transportation Research Procedia*, (60), 378–385. Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.12.049

Gaxiola-Beltrán, A. L., Narezo-Balzaretti, J., Ramírez-Moreno, M. A., Pérez-Henríquez, B. L., Ramírez-Mendoza, R. A., Krajzewicz, D., & Lozoya-Santos, J. de-J. (2021). Assessing Urban Accessibility in Monterrey, Mexico: A Transferable Approach to Evaluate Access to Main Destinations at the Metropolitan and Local Levels. *Applied Sciences*, *11*(16), 7519. https://doi.org/10.3390/app11167519

Graells-Garrido, E., Opitz, D., Rowe, F., & Arriagada, J. (2022). Feel Old Yet? Updating Mode of Transportation Distributions from Travel Surveys using Data Fusion with Mobile Phone Data. *PLoS ONE*, *16*(5 May). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250080

Gutiérrez, J. (2018). Big Data y nuevas geografías: la huella digital de las actividades humanas. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, *64*(2), 195. https://doi.org/10.5565/rev/dag.526

Guzman, L. A., Arellana, J., Oviedo, D., & Moncada Aristizábal, C. A. (2021). COVID-19, activity and mobility patterns in Bogotá. Are we ready for a '15-minute city'? *Travel Behaviour and Society*, *24*, 245–256. https://doi.org/10.1016/j.tbs.2021.04.008

Jover, J., & Díaz-Parra, I. (2020). Gentrification, transnational gentrification and touristification in Seville, Spain. *Urban Studies*, *57*(15), 3044–3059. https://doi.org/10.1177/0042098019857585

Kissfazekas, K. (2022). Circle of paradigms? Or '15-minute' neighbourhoods from the 1950s. *Cities*, *123*, 103587. https://doi.org/10.1016/j.cities.2022.103587

Lansley, G., & Longley, P. A. (2016). The geography of Twitter topics in London. *Computers, Environment and Urban Systems*, (58), 85–96. https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2016.04.002

Machado, A. A., & Camboim, S. P. (2019). Mapeamento colaborativo como fonte de dados para o planejamento urbano: desafios e potencialidades. *Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, *11*, 1–21. https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.e20180142

Moreno, C., Allam, Z., Chabaud, D., Gall, C., & Pratlong, F. (2021). Introducing the "15-Minute City": Sustainability, Resilience and Place Identity in Future Post-Pandemic Cities. *Smart Cities*, *4*(1), 93–111. https://doi.org/10.3390/smartcities4010006

Moreno, C., Sennett, R., Sassen, S., & Gala Valencia, B. (2023). *La revolución de la proximidad: De la "ciudad global" a la "ciudad de los quince minutos"*. Alianza Editorial.

Nieuwenhuijsen, M. J. (2021). New urban models for more sustainable, liveable and healthier cities post covid19; reducing air pollution, noise and heat island effects and increasing green space and physical activity. *Environment International*, *157*, 106850. https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106850

Osorio-Arjona, J., & García-Palomares, J. C. (2017). Nuevas fuentes y retos para el estudio de la movilidad urbana. *Cuadernos Geográficos*, *56*(3), 247–267. https://doi.org/10.30827/CUADGEO.V56I3.5352

Osorio-Arjona, J., & García-Palomares, J. C. (2020). Spatio-temporal mobility and Twitter: 3D visualisation of mobility flows. *Journal of Maps*, *16*(1), 153–160. https://doi.org/10.1080/17445647.2020.1778549

Parralejo, J.-J., Díaz-Parra, I., & Pedregal, B. (2022). Procesos sociodemográficos y alquileres turísticos en centros históricos. Los casos de Sevilla y Cádiz. *EURE*, *48*(145), 1–23. https://doi.org/10.7764/EURE.48.145.08

Pozoukidou, G., & Chatziyiannaki, Z. (2021). 15-Minute City: Decomposing the New Urban Planning Eutopia. *Sustainability*, *13*(2), 928. https://doi.org/10.3390/su13020928

Weng, M., Ding, N., Li, J., Jin, X., Xiao, H., He, Z., & Su, S. (2019). The 15-minute walkable neighborhoods: Measurement, social inequalities and implications for building healthy communities in urban China. *Journal of Transport & Health*, *13*, 259–273. https://doi.org/10.1016/j.jth.2019.05.005

Yoshimura, Y., Kumakoshi, Y., Fan, Y., Milardo, S., Koizumi, H., Santi, P., ... Ratti, C. (2022). Street pedestrianization in urban districts: Economic impacts in Spanish cities. *Cities*, *120*, 103468. https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103468

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.02

Revista de Estudios Andaluces (REA) | Núm. 50, julio (2025) | e-ISSN: 2340-2776
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50 | © Editorial Universidad de Sevilla 2025
https://editorial.us.es/es/revistas/revista-de-estudios-andaluces
https://revistascientificas.us.es/index.php/REA
CC BY-NC-SA 4.0.

Marketing cofrade en Andalucía: análisis prospectivo a través del método Delphi

Brotherhood marketing in Andalucia: prospective analysis through the Delphi method

Franscisco Javier Cristófol-Rodríguez
franciscojavier.cristofol@unir.net 0000-0002-0967-3514
Universidad Internacional de La Rioja (UNIR).
Avenida de la Paz, 137. 26006 Logroño, La Rioja, España.

Diego Berraquero-Rodríguez
diegobr@euosuna.org 0009-0007-4238-0098
Escuela Universitaria de Osuna, Centro Adscrito a la Universidad de Sevilla.
Campo de los Cipreses, 1. 41640 Osuna, Sevilla, España.

INFO ARTÍCULO

Recibido: 24-01-2025
Revisado: 06-03-2025
Aceptado: 30-03-2025

PALABRAS CLAVE

Marketing cofrade
Marca territorial
Semana Santa
Hermandades
Delphi

KEYWORDS

Cofrade marketing
Territorial branding
Holy Week
Brotherhoods
Delphi

RESUMEN

Introducción: El marketing cofrade es una cuestión recurrente en la sociedad contemporánea en la que vivimos. En España hay más de tres millones de cofrades, por lo que nos encontramos ante un concepto relevante en su importancia en el ámbito social. Metodología: Se realiza una investigación cualitativa vehiculada mediante el método Delphi conformado por un panel de ocho expertos en marketing. Resultados: En relación con el marketing cofrade, se constata que las hermandades y cofradías requieren de una gestión más completa. Conclusiones: El marketing cofrade emerge como una disciplina que comparte similares elementos con el marketing religioso y/o basado en la fe y el marketing en organizaciones sin ánimo de lucro, pero con diferencias significativas con la implementación de otros elementos turísticos, culturales y patrimoniales.

ABSTRACT

Introduction: Cofrade marketing is a recurring issue in the contemporary society in which we live. In Spain there are more than three million cofrades, so we are facing a relevant concept in its importance in the social field. Methodology: A qualitative research was carried out using the Delphi method with a panel of eight marketing experts. Results: In relation to cofrade marketing, it is found that the brotherhoods and confraternities require a more complete management. Conclusions: Cofrade marketing emerges as a discipline that shares similar elements with religious and/or faith-based marketing and marketing in non-profit organizations but with significant differences with the implementation of other tourism, cultural and heritage elements.

DOI: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.03
Formato de cita / Citation: Cristófol-Rodríguez, F.J. & Berraquero-Rodríguez, D. (2025). Brotherhood marketing in Andalucia: prospective analysis through the Delphi method. *Revista de Estudios Andaluces,*(50), 52-70. https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.03
Correspondencia autores: franciscojavier.cristofol@unir.net (Francisco Javier Cristófol-Rodríguez)

1. INTRODUCCIÓN

Manifiesta Cristófol (2024) que el concepto de marketing cofrade está en proceso de construcción. Además, el autor afirma como el marketing cofrade parte del marketing religioso al registrar diferencias significativas. Por ejemplo, una orden religiosa que busca aumentar el número de vocaciones centrará su estrategia en valores como la fe y la vocación, apelando directamente a la conexión profunda desde la espiritualidad. Sin embargo, las cofradías trabajan en el posicionamiento en la mente de los públicos y la atracción de nuevos hermanos. Por tanto, las cofradías utilizan elementos sociales, relacionales, musicales y artísticos para atraer tanto a devotos como a públicos interesados en aspectos culturales y patrimonio o meramente cofrades.

La Real Academia Española (2024) define "cofrade" como persona que pertenece a una cofradía. Las hermandades y cofradías en Andalucía son actores sociales y culturales en continuo contacto con la realidad que les rodea. En esta primera aproximación conceptual se sentarán las bases sobre el concepto de marketing aplicado. ¿Por qué hablar de marketing cofrade? Por su presencia en la vida social.

Según Beltrán (2018), España cuenta con más de 10.000 cofradías registradas en su censo, consolidándose así en el mayor movimiento asociativo del país. Las cofradías, según el autor, acogen a más de tres millones de personas. En el contexto geográfico de Andalucía, Sevilla destaca como ejemplo más representativo del epicentro del fenómeno cofrade. En 1998 había 100.000 cofrades y, en 2018 los datos alcanzaron la cifra de 215.000. Dentro de este panorama, el autor cita la Hermandad de la Macarena, que rozaba los 15.000 hermanos (miembros) antes de la pandemia la Covid-19.

Por su parte, el Centro de Investigaciones Sociológicas (CIS) manifestó en el año 2022 que el 30% de los españoles asiste a las procesiones de Semana Santa de forma regular y el 37,7% lo hace ocasionalmente. Entre las motivaciones, sólo el 30,2% lo atribuye a creencias religiosas, el 21,5% a la tradición, el 19,5% al carácter de celebración popular y el 14,3% al su valor artístico.

Además, el fenómeno cofrade tiene importantes implicaciones económicas (López & Gómez, 2019), especialmente en Andalucía, como se ha preocupado de cuantificar en una investigación la Cátedra de Estudios Cofrades de la Universidad de Málaga, el volumen de ingresos generado por la Semana Santa en la ciudad de Málaga durante el año 2016 superó los 82 millones de euros, en gran medida proporcionados por el turismo (Universidad de Málaga, 2017)

En consecuencia, la Semana Santa en Andalucía es una de las manifestaciones culturales y religiosas más destacadas del sur de España, atrayendo tanto a devotos como a turistas de todo el mundo. Las cofradías, en este caso, se revelan como los pilares fundamentales en la organización de estos eventos, jugando un papel determinante en la preservación y transmisión de esta tradición a lo largo de los siglos (Berraquero-Rodríguez & Cristófol, 2025).

Además, estas instituciones se encuentran inmersas en la adaptación de los cambios sociales, especialmente en lo relacionado con el uso de las redes sociales como herramientas de comunicación y promoción (Cancelo *et al.* 2015). El impacto de estas plataformas digitales en la Semana Santa es evidente en la forma en que las hermandades aprovechan medios como Facebook, Twitter e Instagram para informar sobre procesiones y actividades, generar contenidos atractivos y fomentar la participación. Pese a ser canales de promoción, estas redes permiten establecer un diálogo directo con los fieles, lo que fortalece el sentido de pertenencia y amplía su alcance. Este enfoque ha sido clave en la internacionalización de la Semana Santa, posibilitando que las cofradías conecten con públicos más diversos y trasciendan su ámbito local (Becerra-Fernández & Díaz-Cuevas, 2022).

Atendiendo a lo determinado por Cristófol *et al.* (2024) el marketing cofrade puede definirse como el conjunto de estrategias y prácticas de comunicación, promoción y gestión adaptadas al ámbito de las hermandades y cofradías, circunscritas al contexto geográfico andaluz, que busca fortalecer su identidad como imagen de marca, incrementar su relevancia social y conectar con diversos públicos, devotos y seguidores. Cabe destacar que, a pesar de que su finalidad no es estrictamente económica, se manifiestan todos los de los principios del marketing tradicional, concretamente en la rama del marketing religioso definido por Luna (2021) adaptados a un contexto dónde las cofradías desempeñan un papel fundamental en la realidad social.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.03

En definitiva, se trata de una disciplina que abarca desde la gestión de la misión y visión de las hermandades hasta la promoción de su patrimonio material e inmaterial, utilizando herramientas como en cualquier rama del tejido organizacional nacional e internacional como las redes sociales, el diseño de eventos y actos, la diferenciación, el posicionamiento y el storytelling para transmitir su mensaje y generar engagement. Además, lejos de centrarse únicamente en un público devoto y creyente, el marketing cofrade se abre también a quienes valoran la tradición, la cultura y la riqueza artística asociada a las cofradías, posicionándose en un «mercado» de ideas y experiencias que combina espiritualidad, identidad local, turismo y modernidad. El marketing de las cofradías no solamente busca «vender» un mensaje de trascendencia y valores, sino también fomentar el sentido de pertenencia y garantizar la sostenibilidad de estas instituciones en un entorno social dinámico.

Estos motivos hacen de que el presente estudio sobre el marketing aporte un enfoque novedoso al considerar la implementación de la disciplina en el seno de las Hermandades y Cofradías, originando una disciplina que hasta ahora ha sido poco explorada por parte de la comunidad científica. Al identificar las similitudes y diferencias con otras formas de marketing religioso y/o basado en la fe y el marketing en organizaciones sin ánimo de lucro, el estudio abre la puerta a nuevas estrategias que integren los valores espirituales con elementos turísticos, culturales y patrimoniales. Esto resulta especialmente relevante para promover la relevancia de las cofradías en la sociedad contemporánea y asegurar su futuro en un entorno cada vez más competitivo y globalizado. En este sentido, los objetivos de este trabajo son los siguientes:

- O1. Definir y conceptualizar el marketing cofrade como una subdisciplina del marketing con identidad propia, destacando sus fundamentos compartidos con el marketing religioso, basado en la fe, y el marketing de organizaciones sin ánimo de lucro, pero subrayando sus características y peculiaridades distintivas.
- O2. Responder a la necesidad de un modelo más profesional e integrado para la gestión de la marca-hermandad, que optimice la identidad y los valores, la experiencia del hermano, el patrimonio artístico y musical, y las relaciones con el entorno social y turístico, con el objetivo de consolidar a las hermandades como actores culturales, sociales y turísticos en un contexto globalizado.

2. FUNDAMENTOS CONTEXTUALES Y ESTADO ACTUAL DE LA CUESTIÓN

La definición propuesta por AEMARK (2020) resulta imprescindible para describir los conceptos teóricos más esenciales del marketing, la cual describe como “conjunto de procesos que abarcan (i) la identificación de las necesidades de los públicos de interés de una organización ya sea lucrativa o no lucrativa; (ii) la creación, comunicación, distribución e intercambio de ofertas que aportan valor a clientes actuales y potenciales, socios y a la sociedad en su conjunto.

A partir de esta definición, se justifica como el marketing cuenta con una base conceptual sólida y ampliamente aceptada entre la sociedad y, en especial, en la comunidad académica y científica. Sin embargo, sus dimensiones específicas desvelan la amplitud del término y el concepto que envuelve al marketing. Son diversos los elementos esenciales del marketing que someten a las lógicas de gestión propias del ámbito cofrade, conducidas mediante técnicas de marketing y comunicación con el fin de tangibilizar las identidades presentes en el censo de hermandades y cofradías. Estos son algunos de los conceptos claves vinculados al proceso de construcción del marketing cofrade.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.03

Tabla 1. Glosario de conceptos vinculados al marketing cofrade.

Concepto	Definición
Marca	Constructo multidimensional que acoge aspectos funcionales, emocionales y psicosociales, combinando elementos utilitarios con valores y experiencias que generan vínculos afectivos y de identidad con los consumidores (Buil *et al.*, 2009). La marca es generadora de conciencia, reputación y prominencia en el mercado (Keller, 2008)
Branding	Proceso estratégico de crear, gestionar y reforzar una marca para diferenciarla y establecer una conexión emocional y funcional con los consumidores. Según Aaker (1996), el branding se centra en construir una identidad sólida y coherente que refleje los valores, atributos y personalidad de la marca, y que permita generar reconocimiento, lealtad y una ventaja competitiva sostenible en el mercado.
Marketing de organizaciones sin ánimo de lucro	Apoya la difusión de valores conducentes a prácticas sociales emancipadoras e incide de manera positiva en los grupos de apoyo (Latorre, 2001). Herramienta para transformar y mejorar la sociedad, evitando priorizar la visibilidad de la organización a través de la publicidad, especialmente si esto explota el sufrimiento de los grupos vulnerables. Su enfoque debe estar en el bienestar colectivo y no en intereses meramente promocionales (Durán-Bravo, 2022)
Marketing relacional	Estrategia centrada en la creación y el fortalecimiento de vínculos a largo plazo entre una empresa y sus clientes, basada en la confianza, la satisfacción y la lealtad. A diferencia del marketing transaccional, que se enfoca en ventas individuales, el marketing relacional busca entender las necesidades y expectativas del consumidor para ofrecer experiencias personalizadas y valor añadido, fomentando así relaciones duraderas y rentables para ambas partes (Tavira & Estrada, 2015).
Marketing religioso y/o basado en la fe	Busca identificar y cubrir las necesidades de los consumidores considerados como fieles, a través de la venta de productos o servicios específicos para ellos (De Alburquerque, 2012). Trata de adaptar estrategias de comunicación y relación con el público desde una perspectiva evangelizadora, promoviendo relaciones a largo plazo y herramientas innovadoras para responder a los retos actuales de la Iglesia (Luna, 2021).

Fuente: elaboración propia (2024).

2.1. Marketing en organizaciones sin ánimo de lucro

En las últimas décadas, se ha producido un crecimiento significativo en el número de organizaciones no gubernamentales (ONG), cuya expansión no solo ha diversificado sus estructuras organizativas, sino también los recursos que implementan en su forma de subsistir. En este sentido, en España, el Producto Interior Bruto (PIB) al que representa se encuentra en el 1,41% y genera empleo a más de 500.000 personas según la Plataforma de ONG de Acción Social (2022). Este impacto es subrayado por el censo del sector social en 2020, que contabilizó un total de 27.962 entidades, según el Directorio del Tercer Sector de Acción Social. Estas cifras ponen de manifiesto que las entidades sociales no son un actor menor, sino una pieza clave, considerada la «tercera pata» que sustenta nuestra sociedad.

En este contexto, el marketing aplicado al tercer sector, dónde navegan el tejido asociativo y las instituciones sin ánimo de lucro, representa una poderosa oportunidad para implementar herramientas y estrategias adaptadas a sus particulares dinámicas y objetivos. Igualmente ocurre con el uso de las redes sociales en el propio ámbito. Señala MacNamara (2016) que la esencia de una ONG está en su capacidad para colaborar y generar impacto mediante sus redes y grupos de interés. Por tanto, las RRSS y la comunicación corporativa, la cual según Freeman (1984), permiten gestionar relaciones clave con quienes influyen o son afectados por la organización, fortaleciendo su misión y conexión con el entorno.

La necesidad de que estas organizaciones incrementen su visibilidad, transparencia y eficacia se vuelve cada vez más necesaria. Indica Bhimani *et al.*, (2019) que los medios sociales existen de forma omnipresente

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.03

en la vida de un grupo masivo de personas y, cada vez más, en las organizaciones. Esta meta se puede alcanzar con mayor efectividad al integrar estrategias de marketing y comunicación bien diseñadas. Sin embargo, es crucial distinguir entre el marketing comercial o empresarial, que busca maximizar beneficios, y el marketing propio de las asociaciones sin ánimo de lucro, cuya esencia reside en fines sociales más que económicos. Por ejemplo, como demuestra Claro *et al.* (2023), las redes sociales son clave para fortalecer vínculos con los públicos, posicionar marcas (Chu, 2011) y fomentar interacción activa (Villena-Alarcón & Fernández-Torres, 2020). Según Kent & Taylor (1998), su eficacia radica en cualidades como reciprocidad, proximidad, empatía, asunción de riesgos y compromiso. Más allá de simples herramientas, Cornelissen *et al.* (2015) destacan que el discurso en estos canales moldea la realidad institucional. Para las ONG, su gestión debe alinearse con sus valores, pues la capacidad de las RRSS para generar crisis reputacionales refuerza la necesidad de reflejar fielmente su misión (Ferruz-González, 2022).

No obstante, el marketing aplicado en las organizaciones sin ánimo de lucro tiene significativas diferencias respecto al marketing comercial aplicado a los demás sectores. Una distinción esencial entre ambas tipologías radica en la naturaleza de la demanda. La profesora María José Montero Simó describe el Marketing Social como el conjunto de herramientas destinadas a promover y facilitar la aceptación del cambio social. Este tipo de marketing se estructura en torno a variables fundamentales como el producto (social), precio, comunicación y distribución, que se diseñan, implementan y controlan de forma estratégica (Montero, 2004).

En esta dimensión, la comunicación corporativa se erige como un pilar fundamental. Para las ONG, no se trata únicamente de visibilizar su imagen o incrementar su notoriedad, sino de consolidar su legitimidad y relevancia en el entorno donde actúan. Esta comunicación debe articularse estratégicamente en tres dimensiones esenciales:

1. **Comunicación externa**, dirigida hacia la sociedad y los beneficiarios.
2. **Comunicación interna organizativa**, entre trabajadores, directivos y otros miembros.
3. **Comunicación interna para voluntarios y socios**, que fomente la cohesión y alineación con los objetivos.

Estas tres vertientes deben integrarse en una estrategia única y coherente, alineada con la misión y los valores de la entidad. Así se construye una reputación sólida, resultado de la unión entre misión e imagen como refleja la figura 1 (Alloza, 2002).



Figura 1. Representación gráfica de la construcción de la reputación corporativa. Fuente: elaboración propia (2024).

Vidal (2004) proporciona la idea sobre la que pivota el marketing en organizaciones del tercer sector dónde la comunicación corporativa se alza como imprescindible «Las empresas comunican para existir, pero las organizaciones del tercer sector existen para comunicar». Este planteamiento subraya que el acto de comunicar es inherente a la razón de ser de estas organizaciones, ya que a través de él transmiten sus valores a la sociedad.

Definitivamente, la era de la revolución tecnológica, internet y las redes sociales han transformado radicalmente la comunicación en el tercer sector. Lo que antes era un enfoque informativo unidireccional ha dado paso a una estrategia interactiva y participativa, donde la comunidad se posiciona como el núcleo del diálogo (Bellucci & Manetti, 2017; Campbell & Lambright, 2020). Este cambio no solo expande el horizonte del marketing y la comunicación, sino que también fortalece los lazos emocionales entre las ONG y sus públicos, consolidando su capacidad para generar un impacto social significativo y duradero.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.03

2.2. Marketing relacional

El marketing relacional ha emergido como una de las contribuciones más significativas al desarrollo de la ciencia del marketing contemporáneo. Su influencia ha alcanzado un amplio reconocimiento en la investigación académica, hasta el punto de ser considerado por diversos autores como un nuevo paradigma dentro de este campo (Sheth & Parvatiyar, 2000). Según Grönroos (1994), el marketing de relaciones implica la identificación, establecimiento, mantenimiento, desarrollo y, cuando es necesario, conclusión de relaciones con los consumidores y otros actores, con el objetivo de generar beneficios mutuos.

El marketing relacional surge como respuesta a la necesidad de las empresas de establecer vínculos sólidos y duraderos con sus clientes en un entorno cada vez más dinámico y competitivo. Frente a un modelo de marketing transaccional, centrado en la captación de clientes y la venta de productos o servicios de manera aislada, el marketing relacional prioriza la fidelización del cliente mediante la creación de experiencias personalizadas y una comunicación constante y bidireccional.

La evolución del marketing relacional ha estado influenciada por diversos factores, como el desarrollo de tecnologías de la información, la globalización y el cambio en los hábitos de consumo (Christopher *et al.*, 1994). La digitalización ha permitido a las empresas recopilar y analizar grandes volúmenes de datos sobre sus clientes, facilitando la implementación de estrategias basadas en la personalización y la segmentación precisa. En este sentido, herramientas como los sistemas de gestión de relaciones con clientes (CRM) han cobrado un papel fundamental en la optimización de la interacción empresa-cliente (Talaya, 2008).

Además, de acuerdo a Paruthi *et al.* (2023) marketing relacional se basa en la construcción de relaciones de confianza y en la generación de valor compartido. Esto implica el uso de estrategias que van más allá de la venta, como la atención al cliente de calidad, la implementación de programas de fidelización, la comunicación efectiva en múltiples canales y la creación de comunidades en torno a la marca. Así, las empresas buscan fortalecer el compromiso y la lealtad de los clientes a largo plazo.

El marketing relacional representa un cambio de paradigma en la forma en que las empresas gestionan sus relaciones con los clientes. Su enfoque en la personalización, la fidelización y la generación de valor mutuo lo convierte en una herramienta clave para la sostenibilidad y el crecimiento de las organizaciones en un entorno cada vez más competitivo y digitalizado.

2.3. Marketing religioso y/o basado en la fe

En las últimas décadas, el marketing religioso y/o basado en la fe ha sido objeto de estudio para una amplia investigación. Los autores Einstein (2007), Gauthier (2016), Stolz & Usunier (2018) o Salas-Cañales (2021) han construido un amplio corpus sobre la mercantilización de la religión. Esta rama del marketing da sentido a un concepto multidisciplinar que se extiende desde diferentes áreas como el turismo, las peregrinaciones, los templos y monumentos, las instituciones religiosas, hasta eventos promocionales dentro del contexto de la Semana Santa, entre otros. Sin embargo, cada una de las áreas necesita de elementos particulares dentro de las acciones de marketing y comunicación, pero con un elemento común denominador como es la fe.

Como señala Salas-Canales (2021), el marketing basado en la fe es una rama del marketing que surge desde los elementos del marketing tradicional y que se especializa en la comercialización de productos y servicios religiosos, adaptándose a las necesidades de un consumidor cuya motivación principal es la espiritualidad. De hecho, no es raro escuchar que la Semana Santa se ha consolidado como un motor económico y cultural que trasciende lo estrictamente religioso (Sáez-Vázquez, 2016). Este fenómeno ha disparado el interés por desarrollar estrategias y herramientas de marketing que logren satisfacer las demandas de este público tan particular.

La urgencia por abordar el marketing religioso en pleno siglo XXI es directamente proporcional a la necesidad de atraer a personas dentro de un contexto de desinterés generalizado. No obstante, el marketing basado en la fe se enfrenta a un desafío importante como la reticencia de muchos seguidores ante las herramientas de marketing, quienes consideran que distorsionan y desvirtúan el mensaje religioso

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.03

original. A pesar de esto, el marketing religioso ha sido implementado desde el nacimiento de la religión tal y como subraya Fernández-Cabrero (2022), hermano mayor de la Hermandad de la Macarena en relación el aumento de hermanos, el cual es parte del objetivo de las organizaciones religiosas: *"Vayan por todo el mundo, anuncien la Buena Noticia a toda la creación*, nos dijo el Señor, y eso debemos hacerlo hoy como lo hicieron los primeros cristianos; ellos recorriendo aldeas a lomos de burros o a pie y nosotros aprovechando los instrumentos de nuestro tiempo". (Losa, 2021).

Desde esta perspectiva, Stolz & Usunier (2018) defienden que las religiones han sabido adaptarse a lo largo del tiempo, evolucionando y ajustándose a los diferentes tipos de consumidores que han surgido a lo largo de los años. Identifican tres segmentos clave: los fieles (consumidores), los religiosos (comercializadores) y las religiones (productos y marcas). Dentro de este esquema, es posible distinguir entre los consumidores que adquieren productos y servicios por una motivación religiosa, y aquellos que lo hacen por razones familiares, culturales o sociales. Esta distinción resulta crucial a la hora de diseñar estrategias de marketing que varían dependiendo del público al que se desee llegar.

En este mismo sentido, Cancelo *et al.* (2015) y De Santiago & Barba (2023) subrayan el papel determinante que han jugado las nuevas tecnologías de la Información (TICs) en la evolución de la Iglesia Católica, particularmente en su esfuerzo por fortalecer la interacción con los fieles y fomentar una comunicación más dinámica y bidireccional. La entrada en la era digital ha obligado a las instituciones religiosas a implementar procesos de rebranding, con el objetivo de renovar y adaptar su imagen a las plataformas digitales emergentes (Castillo, 2021; Fernández, 2019). Este nuevo paradigma ha ampliado su alcance y una conexión más efectiva con las nuevas generaciones de jóvenes en el entorno digital.

De Alburquerque (2012), por su parte, afirma que el marketing basado en la fe busca satisfacer las necesidades de los llamados «fieles», ofreciendo productos y servicios específicos para este segmento. Sin embargo, también es posible aplicar el marketing religioso a públicos «menos creyentes», introduciendo elementos comerciales más convencionales para atraer a este tipo de consumidores (Gauthier, 2016). Indica Einstein (2007) qué en una sociedad invadida por el desorden comercial, la religión se ha convertido en un producto más que se vende en el mercado de consumo, y las confesiones religiosas de todo tipo deben competir con una miríada de actividades de ocio más entretenidas y cómodas. La citada autora en su obra "Brands of Faith" argumenta que, para competir eficazmente, las religiones han tenido que convertirse en marcas: símbolos fácilmente reconocibles y portavoces con los que las personas interesadas en la religión pueden establecer conexiones inmediatas. En este sentido, las marcas religiosas se han expandido en los últimos veinte años para crear un mundo mixto de comercio y fe en el que lo sagrado se convierte en secular y lo secular en sagrado.

Actualmente, las entidades religiosas emplean cada vez más estrategias de marketing, apoyándose en herramientas como la comunicación, las redes sociales, campañas publicitarias y otros recursos. Ejemplos de ello incluyen las campañas de la Conferencia Episcopal para la declaración de la renta, la gestión de las redes sociales por parte de Hermandades y Cofradías (Conferencia Episcopal Española, 2024), o los paquetes turísticos para visitas guiadas a templos y monumentos cristianos. Estos recursos permiten conectar con una audiencia diversa, extendiendo el alcance de la religiosidad más allá de sus límites tradicionales.

El marketing religioso, por su naturaleza, tiene la capacidad de forjar relaciones profundas y duraderas, llevando al consumidor a identificarse tan plenamente con la marca o el producto que siente como propio lo que consume (Einstein, 2007). Este fenómeno puede ser objeto de análisis en los estudios de comportamiento del consumidor, ya que la variable religiosa juega un papel crucial en la toma de decisiones.

En el ámbito español, uno de los referentes más recientes y reconocidos es Luna (2021). En su manual Fundamentos de Marketing Religioso, presenta 11 lecciones esenciales sobre marketing religioso, enfocadas en la evangelización. Luna no tiene reparos en afirmar que el objetivo es «vendernos mejor sin perder la esperanza ni la misión», evidenciando así la tensión constante entre los valores espirituales y las tácticas comerciales en el contexto del marketing religioso.

Este panorama revela que, lejos de ser una práctica superficial o innecesaria, el marketing religioso es una disciplina que ha logrado integrarse, de forma silenciosa pero efectiva, en la vida cotidiana, abriendo nuevas vías de interacción entre las instituciones religiosas y sus fieles, sin perder de vista el componente espiritual que lo sustenta.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.03

2.4. Intersección entre marketing religioso, marketing relacional, marketing en organizaciones sin ánimo de lucro vs marketing cofrade

El marketing cofrade emerge de una confluencia entre el marketing aplicado a organizaciones sin ánimo de lucro y el marketing religioso y/o basado en la fe, a partir de la integración de elementos de ambas disciplinas para crear estrategias adaptadas a las hermandades y cofradías.

Estas instituciones, profundamente centradas en la transmisión de valores espirituales, se enfrentan a retos similares a los de las organizaciones sin ánimo de lucro o no gubernamentales como atraer recursos, consolidar su legitimidad y fomentar la interacción con los distintos públicos y grupos de interés. Como se ha destacado en estudios sobre marketing social, las herramientas comunicativas permiten articular mensajes que resalten la misión y los valores de las hermandades, al tiempo que refuerzan su impacto social y cultural. Las cofradías, actuando como organizaciones del tercer sector, no solo preservan el legado espiritual, sino que lo adaptan a contextos contemporáneos mediante estrategias innovadoras que incluyen, especialmente, redes sociales y tecnologías digitales.

En esta dimensión, el uso de redes sociales ha transformado la comunicación de las hermandades y cofradías como han demostrado numerosos autores como Cano, 2020, Cancelo *et al.*, 2015; Becerra-Fernández & Díaz-Cuevas, 2022, Cristófol *et al.*, 2023; 2024) permitiendo una interacción más dinámica y bidireccional con sus fieles. Al igual que las ONG, estas organizaciones utilizan plataformas digitales no solo para informar, sino para construir lazos emocionales y reforzar su identidad. Esto permite, como demuestran investigaciones recientes, la implementación de estrategias que fomentan la participación activa y la conexión con los valores representados por la cofradía, consolidando su papel como agentes de cambio social y cultural. Las redes sociales no son meras herramientas, sino canales donde el discurso cofrade se enriquece y se proyecta, contribuyendo a moldear su percepción institucional.

El marketing religioso, por su parte, aporta un enfoque centrado en la espiritualidad como elemento diferenciador, y se adapta a las particularidades de las hermandades y cofradías. Este tipo de marketing reconoce a los fieles como consumidores con motivaciones específicas, vinculadas tanto a la tradición como a la fe. Las hermandades, al igual que otras instituciones religiosas, han sabido adoptar prácticas contemporáneas de comunicación y rebranding para mantenerse relevantes en una sociedad en constante evolución. Este proceso no solo fortalece su conexión con las generaciones más jóvenes, especialmente con los millennials y centennials, sino que también abre nuevas oportunidades para promover valores religiosos en un marco cultural y social amplio.

El marketing cofrade encuentra en la Semana Santa su máxima expresión, combinando elementos del turismo, el patrimonio cultural y la religiosidad popular. Este evento, que trasciende lo espiritual para convertirse en un fenómeno económico y cultural, representa un espacio donde las hermandades pueden aplicar estrategias de marketing para atraer tanto a fieles como a públicos más amplios. La comercialización de productos relacionados, la gestión de eventos y la promoción en redes sociales son ejemplos de cómo el marketing cofrade articula prácticas modernas con tradiciones seculares, consolidando su impacto en las comunidades locales y globales.

Desde la perspectiva del tercer sector, las hermandades operan como actores sociales clave, cuya capacidad de comunicar su misión está íntimamente ligada a su existencia. Este principio, reflejado en la idea de que las organizaciones del tercer sector «existen para comunicar», destaca la importancia de una comunicación coherente y estratégica. La combinación de marketing social y religioso permite a las cofradías alinear sus objetivos espirituales con sus prácticas organizativas, asegurando que su mensaje llegue de manera auténtica y eficaz a sus públicos diversos.

Delgada es la línea que separa el marketing religioso y/o en la fe que describe Luna (2021) del marketing cofrade ya que comparten una raíz vinculada a la promoción de valores espirituales, pero existe una bifurcación claramente en sus objetivos y enfoques. El marketing religioso, como disciplina, se centra en fomentar la fe y la espiritualidad a través de la difusión de creencias, la organización de actividades litúrgicas y el fortalecimiento de las comunidades religiosas, orientándose principalmente hacia los fieles y personas en búsqueda espiritual. En cambio, el marketing cofrade amplía su ámbito hacia la promoción cultural, social y

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.03

turística. Este último pone el foco en las hermandades y cofradías, gestionando su identidad como marcas culturales vivas que combinan la fe con la tradición, el arte y el patrimonio, dirigiéndose tanto a devotos como a turistas y amantes del legado cultural. Es decir, el marketing cofrade abarca un universo de instituciones y corporaciones que comparten misión, visión y valores, pero muestran diferencias significativas para alzarse como diferentes opciones para los públicos, quienes deben decidir ante un abanico inmenso de características y peculiaridades que trascienden desde lo espiritual a lo patrimonial y cultural. Desde la misma idea, el marketing religioso se ancla exclusivamente en la espiritualidad y, en cambio, el marketing cofrade opera en una intersección donde la religión dialoga con el patrimonio y la cultura popular.

En conclusión, el marketing cofrade, reflejado en el diagrama de Venn (figura 2) representa una disciplina híbrida y emergente que responde a similares retos de las organizaciones sin ánimo de lucro y religiosas en el siglo XXI. A partir de la integración de herramientas del marketing en organizaciones sin ánimo de lucro y del marketing y/o basado en la fe permite a las hermandades y cofradías fortalecer su relevancia por su enfoque cultural, social y patrimonial. Mientras el marketing religioso tiene un objetivo evangelizador centrado en la fe y los valores espirituales, el cofrade se enfoca en la promoción de tradiciones, identidad local y patrimonio cultural, apelando tanto a devotos como a públicos interesados en la Semana Santa desde una perspectiva turística o artística. En contraste, el marketing en organizaciones sin ánimo de lucro busca movilizar recursos y generar impacto social para causas altruistas, priorizando la captación de fondos y voluntarios. De este modo, aunque los tres comparten valores comunitarios, el cofrade destaca por dinamizar la economía local desde la moda, el turismo o la artesanía y emplear estrategias modernas de marketing, como las redes sociales, para posicionar a las hermandades como referentes culturales más allá de su dimensión religiosa.



Figura 2. Diagrama de Venn que muestra la creación del marketing cofrade a partir de la confluencia de elementos clave entre el marketing en organizaciones sin ánimo de lucro y el marketing religioso y/o basado en la fe.
Fuente: elaboración propia (2024).

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.03

Esta intersección es descrita por Cristófol *et al.* (2024) cuando propone la siguiente definición para el marketing cofrade, concebido como una disciplina específica del marketing que pretende la gestión tradicional sistemática y planificada sobre la interacción con los fieles, el diseño de estrategias comunicativas y la promoción de los valores intangibles inherentes a las organizaciones cofrades.

Esta concepción no solo se limita a las hermandades y cofradías como entidades singulares, sino que también abarca a los organismos colectivos que estructuran la Semana Santa, tales como agrupaciones, consejos y federaciones de cofradías. En este contexto, se reinterpretan las clásicas 4Ps del marketing adaptándolas a la singular realidad cofrade:

- Producto: La hermandad como «marca viva», un emblema que aglutina valores religiosos, sociales y culturales, constituyendo el eje central de toda acción de marketing.
- Precio: Una dualidad que implica tanto el tiempo como los recursos económicos invertidos por los fieles y los actores implicados en la vida cofrade, estableciendo una relación simbiótica entre devoción y compromiso.
- Promoción: El despliegue de estrategias de comunicación interna y externa, así como actividades que visibilicen y proyecten el universo cofrade hacia diversos públicos, siempre respetando su idiosincrasia.
- Distribución: La organización de los múltiples puntos de contacto que conectan a las hermandades con sus comunidades. Estos puntos pueden ser de naturaleza religiosa (templos), social (casas de hermandad) o pública (procesiones y actos).

A las 4Ps del marketing incorporadas por Cristófol *et al.*, (2024) se suman, las tres Ps adicionales del marketing de servicios (personas, procesos y evidencia física) (Jain *et al.*, 2022), las cuales se integran de la siguiente manera:

- Personas: Miembros de las hermandades, fieles, voluntarios y líderes cofrades, cuyo compromiso y autenticidad son imprescindibles para transmitir los valores del universo cofradiero y fortalecer el sentido de pertenencia.
- Procesos: Se refieren a la organización de actividades religiosas, culturales y sociales, asegurando una experiencia fluida para los fieles mediante una planificación estratégica y eficiente.
- Evidencia física: Comprende los espacios (templos, casas de hermandad y otras dependencias), símbolos (pasos, túnicas y medallas) y recursos digitales (redes sociales, recursos fotografías y web) que materializan y proyectan la identidad y tradición cofrade.

3. METODOLOGÍA

El presente estudio desafía una aproximación cualitativa al objeto de estudio (marketing cofrade). El método Delphi aporta un análisis desde el punto de vista de ocho expertos a los cuales se someten a un proceso sistemático con el fin de obtener sus opiniones y sus consensos (Linstone & Turoff, 1975; Ruiz & Ispizua, 1989, Landeta, 1999).

El método Delphi, como técnica reconocida de investigación, permite obtener un estado de opinión legitimado, el cual permite romper con el actual estado de ausencia de datos y de conocimiento científico en relación al marketing cofrade. La técnica de investigación implementada ofrece la opinión autorizada de los expertos con la finalidad de no caer en la pura especulación (Ruiz & Ispizua, 1989). En este sentido, la metodología trata de estructurar un proceso de comunicación grupal que resulta efectivo a partir de un grupo de individuos para abordar un problema complejo (Linstone & Turoff, 1975).

Se desarrolló originalmente para ayudar a las empresas a tomar mejores decisiones de inversión. Sin embargo, también se ha utilizado para obtener opiniones sobre tendencias sociales y tecnológicas. La idea que subyace al método es utilizar una serie de cuestionarios para recoger las opiniones de un conjunto de

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.03

expertos. A continuación, estos expertos emiten sus propios juicios subjetivos sobre la dirección del desarrollo de determinadas tecnologías, tipos de tecnologías o procesos sociales. Los juicios colectivos del grupo se utilizan entonces para hacer mejores predicciones sobre el futuro. El método Delphi puede utilizarse para examinar una amplia gama de cuestiones diferentes, desde tecnologías hasta procesos sociales. Por tanto, puede ser una herramienta útil para hacer predicciones sobre el futuro.

En este contexto del marketing cofrade, a partir de la conceptualización de Cristòfol *et al.*, (2024), se utiliza esta metodología porque, como apuntan los autores Gaitán & Piñuel (1998), el método Delphi es una técnica exploratoria que puede utilizarse para desarrollar una construcción teórica relativa a un área de estudio o para realizar una aproximación aplicada al diseño definitivo de una investigación.

3.1. Justificación del panel de expertos seleccionados

Los criterios de selección de los expertos han partido de tres conceptos fundamentales. En primera instancia, se ha determinado la afinidad de los expertos con el objeto de estudio, es decir, con el marketing cofrade. En una segunda instancia, se ha valorado el prestigio y reconocimiento a nivel nacional e internacional tanto en el ámbito profesional como académico. Por último, en tercera instancia, se han localizado perfiles heterogéneos que permitan enriquecer el discurso y, por tanto, el resultado final. Cabe destacar que, de este modo, los criterios han permitido constituir un grupo interdisciplinar, el cual se justifica por la necesidad para abordar la temática del marketing cofrade.

3.2. Los miembros del panel

En el método Delphi implementado en el presente trabajo han participado ocho expertos de ámbitos profesionales y académicos diversos. En este sentido, la investigación cumple con los requisitos mínimos establecidos por Landeta (1999) para la constitución de un panel Delphi. La relación final de los expertos participantes es la siguiente por orden alfabético:

1. Alejandro López: director de comunicación de la Hermandad de la Macarena (Sevilla).
2. Álvaro González Torres: profesor de marketing digital y experto en marca.
3. Álvaro Hernández: periodista especializado en cofradías en La Voz de Almería.
4. Andrea Luque: Social Media Manager en la Archicofradía de la Esperanza de Málaga y Creative Designer.
5. Benjamín del Alcázar: director Cátedra Estudios Cofrades y decano Facultad de Comercio y Gestión de la Universidad de Málaga.
6. Carlos Luna, consultor en marketing religioso.
7. Fernando Martín: director de marketing en AERTEC y profesor en ESIC, Business & Marketing School en Málaga.
8. Gonzalo León: DIRCOM Agrupación de Cofradías de Semana Santa de Málaga
9. Javier Alés Sioli, profesor titular en la Universidad Loyola Andalucía.
10. Jesús Martín: responsable de comunicación y marketing de la Provincia Marista Mediterránea.
11. José Carlos González: graduado en Publicidad y Relaciones Públicas y CEO de Priostic.
12. María Mercedes Rojas de Gracia: Profesora Titular Departamento de Economía y Administración de Empresas Universidad de Málaga.
13. Sergio Lobato: PMO en DEKRA y profesor en ESIC; Business & Marketing School.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.03

3.3. Circulaciones y cuestionarios del Delphi

Definido el panel de expertos, se determinó el uso del correo electrónico como herramienta para vehicular todo el proceso Delphi y, posteriormente, se procedió a la primera toma de contacto con los miembros integrantes del panel. La presente investigación ha implementado el planteamiento de dos circulaciones de preguntas con los expertos del panel como determina Landeta (1999). En la primera circulación, que tuvo lugar entre el 1 de marzo de 2023 y el 30 de abril de 2023, se usó un cuestionario (tabla 2) diseñado a partir de la discusión sobre diferentes aspectos relacionados con la existencia, el contexto y el concepto del marketing cofrade. Además, se planteó a partir de preguntas abiertas con el fin de favorecer una lluvia de ideas o brainstorming inicial como mantiene Landeta (1999). El propio cuestionario diseñado para esta primera circulación también permite la definición del tema a tratar, ofreciendo unos resultados que permiten elaborar las preguntas cerradas (en formato de respuesta múltiple y/o alternativa) a incorporar en la segunda circulación del proceso Delphi.

Tabla 2. Preguntas planteadas a los expertos del panel Delphi (primera circulación).

CUESTIONARIO DELPHI-1	
Nombre y apellidos:	
Cargo (Académico y/o profesional):	
1	¿Considera que existe el marketing cofrade? ¿Por qué?
2	En el caso que nos ocupa hablamos de marketing cofrade, pero debemos adaptarlo a una zona concreta. ¿Cree que se puede hablar de Andalucía como la zona de nacimiento de esta disciplina? ¿Por qué?
3	¿Cómo explicaría desde su perspectiva en qué consiste el marketing cofrade?
4	La definición tradicional de marketing de Kotler habla de 4Ps. Según su definición, ¿cómo podrían aplicarse al marketing cofrade? Explíquelo brevemente. a. Producto b. Precio c. Promoción d. Distribución
5	La definición de marketing religioso de Carlos Luna habla de 4Cs en lugar de las tradicionales 4Ps del marketing: Consumidor (fieles), Contenido, Captación y Comunidad. Todo ello para alcanzar la quinta C, Cristo. ¿Qué diferencias considera que pueden aparecer con el marketing cofrade en Andalucía?
6	¿Existe algún ejemplo claro de hermandad o cofradía que considere que pone en marcha estrategias y acciones de marketing?
7	¿Cree positivo que exista una planificación estratégica en el ámbito cofrade?
8	¿Qué espacio debe ocupar la religiosidad dentro de las estrategias de marketing cofrade?
9	¿Podemos hablar de marketing cofrade de fidelización? ¿Por qué?
10	En el ámbito de la promoción, existen en Andalucía consejos, agrupaciones y federaciones de hermandades. ¿El marketing religioso tiene relación con el marketing turístico? ¿Por qué?
11	¿Qué función considera que juegan las nuevas tecnologías de la información en el marketing cofrade? ¿Cuál destacaría?
12	En el ámbito de las marcas territoriales, ¿qué considera que puede aportar el marketing cofrade a los territorios?

Fuente: elaboración propia (2024).

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.03

Finalizado el periodo establecido para el envío de respuestas por los miembros del panel de expertos, se procedió a las siguientes tareas: vaciado, clasificación, sistematización e interpretación del primer cuestionario enviado. Como resultado, se elaboró el segundo cuestionario entre el 1 de mayo y el 30 de mayo de 2023. En esta ocasión, las preguntas eran completamente cerradas (tabla 3), ofreciendo unos resultados de respuestas múltiples y/o alternativas, que solamente permite la elección jerarquizada, valorada o comparativa como subraya Landeta (1999).

Tabla 3. Preguntas planteadas a los expertos del panel Delphi (segunda circulación).

CUESTIONARIO DELPHI-2	
Nombre y apellidos:	
Cargo (Académico y/o profesional):	
1	El marketing cofrade es... a. Una disciplina propia por sus especificidades b. Una disciplina que existe sólo relacionada al marketing religioso c. Una aplicación más dentro del marketing d. No existe como disciplina
2	El marketing cofrade se ocupa de... a. Fomentar el sentimiento de pertenencia a una hermandad b. Fomentar la apertura a la trascendencia y proponer la fe católica c. Crear valor en el entorno cercano de las cofradías d. Captar clientes, generar ingresos y atraer al público
3	¿Se debe circunscribir el marketing cofrade a una región concreta? a. Sí, sólo a Andalucía b. Sí, a España y Latinoamérica c. No, como en el marketing genérico, el concepto es universal, pero la aplicación depende del contexto d. No, bajo ningún concepto
4	Sobre las 4Ps del marketing tradicional, ¿cómo adaptaría el concepto de producto? a. Como un intangible: la marca-hermandad b. Como las actividades internas y externas que se realizan c. Como la satisfacción de la trascendencia d. Como algo estrictamente físico: imágenes, pasos...
5	Sobre las 4Ps del marketing tradicional, ¿cómo adaptaría el concepto de precio? a. Como un instrumento para generar valor en el interior de las organizaciones cofrades b. Como el tiempo que se dedica c. Como el dinero que cuesta d. Como una conjunción de dinero y tiempo
6	Sobre las 4Ps del marketing tradicional, ¿cómo adaptaría el concepto de promoción? a. Como las acciones de comunicación de las hermandades b. Como las actividades que las organizaciones cofrades realizan para darse a conocer c. Como la unión de comunicación y acciones
7	Sobre las 4Ps del marketing tradicional, ¿cómo adaptaría el concepto de distribución? a. Todos los puntos de contacto con los fieles b. La forma de transmitir y enviar la fe c. El culto externo (las salidas) d. El culto interno (triduos, novenas...)
8	En caso de que considere que existe el marketing cofrade, ¿cree que hay hermandades que lo aplican? a. Sí b. Sí, pero de forma intuitiva y no planificada c. No, en algún caso hay estrategias de posicionamiento, pero no de marketing integral d. No existe el marketing cofrade

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.03

CUESTIONARIO DELPHI-2	
Nombre y apellidos:	
Cargo (Académico y/o profesional):	
9	¿Qué papel debe jugar la planificación estratégica en el ámbito cofrade? a. Fundamental b. Ninguno
10	¿Qué papel debe ocupar la religiosidad en las prácticas de marketing cofrade? a. Un papel central b. Un papel secundario o complementario c. No es necesario que esté presente

Fuente: elaboración propia (2024).

4. RESULTADOS

Los resultados obtenidos se presentan integrando el tratamiento estadístico de las respuestas de los panelistas, con el objetivo de consolidar las opiniones individuales de los expertos en un estado de opinión grupal. Este enfoque se complementa con una exposición interpretativa y contextualizada, que permite identificar consensos y disensos, y analizar en profundidad los diversos puntos de vista expresados por los miembros del panel Delphi.

En este sentido, la metodología Delphi se aplicará en su vertiente explicativa y predictiva, según la definición de Landeta (1999), reconociendo que la naturaleza compleja del objeto de estudio—en este caso, el marketing cofrade —requiere una exposición que combine elementos descriptivos, argumentativos y relacionales.

El diseño de la investigación incluye dos rondas de consulta. En la primera, se plantearon 20 preguntas iniciales cuyas respuestas fueron sistematizadas para generar 10 preguntas clave, utilizadas en la segunda circulación del Delphi. Los panelistas trabajaron con una escala de valoración que iba de 0 (opción menos valorada) a 10 (opción más valorada), lo que permitió una jerarquización de las respuestas basada en criterios de centralidad estadística.

A la pregunta 1, el 46,2% de los expertos indica que “se trata de una aplicación más dentro del marketing disciplina”, la cual refleja la visión de los participantes sobre el uso del marketing dentro de las cofradías y hermandades. Además, en la pregunta 2, el 39% de las personas respondieron que el marketing cofrade se ocupa de “fomentar el sentimiento de pertenencia a una hermandad” y el 31% que se ocupa de “captar clientes, generar ingresos y atraer al público”. El 16% de las personas respondió «crear valor en el entorno cercano de las cofradías».

Sobre la circunscripción geográfica del marketing cofrade, en la pregunta 3, el 93% de las personas respondió: «no, como en el marketing genérico, el concepto es universal, pero la aplicación depende del contexto» y sólo una persona cree que sí debe hablarse de que el marketing cofrade es específico de Andalucía.

En el caso de la adaptación de los conceptos de las 4Ps del marketing tradicional al marketing cofrade, la pregunta 6 es la que se corresponde con el concepto de producto. Un 77% de las personas respondió «como un intangible: la marca-hermandad”, dos encuestados indicaron que el producto se puede entender “Como las actividades internas y externas que se realizan” y sólo una cree que el producto es “la satisfacción de la trascendencia”.

Sobre la adaptación del concepto de precio, el 47% entiende que se trata de “una conjunción de dinero y tiempo” y el 39% de las personas respondieron “como un instrumento para generar valor en el interior de las organizaciones cofrades”.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.03

En lo que se refiere a la promoción, el 77% de las personas respondieron que se debe adaptar "como la unión de comunicación y acciones" sólo dos encuestados lo asimilaron a las acciones de comunicación y uno a "las actividades que las organizaciones cofrades realizan para darse a conocer".

En la última de las Ps del marketing tradicional, la distribución, el 85% de los entrevistados consideran que se trata de todos los puntos de contacto con los fieles mientras que sólo el 15% cree que es "la forma de transmitir y enviar la fe".

Sobre la aplicación del marketing actualmente en las organizaciones cofrades, el 78% considera que sí se aplica, aunque la mayoría cree que se hace de forma intuitiva.

La pregunta sobre el papel que ha de tener la planificación estratégica en el ámbito del marketing cofrade es la única que recoge consenso. Todos los entrevistados consideran que debe jugar un papel fundamental.

En la última pregunta, sobre la religiosidad en las prácticas de marketing cofrade, el 85% creen que debe estar presente, considerando la mayoría que debe tener un papel central. Sólo el 15% cree que la religiosidad no es necesario que esté presente en las prácticas de marketing cofrade.

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las aportaciones de los expertos consultados refuerzan la legitimidad del marketing cofrade como una herramienta indispensable en la sociedad contemporánea. En relación al primer objetivo (O1), se establece el marketing cofrade como una subdisciplina del marketing con identidad propia. Este concepto, que surge de la confluencia de fundamentos compartidos con el marketing religioso y el marketing de organizaciones sin ánimo de lucro, incorpora elementos distintivos que lo diferencian. En su núcleo, el marketing cofrade reconoce y adapta funciones tradicionales del marketing —creación de valor, posicionamiento, segmentación y generación de reputación— a una realidad dual que combina dimensiones sociales y religiosas.

Mientras el marketing religioso tiene como eje principal la transmisión de la fe y los valores espirituales (Luna, 2021), el marketing cofrade amplía su alcance para incluir dimensiones culturales, artísticas y relacionales que responden a la diversidad y heterogeneidad de sus públicos. Este enfoque lo posiciona como un puente eficaz entre lo devocional y lo cultural, permitiendo a las hermandades maximizar su impacto en ámbitos que trascienden lo estrictamente religioso (Cristófol, 2024). Además, el marketing cofrade actúa como una herramienta estratégica para visibilizar el patrimonio inmaterial, fomentar la cohesión social y revitalizar tradiciones que forman parte esencial del tejido cultural de muchas comunidades.

A pesar de compartir principios con otras ramas del marketing —como los descritos por Keller (2008)—, el marketing cofrade introduce una dimensión dual: social (Latorre, 2001) y religiosa (Luna, 2021). Esta particularidad exige un enfoque diferenciado, capaz de integrar los valores espirituales con elementos culturales, artísticos y relacionales. De esta manera, mientras el marketing religioso se enfoca en la promoción de valores trascendentales y la conexión espiritual, el marketing cofrade combina estos elementos con un énfasis en la estética, el patrimonio y las experiencias colectivas, logrando captar la atención de públicos cada vez más diversos.

Respecto al segundo objetivo (O2), los expertos subrayan que una de las principales barreras para el desarrollo del marketing cofrade radica en la falta de planificación estratégica dentro de las hermandades y cofradías. Esto deriva en acciones de posicionamiento aisladas e intuitivas que, aunque valiosas en ciertos contextos, carecen de una coherencia estructural que permita un impacto sostenido a largo plazo. La carencia de una estrategia formal limita la capacidad de las hermandades para optimizar sus recursos y alcanzar sus objetivos, subrayando la importancia de implementar procesos de formación y profesionalización específicamente diseñados para este sector.

En este sentido, los expertos abogan por una gestión profesional que no solo contemple la planificación estratégica, sino que también integre la innovación y las nuevas tecnologías como elementos fundamentales para fortalecer la conexión con sus audiencias. Las plataformas digitales han permitido que las hermandades amplíen su alcance, logrando una mayor conexión con fieles de todo el mundo (Becerra-Fernández & Díaz-Cuevas, 2022; Cancelo *et al.*, 2015; Cristófol *et al.,* 2023). Además, el concepto de la marca-hermandad emerge

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.03

como un pilar central en esta evolución. Entendida como un dispositivo de gestión integral, la marca-hermandad articula la identidad, los valores y el patrimonio de cada hermandad, posicionándola como un actor relevante en los ámbitos cultural, social y turístico.

Einstein (2007) destaca que las instituciones religiosas, por su esencia, poseen un notable potencial para establecer vínculos emocionales profundos y duraderos con su público objetivo. Este enfoque permite que las hermandades no solo conecten con sus audiencias, sino que faciliten una identificación tan íntima que los individuos perciban su vínculo como una extensión de su propia identidad personal o espiritual. Esta capacidad para generar conexiones auténticas y significativas posiciona al marketing cofrade como una herramienta poderosa en la construcción de relaciones sólidas y sostenibles.

En cuanto a su ámbito de aplicación, aunque el marketing cofrade tiene sus raíces en Andalucía, su conceptualización no debe limitarse a este contexto geográfico. Estudios como los de Calvo *et al.* (2019), Esparza (2017), Fructuoso (2020) justifican la viabilidad de adaptar este enfoque a contextos internacionales donde las tradiciones procesionales y devocionales están profundamente arraigadas. Ejemplos destacados incluyen países como Italia, Filipinas, Tunja o México (Camacho, 2020), donde las prácticas devocionales se integran en el tejido cultural y social, abriendo nuevas oportunidades para la expansión y aplicación del marketing cofrade.

Por último, los expertos coinciden en que el marketing cofrade no debe limitarse únicamente a la atracción de nuevos miembros, sino que debe desempeñar un papel clave en la consolidación de las hermandades como actores culturales, sociales y turísticos. Esta perspectiva está alineada con las predicciones de Cánoves & Blanco (2011) en su estudio "Turismo religioso en España: ¿la gallina de los huevos de oro? Una vieja tradición, versus un turismo emergente", donde se subraya el potencial del turismo religioso como un recurso estratégico para la dinamización socioeconómica. Un ejemplo reciente del impacto del turismo cofrade en Andalucía es el éxito del II Congreso Internacional de Hermandades y Piedad Popular, cuya procesión de clausura en Sevilla atrajo entre 500.000 y 700.000 asistentes (Teleprensa, 2024). Este fenómeno refuerza el creciente protagonismo de las manifestaciones cofrades como eventos de gran repercusión cultural y turística.

Finalmente, la investigación en este campo fortalece la definición teórica proporcionada por Cristófol (2024), que fundamenta una práctica profesionalizada. Este enfoque holístico permite maximizar el impacto del marketing cofrade y garantizar su sostenibilidad en un entorno cultural en constante evolución. Así, el marketing cofrade no solo se posiciona como una herramienta estratégica, sino también como un vehículo esencial para preservar y promover las tradiciones culturales y religiosas en un mundo globalizado.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todos los expertos que han participado desinteresadamente en este estudio, quienes han contribuido con su vasto conocimiento y experiencia para conceptualizar el marketing cofrade como una nueva subdisciplina dentro del marketing, con un gran peso socioeconómico en Andalucía. Sin su colaboración, este trabajo no habría sido posible. Agradecemos especialmente a aquellos que, con su generosidad y disposición, nos han permitido dar forma a este concepto, contribuyendo al avance de la investigación en un área tan específica y relevante.

Declaración responsable y conflicto de intereses

Los autores manifiestan que no existe ningún conflicto de interés en relación con la publicación de este artículo. Las tareas de relevamiento, recopilación documental y procesamiento de datos fueron realizadas por ambos autores de forma individual respecto a cada caso. En relación al análisis de datos, redacción original y revisiones fueron realizadas por ambos autores de manera conjunta.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.03

REFERENCIAS

Aaker, D. (1996). *Building strong brands*. Free Press.

AEMARK(2020,31dejulio).*Definiciónde marketing*.Aemark.https://www.aemark.org/index.php/es-es/component/content/article/89-noticias/555-publicada-la-definicion-de-marketing-de-aemark-2018-en-nuestra-web?Itemid=558

Alloza, A. (2002). La gestión estratégica de la marca. In J. Villafañe (Ed.), *El estado de la publicidad y el corporate en España y Latinoamérica*. Pirámide.

Becerra-Fernández, D., & Díaz-Cuevas, P. (2022). Redes sociales geolocalizadas para la caracterización y valoración del espacio público: Las plazas del distrito casco antiguo de la ciudad de Sevilla. *Internacional Humanities Review, 15*(7), 1-26. https://eagora.org/journals/1/issues/239/articles

Bellucci, M., & Manetti, G. (2017). Facebook as a tool for supporting dialogic accounting? Evidence from large philanthropic foundations in the United States. *Accounting, Auditing & Accountability Journal*. https://doi.org/10.1108/AAAJ-07-2015-2122

Beltrán, J. (2018). Pasión renacida: En los últimos 20 años se ha triplicado el número de cofrades. *Vida Nueva-Revista y Portal de Noticias Religiosas y de Iglesia*. https://www.vidanuevadigital.com/2018/03/23/pasion-renacida-los-ultimos-20-anos-se-ha-triplicado-numero-cofrades/

Berraquero-Rodríguez, D. & Cristófol, F.J. (2025). La Macarena bajo la lupa estratégica: gestión cofrade con las 5 fuerzas de Porter. *Cultura Digital. Revista Interdisciplinar de Arte & Ciencia, 3*. https://doi.org/10.23882/cdig.25156

Buil, I., Chernatony, L., & Hem, L. (2009). Brand extension strategies: perceived fit, brand type, and culture influences. *European journal of marketing*, *43*(11/12), 1300 -1324. https://doi.org/10.1108/03090560910989902

Bhimani, H., Mention, A.L., & Barlatier, P.J. (2019). Social media and innovation: A systematic literature review and future research directions. *Technological Forecasting and Social Change, 144*, 251-269. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.10.007

Calvo, L.M., Cantero, J.I., & Serrano, A. (2019). *La comunicación transmedia en las celebraciones populares. El caso de la Semana Santa en Cuenca*. [Tesis Doctoral, Universidad Católica San Antonio de Murcia]. http://hdl.handle.net/10952/5761

Camacho, L. (2020). *El marketing digital como estrategia de posicionamiento para la Semana Santa en Tunja.* [Trabajo Fin de Máster]. Universidad Santo Tomás.

Campbell, D.A., & Lambright, K.T. (2020). Terms of engagement: Facebook and Twitter use among nonprofit human service organizations. *Nonprofit Management and Leadership, 30*(4), 545-568. https://doi.org/10.1002/nml.21403

Cancelo, M., Rebeil, M.A., & Gabino, M.A. (2015). La comunicación institucional de la Iglesia Católica a través de las redes sociales. *Revista Internacional De Relaciones Públicas, 5*(9), 111–130. https://doi.org/10.5783/revrrpp.v5i9.320

Cànoves, G., & Blanco, A. (2011). Turismo religioso en España: ¿la gallina de los huevos de oro? Una vieja tradición, versus un turismo emergente. *Cuadernos de Turismo*, (27), 115–131. https://revistas.um.es/turismo/article/view/139791

Castillo, I.S. (2021). *Rebranding: Manual de identidad de la pastoral juvenil de la Parroquia Santa Rosa de Lima de Lince* [Trabajo de grado, Universidad de Lima]. https://hdl.handle.net/20.500.12724/15365

Centro de Investigaciones Sociológicas (CIS) (2022, abril). *Encuesta sobre cuestiones de actualidad*. https://www.cis.es/cis/export/sites/default/-Archivos/Marginales/3360_3379/3360/es3360mar.pdf

Chu, S.C. (2011). Viral advertising in social media: Participation in Facebook groups and responses among college-aged users. *Journal of Interactive Advertising, 12*(1), 30-43. https://doi.org/10.1080/15252019.2011.10722189

Claro, M.C., Ferruz-González, S.A., & Catenacci, J. (2023). Redes sociales y tercer sector: análisis del uso de Facebook e Instagram en 50 ONG de España y Chile. *Revista Latina De Comunicación Social*, (82), 1–21. https://doi.org/10.4185/rlcs-2024-2197

Cornelissen, J.P., Durand, R., Fiss, P.C., Lammers, J.C., & Vaara, E. (2015). Putting communication front and center in institutional theory and analysis. *Academy of Management Review, 40*(1), 10-27. https://doi.org/10.5465/amr.2014.0381

Christopher, M., Payne, A., & Ballantyne, D. (1994). *Marketing relacional: integrando la calidad, el servicio al cliente y el marketing*. Ediciones Díaz de Santos.

Cristòfol, F.J. (2024). Conceptualización y contextualización del marketing cofrade [Comunicación oral]. *III Congreso Internacional, Pensamiento, Cultura y Sociedad Investigación, Divulgación, Transferencia (I+D+T) Proyecto Logos*.

Cristófol, F.J., Segarra-Saavedra, J., & Cristófol-Rodríguez, C. (2023). Uso de Twitter y repercusión en medios de comunicación de la Semana Santa andaluza ante la suspensión de las procesiones provocada por el Covid-19. *Ámbitos Revista Internacional de Comunicación*, (62), 143-160. https://doi.org/10.12795/ambitos.2023.i62.08

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.03

Cruz, R. (2018). Pasión renacida: En los últimos 20 años se ha triplicado el número de cofrades. *Vida Nueva-Revista y Portal de Noticias Religiosas y de Iglesia*. https://www.vidanuevadigital.com/2018/03/23/pasion-renacida-los-ultimos-20-anos-se-ha-triplicado-numero-cofrades/

De Albuquerque Maranhão Filho, E.M. (2012). Marketing de guerra santa: Da oferta e atendimento de demandas religiosas à conquista de fiéis-consumidores. *Horizonte: Revista de Estudos de Teologia e Ciências da Religião, 10*(25), 201-232. https://doi.org/10.5752/2150

De Santiago, M., & Barba, R. (2023). Estrategias de comunicación para la evangelización a través de redes sociales: El caso de la comunidad católica "Quédate con Nosotros". *Comunica360, 1*, 131-153. https://doi.org/10.26439/comunica360.2023.n1.6324

Durán-Bravo, P. (2022). Dirección estratégica de la comunicación en las OTS. In L. López-Font (Ed.), *Comunicacióny Tercer Sector de Acción Social. Miscelánea sobre la reputación de las ONG en España y Latinoamérica* (pp. 111-141). Tirant humanidades.

Einstein, M. (2007). *Brands of faith: Marketing religion in a commercial age*. Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203938874

Esparza, A. (2017). *Impacto económico de la Semana Santa de Cartagena.* [Trabajo Fin de Máster]. Universidad Politécnica de Cartagena.

Fernández Cabrero (2022). https://www.youtube.com/watch?v=FpcmnklzDpc

Ferruz-González, S.A. (2022). Gestión de la reputación y riesgo reputacional en el TSAS. In L. López-Font (Ed.), *Comunicación y Tercer Sector de Acción Social. Miscelánea sobre la reputación de las ONG en España y Latinoamérica* (pp. 295-319). Tirant Humanidades.

Freeman, R.E. (1984). *Strategic management: A stakeholder approach*. Pitman Publishing Inc.

Fructuoso, G. (2020). *Análisis de las procesiones de Semana Santa en Cartagena: Situación y perspectivas. Estrategias de actuación.* [Trabajo Fin de Máster]. Universidad Politécnica de Cartagena.

Gauthier, F. (2016). *Religion in consumer society: Brands, consumers and markets*. Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315604923

Gummesson, E. (1999). *Total Relationship marketing. Rethinking Marketing Management: From 4Ps to 30 Rs.* Butterworth-Heinemann. Oxford.

Grönroos, C. (1994). From Marketing Mix to Relationship Marketing: Towards a Paradigm Shift in Marketing. *Management Decision, 32*(2), 4–20. https://doi.org/10.1108/00251749410054774

Jain, R., Jain, S., & Jain, S. (2022). Analyzing and exploring the effectiveness of each element of 7Ps of marketing mix. *International Journal of All Research Education and Scientific Methods (IJARESM, 10*(1), 2455-6211.

Keller, K.L. (2008). *Administración estratégica de marca branding* (3ra ed.). Pearson Educación.

Landeta, J. (1999). *El método Delphi: Una técnica de previsión para la incertidumbre*. Ariel.

Latorre, X. (2001). El marketing aplicado a las ONGD: Coherencias e incoherencias en relación con la educación para el desarrollo. *Comunicar, 16*, 103-114.

Macnamara, J. (2016). Organizational listening: Addressing a major gap in public relations theory and practice. *Journal of Public Relations Research, 28*(3-4), 146-169. https://doi.org/10.1080/1062726X.2016.1228064

Paruthi, M., Kaur, H., Islam, J.U., Rasool, A., & Thomas, G. (2023). Engaging consumers via online brand communities to achieve brand love and positive recommendations. *Spanish Journal of Marketing - ESIC, 27*(2), 138-157. https://doi.org/10.1108/SJME-07-2022-0160

Plataforma del Tercer Sector (2020). *Informe El papel del tercer sector y su impacto social: Análisis y propuestas para la profundización solidaria del Estado Social*. http://www.plataformatercersector.es/sites/default/files/Informe_tercer_sector_DEF.pdf

Real Academia Española (2024). *Cofrade.* https://dle.rae.es/cofrade

Quero, M.J. (2002). *El enfoque de marketing relacional en entidades de servicios de exhibición de artes escénicas.* [Tesis doctoral]. Universidad de Málaga.

Sáez-Vázquez, E.M. (2016). Estrategias comunicacionales del Consejo General de Hermandades y Cofradías de Sevilla: Una visión desde la comunicación institucional. In *Actas del I Congreso Internacional Comunicación y Pensamiento. Comunicracia y desarrollo social* (pp. 1653-1681). Egregius. https://idus.us.es/handle/11441/51557

Salas-Cañales, H.J. (2021) Endomarketing: Una herramienta para la gestión efectiva del capital humano. *Fides et Ratio-Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia*, *21*(3), 32-45. https://doi.org/10.18004/riics.2021.junio.126

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.03

Simó, M.J.M. (2010). *El marketing en las ONGD: La gestión del cambio social*. Editorial Desclée de Brouwer.

Sheth, J.N., & Parvatiyar, A. (1995). Relationship Marketing in Consumer Markets: Antecedents and Consecuences. *Journal of the Academy of Marketing Science*, (23), 255 – 271. https://doi.org/10.1177/009207039502300405

Stolz, J., & Usunier, J. (2018). Religions as Brands (AHRC/ESRC Religion and Society Series): Religions as brands? Religion and spirituality in consumer society. *Journal of Management, Spirituality & Religion*. https://doi.org/10.1080/14766086.2018.1445008

Talaya, Á.E. (2008). *Principios de marketing. Marketing relacional y CRM*. Esic.

Tavira, E.G. & Estrada, E.M.R. (2015). Marketing relacional: valor, satisfacción, lealtad y retención del cliente. *Análisis y reflexión teórica. Ciencia y sociedad, 40*(2), 307-340. https://doi.org/10.22206/cys.2015.v40i2.pp307-340

Teleprensa (2024,). *Sanz calcula entre 500.000 y 700.000 asistentes a la Magna y valora la ausencia de incidencias.* Teleprensa. https://www.teleprensa.com/articulo/sevilla/sanz-calcula-500000-700000-asistentes-magna-valora-ausencia-incidencias/20241209084222197746

Villena-Alarcón, E., & Fernández-Torres, M.J. (2020). Relaciones con los públicos a través de Instagram: Los influencers de belleza como caso de estudio. *Revista Internacional de Relaciones Públicas, 10*(19), 111-132. https://doi.org/10.5783/RIRP-19-2020-07-111-132

Vidal, V. (2004). La comunicación en las organizaciones no lucrativas. In Bel Mallén (Ed.) *Comunicar para crear valor: la dirección de comunicación en las organizaciones Universidad de Navarra, EUNSA* (pp. 309-322). Ediciones Universidad de Navarra, S.A.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.03

Revista de Estudios Andaluces (REA) | Núm. 50, julio (2025) | e-ISSN: 2340-2776
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50 | © Editorial Universidad de Sevilla 2025
https://editorial.us.es/es/revistas/revista-de-estudios-andaluces
https://revistascientificas.us.es/index.php/REA
CC BY-NC-SA 4.0.

Conventional and innovative financing strategies for local public transport: insights from the italian context

Estrategias de financiación convencionales e innovadoras para el transporte público local: perspectivas desde el contexto italiano

Tiziano Pavanini
tiziano.pavanini@edu.unige.it 0000-0001-8709-3710
Faculty of Economics, University of Genoa. Via Francesco Vivaldi, 5. 16126 Genova, Italy.

INFO ARTÍCULO

Received: 20/11/2024
Revised: 05/04/2024
Accepted: 09/05/2025

KEYWORDS

Public Transport
Public-private partnerships
Sponsorship in public transport
Corporate Mobility Management
Italian Public Transport Market

ABSTRACT

The local public transport (LPT) sector has historically been dependent on public financial resources. However, the recent economic crises have resulted in a further consolidation of this trend, largely due to the implementation of austerity policies by governments worldwide. This has resulted in a notable decline in the quality and frequency of service provision. In the context of economic scarcity, which ultimately compromises the quality of transport services, the introduction of alternative sources of finance is of paramount importance. Consequently, the involvement of private actors in the LPT sector presents a valuable opportunity to enhance the efficiency and attractiveness of the service, thereby increasing its usage among citizens.
To the best of our knowledge, the existing literature has never addressed this topic. This pioneering paper aims to make a contribution to the existing literature by analysing the different forms of public-private engagement in the Italian LPT market, examining the ongoing initiatives and presenting a groundbreaking case study. To achieve this, a threefold methodology was employed. Firstly, the international literature on private sponsorship contracts in sectors other than transport was analysed. Secondly, the main search engines were used to examine the official websites and financial statements of the public transport companies. Thirdly, an interview was conducted with the communications manager of the Italian national transport association (ASSTRA). The findings of this investigation indicate that the only solutions thus far adopted are the renaming of stations and stops, the decoration of vehicles, and Corporate Mobility Management (CMM). The conclusions were alternative forms of financing for public transport are urgently needed if the service is to be efficient and appreciated by users. Furthermore, three solutions emerged that demonstrate the potential of public-private integration in the public transport sector.

PALABRAS CLAVE

Transporte público
Asociaciones público-privadas
Patrocinio en el transporte público
Gestión de la movilidad empresarial
Mercado del transporte público italiano

RESUMEN

El sector del transporte público local (TPL) ha dependido históricamente de los recursos financieros públicos. Sin embargo, las recientes crisis económicas han provocado una mayor consolidación de esta tendencia, en gran parte debido a la aplicación de políticas de austeridad por parte de los gobiernos de todo el mundo. Esto se ha traducido en un notable descenso de la calidad y la frecuencia de la prestación de servicios. En un contexto de escasez económica que, en última instancia, compromete la calidad de los servicios de transporte, la introducción de fuentes alternativas de financiación reviste una importancia capital. Por consiguiente, la participación de agentes privados en el sector del transporte público de cercanías representa una valiosa oportunidad para aumentar la eficacia y el atractivo del servicio, incrementando así su utilización entre los ciudadanos.
Hasta donde sabemos, la literatura existente nunca ha abordado este tema. Este artículo pionero pretende contribuir a la literatura existente analizando las diferentes formas de compromiso público-privado en el mercado italiano de los servicios públicos de transporte de cercanías, examinando las iniciativas en curso y presentando

DOI: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.04
Formato de cita / Citation: Pavanini, T. (2025). Conventional and innovative financing strategies for local public transport: insights from the italian context. *Revista de Estudios Andaluces,*(50), 71-89. https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.04
Correspondencia autor: tiziano.pavanini@edu.unige.it (Tiziano Pavanini)

un estudio de caso innovador. Para ello, se ha empleado una triple metodología. En primer lugar, se analizó la bibliografía internacional sobre contratos de patrocinio privado en sectores distintos del transporte. En segundo lugar, se utilizaron los principales motores de búsqueda para examinar las páginas web oficiales y los estados financieros de las empresas de transporte público. En tercer lugar, se realizó una entrevista con el responsable de comunicación de la asociación nacional italiana de transporte. Las conclusiones del trabajo fueron se requiere con urgencia formas alternativas de financiación para el transporte público si se pretende que el servicio sea eficiente y apreciado por los usuarios. Por otra parte, surgieron tres soluciones que demuestran el potencial de la integración público-privada en el sector del transporte público.

1. INTRODUCTION

Local public transport (LPT) has always been a public finance intensive sector. Due to the recent financial and pandemic crisis, governments adopted even stricter public spending austerity policies (Ortiz & Cummins, 2021) which also affected public transport (Kar *et al.*, 2022; Citroni *et al.*, 2019) resulting in a reduction in the quality and frequency of service. In light of this, innovative methods of raising funds are strongly needed (Davison *et al.*, 2014).

This is particularly pertinent given that, in addition to the primary objective of securing funding to enhance the efficacy and efficiency of the transport service, public transport authorities (PTAs) have recently augmented this imperative with a further requirement to ensure the environmental sustainability of their fleets (through the introduction of new and/or hybrid-electric vehicles), resulting in a concomitant escalation in public expenditure.

The identification of new resources is crucial for the implementation of measures designed to enhance the efficiency and appeal of the LPT. This is with a view to optimising the utilisation of available resources and encouraging greater utilisation of them. In this context, public-private partnerships can be activated to finance public transport projects, with the involvement of private companies that invest in order to obtain both an economic and a corporate image return.

The academic literature in the transport sector has paid very little attention to forms of LPT financing alternative to government subsidies. However, for the purposes of this research, the studies conducted by Jansson (1980) and Jara-Dıaz and Gschwender (2008) are relevant: the basic assumption is that PTAs, having to submit to a financial constraint imposed by their limited budget, carry out an incorrect planning of the transport service, leading to an oversizing of the offer and an insufficient frequency of the service. This article, which draws inspiration from the aforementioned studies and wants to fill this gap in literature, aims to make an original contribution to the research on this topic by analysing the Italian context. It provides insights into alternative financing methods for LPT, such as selling rights to rename bus stops and lines and Corporate Mobility Management (CMM), and presents a pioneering case study of private financing of two public transport lines, which are open to all citizens.

For this study, the top 10 PTAs in terms of turnover in Italy (2018) were examined: the pins indicate the cities where the PTAs are experimenting with selling rights practices (Milan and Genoa), CMM (Bologna), and all the other case studies examined, both at urban and regional level.

In order to identify the public-private partnership solutions adopted in the Italian market, a threefold methodology was employed. This comprised an analysis of the international literature on private sponsorship contracts in sectors other than transport, a web search on leading search engines, an examination of PTAs' official websites and financial statements, and an interview with the communications manager of ASSTRA, the national transport association. The aforementioned steps have enabled the identification of the solutions currently operational in Italy in the field of LPT, as well as the delineation of their characteristics and replicability.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.04



Figure 1. Top 10 Italian PTAs examined. Source: own elaboration.

This article consists of five sections. "Introduction" aims to outline the research context and purpose of this study. The "Background research" section presents an analysis of studies conducted on private sponsorships in contexts other than transport ("Literature review") and in the transportation sector (Section 2.1). In the third section, the methodology employed by the authors in this study has been delineated. In "Results and discussion" the various solutions of public-private cooperation in the Italian transportation industry are reported. Furthermore, the case study of TPER in Bologna is presented. Finally, the concluding section, presents the final remarks, limitations and future agenda.

2. THEORETICAL BACKGROUND

2.1. Literature review

Since there is no literature on private sponsorship methods of public transport services, it is crucial to understand the dynamics and mechanisms that govern agreements of this type in other sectors where this trend has already developed in order to evaluate a possible transfer of these skills to LPT services.

One of the first attempts in the literature to define the concept of sponsorship was that of Waite (1979), as reported in his PhD Thesis:

> ...the essential defining characteristics of sponsorship are that a commercial organisation provides material assistance to a recreational activity in order to gain some cost-effective commercial advantage.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.04

Abratt *et al.* (1987) define sponsorship as an agreement where a subject (the sponsor) helps a beneficiary (an association, a sports team or an individual) to enable it to achieve specific results, on which the benefits for the sponsoring company in terms of visibility are based.

For Farrelly and Quester (2005) a sponsorship agreement is a strategic alliance in which two or more brands are clearly connected to the same product. Cornwell *et al.* (2019), studying the evolution of corporate marketing strategies over time, report how traditional mass-media marketing has been replaced by more effective advertising methods, defined as "indirect", such as sponsorship agreements, product placement and use of influencers on social media. Among these innovative branding strategies, sponsorship represents one of the most effective and profitable solutions for companies (Alonso-Dos Santos *et al.*, 2016).

The actors involved, i.e. *sponsor* (sponsoring entity) and *sponsee* (sponsored entity), enter into collaboration agreements through the instrument of the sponsorship contract, defined by the International Chamber of Commerce (ICC) in the "*International Code on Sponsorship*" as:

> Any commercial agreement by which a sponsor, for the mutual benefit of the sponsor and a sponsored party, contractually provides financing or other support in order to establish an association between the sponsor's image, brands or products and a sponsorship property in return for the rights to promote this association and/or for the granting of certain agreed direct or indirect benefits.

The economic reasons why sponsor companies decide to access the sponsorship tool concern the promotion of their brand through greater visibility, increased profits because of a better perception of the product by customers, direct access to a targeted audience and increased customer loyalty.

It becomes crucial for sponsoring companies to estimate correctly the economic impacts of their sponsorship. Meenaghan (1991) describes five evaluating strategies for the effectiveness of a sponsorship agreement such as media exposure (the economic value of the sponsorship by comparing the media exposure time or space obtained with the equivalent cost if it had been purchased as an advertisement), sponsorship awareness of customers, number of sales, users' feedback and cost-benefit analysis (CBA). However, some of these evaluation techniques revealed critical as customers' awareness and the number of sales directly attributable to the sponsorship agreement are difficult to calculate (Copeland *et al.*, 1996).

Maestas (2009) reports that ROI (Return on Investment) (figure 2), although it is one of the most used indicators by sponsors (Nickell & Johnston, 2020), is not able by itself to explain all the impacts of a sponsorship agreement but must be supported by other measures such as ROO (Return on Objectives), media exposure and market value analysis.

ROI considers the relationship between the value generated by the sponsorship and the cost of the investment made. The value generated can be measured through the achievement of specific marketing objectives such as increasing sales, improving brand awareness or increasing customer loyalty.

The ROO, which includes several evaluation techniques described by Meenaghan (1991), focuses on the impact and effectiveness of the project in achieving its objectives, assessing how much value and benefits have been obtained compared to the investments made. These objectives can be of different nature and can concern for example the increase of brand awareness, the acquisition of new customers, the increase of sales or the retention of existing customers. ROO is particularly used in marketing and advertising strategies to evaluate ROI beyond the financial aspects, focusing on the performance of the entire project against its set objectives.

Furthermore, the market value analysis, considering various factors to determine the value of a sponsorship, including the size and profile of the audience involved, the media coverage and engagement generated by the sponsored event or activity and the effect on brand positioning, aims to evaluate the benefits that the sponsor can obtain through the sponsorship, such as exposure of the brand, visibility, access to a specific target audience, association with positive values or images, etc.

Two other relevant aspects are the duration of the sponsorship agreements and the simultaneous participation of several sponsors ("*sponsorship clutter*"). As regards the duration, sponsorships can be temporary (e.g. short-term events) or permanent (e.g. financing the construction of public works such as stadiums, museums, theatres, etc.). If the first type of contract provides for faster bureaucratic procedures,

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.04

long-term or permanent sponsorships have a greater impact on consumer brand awareness with a consequent sales increase (Walraven *et al.*, 2014; Walraven *et al.*, 2016). As far as sponsorship clutter is concerned, the literature reports that the simultaneous presence of several competing sponsors can have negative effects on the brand image transfer to consumers and thus on the effectiveness of sponsorship (Cornwell *et al.*, 2000; Carrillat *et al.*, 2010; Walraven *et al.*, 2016). Nevertheless, Boeuf *et al.* (2018) state that the clutter effects on users mainly depend on the perceived congruence between sponsor and sponsee.

Most of the sponsorship contracts globally concern sporting, musical and cultural events, as they are able to increase quickly the value of the brand (Candelo, 2014). This tool is still not widespread in transportation: the aim of this research is to explore the possibility of adapting marketing principles from other areas to this sector.

In this respect, the findings of Gwinner and Swanson (2003) in their study on the impact of fan identification on the returns of sponsorship contracts are relevant. The authors conclude their analysis of the sports sector, carried out using structural equation modelling, by stating that the more fans perceive a strong sense of involvement and identification with their team, the better the returns on sponsorship. The study looked at four different types of outcomes (i.e. sponsor awareness, attitudes towards the sponsor, patronage of the sponsor and satisfaction with the sponsor) and all showed rather high values corresponding to fans who were involved and strongly identified with their team.

The findings of Gwinner and Swanson (2003) provide insights for the case study of this article. The local authority needs to act to strengthen users' sense of identity with their area and community: this will also improve the results of the sponsorship, with obvious benefits for both the sponsoring companies and the PTA. For instance, a primary step in this process is the establishment of a robust and consistent visual identity, one that is capable of conveying local values and fostering a sense of civic pride. It is imperative for PTAs to organise cultural or social events and initiatives that actively engage the community and position public transport as a pivotal element of collective life.

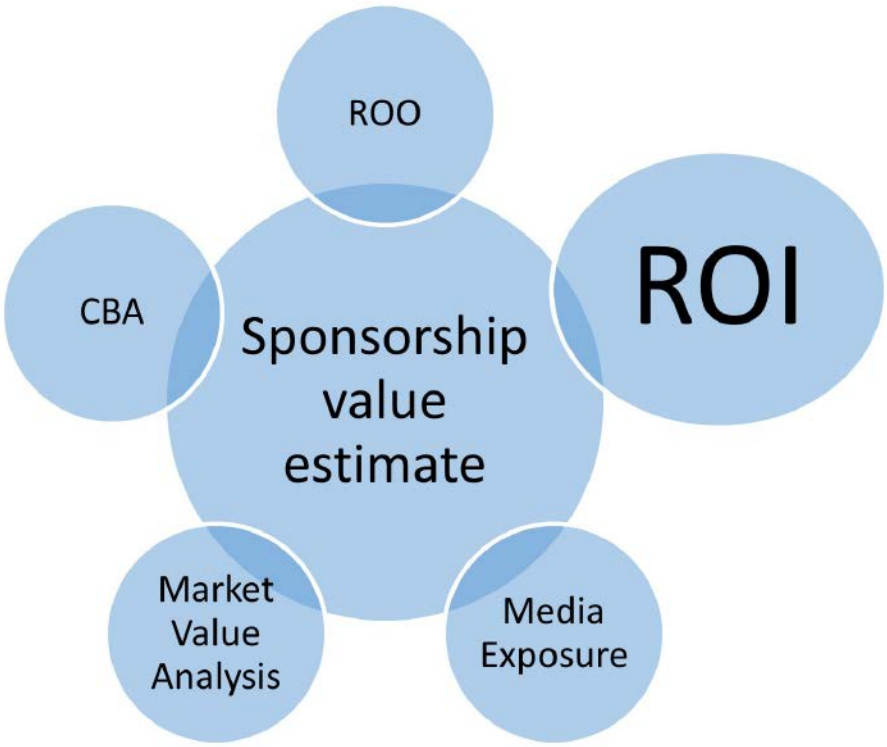


Figure 2. Methods of evaluating the value of sponsorship agreements.
Source: own elaboration based on Meenaghan (1991) and Maestas (2009).

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.04

The customisation of services based on the characteristics of the neighbourhoods – through decorations, artistic content or cultural references – has the potential to increase user identification. Furthermore, the use of digital technologies and gamification strategies has the capacity to stimulate interaction (e.g. badges or apps that track user involvement and allow them to "level up" in the transport community), favouring a more participatory and dynamic relationship. Loyalty programs that offer benefits thanks to the support of local sponsors also contribute to creating a virtuous circle between users, the territory and companies.

Furthermore, the integration of influencers or citizens as transport ambassadors has the potential to reinforce the sense of community and promoting education on sustainable mobility in schools and among young people helps to create a lasting and positive bond with the service. This symbiotic relationship has the potential to yield a mutually beneficial outcome, leading to an enhancement in the perceived value of sponsorship, a phenomenon that is advantageous for all parties involved, including sponsors, communities, and local authorities.

From the analysis of the academic literature carried out in this section, it emerged that the utilisation of sponsorship in disparate sectors, such as sport, culture and education, proffers pertinent insights for the domain of public transport. The transferable methods include the transfer of naming rights for stations or lines, the utilisation of advertising spaces on vehicles and infrastructure, the sponsorship of services or street furniture, temporary thematic campaigns, initiatives related to corporate social responsibility and co-branding or loyalty programmes. When adapted to the context of local transport, these practices can represent valid and innovative financing strategies.

2.2. Sponsorship in the transportation sector

The sponsorships present in the transport sector are today mainly limited to the business of purchasing the right to rename specific bus lines, train lines, train and metro stops and stations (Scauzillo, 2016).

Selling naming rights for transportation infrastructure has grown widespread in several nations in the last two decades (Rose-Redwood *et al.*, 2019). Furthermore, as has been the case in the Canadian city of Winnipeg, since 2009, the municipality has decided to sell also the naming rights of bridges, overpasses and parking lots (Rose-Redwood *et al.*, 2021).

Transportation authorities can raise more money to pay for infrastructure construction, maintenance, and operating expenses by letting individuals or companies purchase the naming rights (Vuolteenaho, 2022). This can be beneficial for both the PTAs and the companies involved. As Vuolteenaho (2022) states, for the public entity selling naming rights can provide a significant source of revenue, which can be used to fund infrastructure improvements, station upgrades, and maintenance works, particularly in situations where public funding might be limited. Furthermore, by generating additional revenue, PTAs can potentially reduce the burden on fare payers, leading to more affordable and accessible transportation options.

The sponsors, renaming high-traffic areas such as key urban transport infrastructures, can significantly enhance brand visibility and recognition, helping to create a positive association in the minds of commuters and the public. Naming rights allow for exposure to a diverse audience, enhancing brand reach and potential customer engagement. Nevertheless, sponsors supporting public transit through naming rights can improve their reputation, demonstrating a commitment to the community and its transportation needs. It is evident that the optimal means of attaining such objectives is through the sponsorship of prominent, high-traffic lines or infrastructure, particularly in densely populated urban centres.

Rose-Redwood *et al.* (2019) report that selling naming rights allows local governments to increase municipal revenues without raising taxes, but at the same time, this practice erodes the democratic value and cultural identity of urban public spaces. The commodification of urban toponymy therefore runs the risk of threatening the public memory of various public spaces (Boyd, 2000), and this provokes opposition from citizens. Indeed, there are several cases of British football fans resisting the renaming of their stadiums: Newcastle and Southampton, to name a few (Light & Young, 2015).

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.04

The present study sets out to analyse the Italian case study in order to provide a comprehensive overview of the current state of public-private integrations in the public transport sector. The extant literature, as previously referenced, exclusively focuses on the purchase by private companies of the right to rename bus/train lines or stations. In this research, in addition to describing the cases of selling rights in the Italian context, it is intended to take a further step and investigate one of the first examples at global level of creation of a public transport line by a private company for the use of all citizens.

3. METHODOLOGY

The methodology employed in this research was developed through a multifaceted and integrated approach, designed to provide an in-depth and detailed analysis of the funding and sponsorship strategies implemented by Italian Public Transport Authorities. The principal objective was to examine the forms of private involvement these PTAs embrace and the sponsorship models that prove most efficacious within the Italian context. The methodology, depicted in figure 3, comprised a number of discrete yet interrelated phases, each of which contributed to the provision of a comprehensive and multidimensional overview.

One of the initial tasks was to examine the operations of the Italian public transport authorities. This phase comprised a comprehensive examination of the financial statements of the Top 10 Italian PTAs in terms of annual turnover and related market share (ranking as of 2018)[1], with the objective of analysing the funding structure and identifying any sponsorship practices. The statements provided a detailed overview of revenues generated through sponsorship and collaborative partnerships. The most recent documents available were selected, with particular attention paid to line items relating to revenue from sponsorship, commercial agreements and strategic alliances. The aim of this analysis was to identify not only the monetary value of these sponsorships, but also their structural characteristics. The review of these documents identified patterns in the types of companies involved in sponsorship, the structure of the partnerships and the specific objectives of these collaborations.

Concurrently, an exhaustive examination of the official websites of the aforementioned authorities was undertaken. This activity enabled the collection of publicly available information, which proved invaluable in elucidating the funding policies and partnership initiatives with private entities. This analysis was further supplemented by a web search conducted using reference search engines. The online research was carried out to gather data on the financial allocations and sponsorship strategies of public transport authorities in Italy. The main search engines - Google, Bing, Yahoo and Firefox - were used to search for relevant information. The research phase involved formulating a number of specific keywords and keyword combinations, including terms such as “public transport authority funding”, “public transport sponsorship”, “budget transport entities” and “regional transport funding”. This keyword strategy enabled targeted searches to locate data related to the funding mechanisms and sponsorship models used by Italian public transport authorities.

Each search result was reviewed and only those deemed relevant were further analysed to determine their accuracy and relevance. Priority was given to official sources such as government websites, public transport authority publications and reputable industry reports. Academic publications were also consulted to provide a theoretical basis for the data collected.

A further fundamental component of the work was the analysis of international literature (Section 2). This phase comprised a systematic review of academic studies, reports and case studies from international contexts, with the objective of acquiring a more comprehensive understanding of the financing and sponsorship strategies employed in the public transport sector on a global scale. This enabled the identification of models, trends and good practices that could also be pertinent to the Italian context.

1. Data taken from the “Trasporto Pubblico Locale” report drawn up by the Cittadinanzattiva Prices & Tariffs Observatory (2020). More up-to-date rankings are not available.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.04

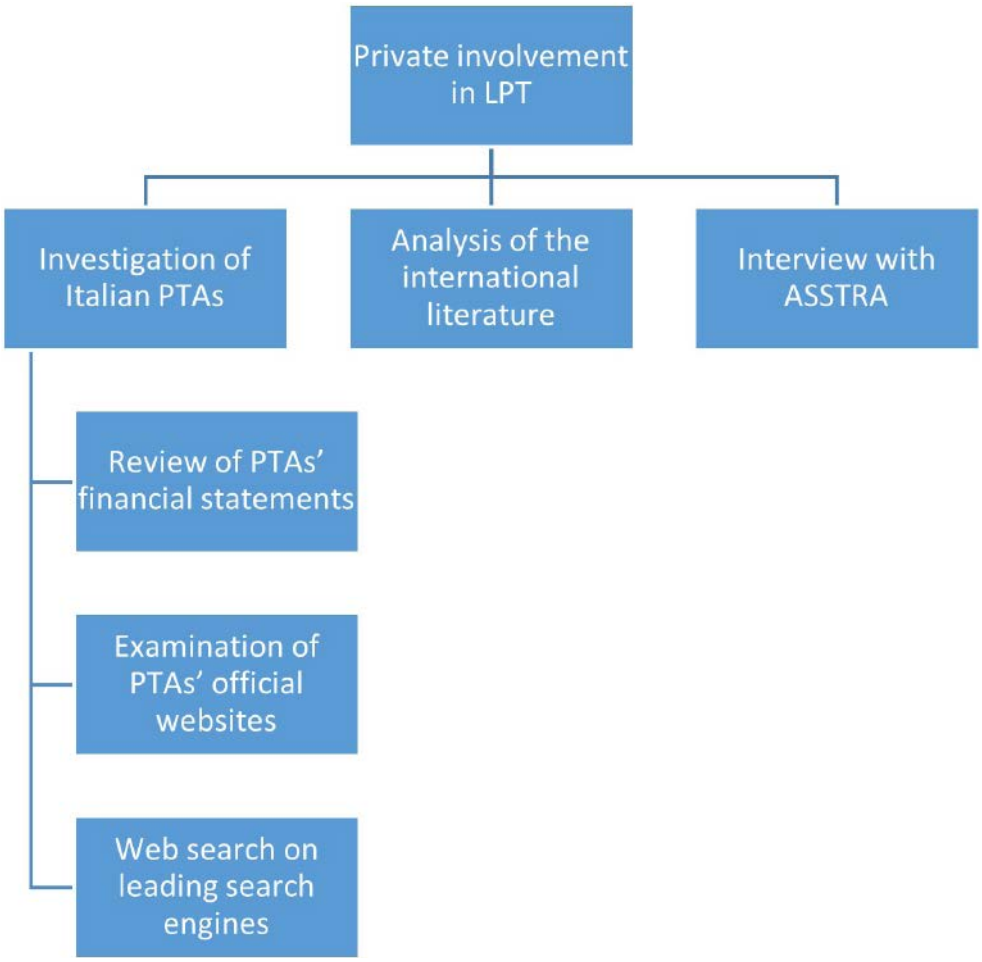


Figure 3. Methodology used in this work. Source: own elaboration.

Furthermore, an interview was conducted with ASSTRA (Associazione Trasporti), the Italian public transport association representing 140 PTAs and authorities, which collectively account for 75% of the market. The association represents a strategic reference point for the public transport sector, helping to support companies in their role as providers of essential services for collective mobility. Through its actions, ASSTRA aims to promote dialogue between the public and private sectors and to encourage innovative solutions to the challenges of modern mobility.

The interview offered a well-informed and up-to-date insight into the dynamics of private involvement and emerging trends in financing local public transport in Italy (the structure of the interview is in the appendix 1 at the end of the article).

Conducted via Microsoft Teams, the interview was designed to cover key topics including financial strategies, sponsorship campaigns and communication initiatives undertaken by ASSTRA's member organisations. The decision to engage directly with ASSTRA was strategic, as it provided access to up-to-date insights and first-hand information on sponsorship practices in different regions and organisations. This interaction also allowed the researchers to contextualise the data obtained from financial documents and online research within the actual decision-making processes and trends observed in the industry.

Following the collection of data from all the sources - search engines, official websites, financial documents, and the ASSTRA interview - the information about the Italian context was systematically reviewed, verified and triangulated. Data from public financial documents were cross-referenced with findings from the interview to identify common patterns and potential discrepancies.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.04

4. RESULTS AND DISCUSSION

The analysis of the financial statements of the Top 10 Italian PTAs in terms of annual turnover and related market share led to the results illustrated in table 1.

Table 1. Examination of the financial statements of the Top 10 Italian PTAs (data as of 2023).

PTA	Renaming	Decoration of vehicles	CMM	Total revenue (€)	Sponsorship revenue[2] (€)	% Sponsorship revenue/ Total Revenue
ATM	✓	✔		937.697.270	16.701.000	1,78%
ATAC		✔		970.575.203	11.302.047	1,16%
GTT		✔		423.326.000	2.231.000	0,53%
COTRAL		✔		347.560.366	558.000	0,16%
AVM VENEZIA		✔		299.793.305	5.893.790	1,97%
ENTE AUTONOMO VOLTURNO		✔		313.843.006	NOT SPECIFIED	/
TPER		✔	✔	294.026.000	1.031.000	0,35%
ACTV		✔		249.926.202	NOT SPECIFIED	/
ANM		✔		194.678.377	1.385.000	0,71%
AMT	✔	✔		246.848.520	772.656	0,31%

Source: own elaboration.

As illustrated in table 1, merely two PTAs currently employ selling rights practices for bus and metro stations and lines (ATM and AMT). All PTAs rent advertising spaces inside and outside their vehicles. Conversely, only one PTA experiments with CMM (TPER), the subject of this paper. Table 1 also reports total revenues, revenues from sponsorships and advertising, and the percentage incidence of the latter on the total.

In order to better contextualise the area of operation of the PTAs selected for this survey, table 2 provides some basic statistical information on the territories to which the PTAs belong.

Among the common patterns, the involvement of private sponsors for the direct financing of services or infrastructure, such as the naming of stations or lines, stands out (2 PTAs today plus 1 in the past). The sale of advertising space is a common practice, with advertisements on vehicles, stations and infrastructure. In addition, in the Italian scenario, only one agreement has so far been identified with private companies to guarantee the mobility of their employees, with the aim of financing dedicated lines or concessionary agreements (see section 4.1). This initiative has been applied in a densely populated urban centre, where there is greater visibility for the sponsors.

Despite the lack of initiatives, some differences can also be highlighted. The main differences concern the approach between regions and cities: large urban centres, such as Milan and Rome, are more likely to experiment with innovative sponsorship than rural areas. The type of infrastructure involved varies, with branding of railway stations implying long-term agreements, while buses and trams are used for short-term campaigns. Another distinguishing element is social acceptance: some communities are more open to branding (e.g. residents of large cities such as Milan and Genoa), while others show resistance linked to cultural sensitivities or the protection of public heritage. Finally, the duration and nature of the agreements vary, as do the types of sponsors involved, ranging from multinationals to local companies.

2. Sponsorship revenues are included in the balance sheets under the aggregate item “Advertising and sponsorship revenues”

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.04

Table 2. Public Transport Authorities and basic statistics of their Cities/Regions.

PTA	City/Region	Population (2024)	Area (km²)	Population Density (inhabitants/km²)	Predominant Economic Activities
ATM	Milan	1,371,499	181.8	7,539	Finance, Fashion, Industry, Technology
ATAC	Rome	2,751,747	1,287.4	2,138	Tourism, Government, Services
GTT	Turin	851,199	130.2	6,538	Automotive, Manufacturing, Technology
COTRAL	Lazio Region	5,714,745	17,236.5	332	Agriculture, Tourism, Manufacturing
AVM / ACTV	Venice	250,290	414.6	603	Tourism, Shipbuilding, Manufacturing
Ente Autonomo Volturno	Campania Region	5,593,906	13,667.9	409	Agriculture, Tourism, Manufacturing
TPER	Bologna	390,098	140.9	2,768	Food Industry, Education, Services
ANM	Naples	913,704	119.0	7,678	Tourism, Shipbuilding, Agriculture
AMT	Genoa	562,422	240.3	2,340	Shipping, Trade, Tourism

Source: own elaboration.

As a result of the aforementioned work, it was possible to outline the state of the art of the Italian context. In Italy, as in other countries, the public transport sector requires large amounts of public funding, and its costs have recently increased as a result of political decisions requiring public transport operators to switch to electric vehicles and to make a wide range of technological adjustments (Aamodt *et al.*, 2021). Because of this, local governments employ commercial sponsorship to raise extra funds from the private sector (Vuolteenaho, 2022). In the public transportation industry, there are primarily two ways to achieve this goal: sale of the name rights of bus or metro lines and stations (Scauzillo, 2016; Rose-Redwood *et al.*, 2021), and full or partial decoration of vehicles with advertising panels (Hess & Bitterman, 2016). Figure 4 also shows the third option discussed in this study, namely the corporate mobility management: it will be described in the next section.

With regard to the partial or total decoration of vehicles, already widely spread even at a global level (Hess & Bitterman, 2016), it is applied in all 20 Italian regional capitals.

Regarding the sale of station and line naming rights, activity already widespread in other global metropolises such as Dubai (Sotoudehnia, 2013), the first Italian city to introduce such a measure was Rome in 2013, with an agreement signed between ATAC (Rome PTA) and Vodafone to rename the metro station "Termini – Vodafone". Recently, however, only the northern cities of Milan and Genoa have included this practice (relating only to the renaming of stations) in their revenue generation strategies, and only Genoa continues to this day.

The Milan administration began in 2015 to allow private companies to put their name on the main metro stops through a sponsorship contract: Mediaset Premium was the forerunner in the San Siro Stadio stop. The sponsorships have so far concerned only a few stops on the M5 line, the last metro line built through project financing.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.04

However, in 2020 the City of Milan decided to change strategy and prevent the renaming of stations by selling the exclusive right to name the whole line: the official reasons are not known, but the local authorities probably want to protect the cultural identity of the station names (Boyd, 2000), which are more characteristic than the name of the line.

As a result, while private companies no longer have the right to brand the name of the stations, they can still obtain exclusive rights to the internal advertising space, creating an immersive user experience.

Currently, the only two stations where this type of branding is active are the San Siro Stadio station (Coca Cola) and the Tre Torri station (Allianz Generali).

In addition, many of the other stations on the M5 line have been subject to a partial branding exercise for a period of less than a year. Figure 5 shows the configuration of the M5 line in Milan in 2019, with the stations subject to renaming activity (red) and the only station (green) subject to the temporary sale of internal advertising space (but not "renaming").

In the city of Genoa, the "Your Metro" project was launched in February 2020, aimed at attracting sponsors and new revenue through the renaming of some metro stops. To date, five out of eight stops have been sponsored by private companies who have added their brand to the original name of the station (Figure 6). The "Adopt a Bus" project, on the other hand, aims to raise funds by selling advertising space (€25,000 per year each) to sponsors both inside and outside the vehicles. Partial or full decoration of vehicles also applies to metro trains.

AMT's sponsorship and advertising revenues for 2023 increased to €772,656, as presented in table 1, constituting 0.31% of the total value of production of the PTA. When compared with the company's revenues from sales and services (core business), which equalled €80,191,517 in 2023 and accounted for 32.49% of the total, it is clear that there is still much room for improvement on this path.

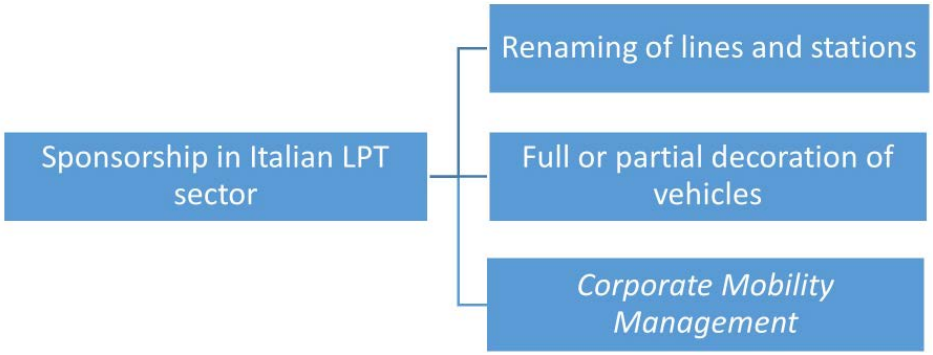


Figure 4. Sponsorship modalities employed and hypothesized in Italian LPT sector. Source: own elaboration.



Figure 5. Renamed metro station (red) and the station with immersive user experience (green), Milan, in 2019. Source: own elaboration.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.04

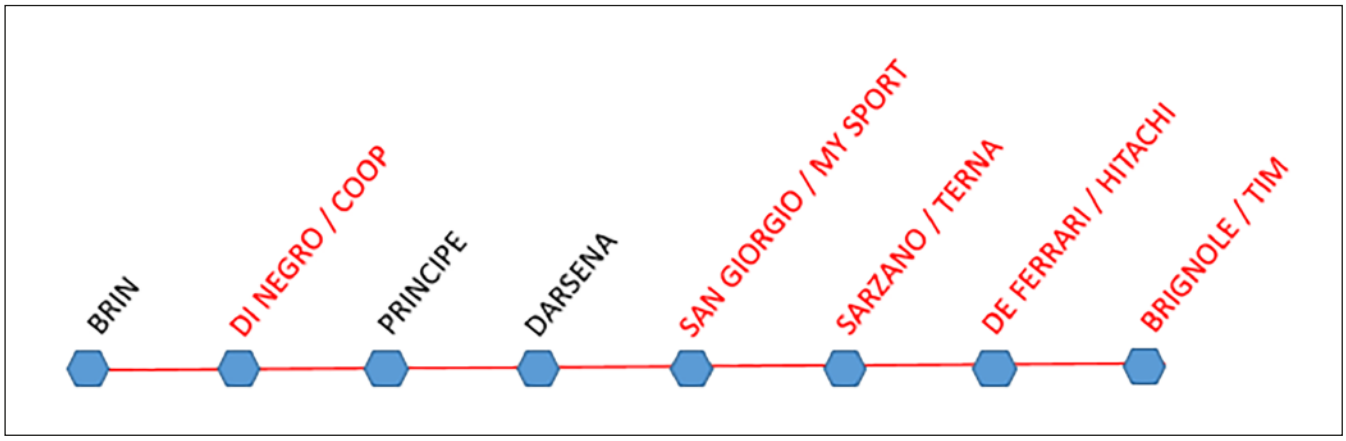


Figure 6. Renamed metro stations (red) in Genoa, Italy, in 2023. Source: own elaboration.

Genoa's PTA, AMT Spa, wants to take things a step further by securing private funding for a whole service line.

In June 2023, AMT announced a public tender for the award of a 24-month sponsorship contract (€950,000 in total). This contract concerns the single line 782, which connects Santa Margherita Ligure with the village of Portofino, one of the most glamorous and exclusive locations in the world, capable of attracting millions of tourists. AMT is offering the winning sponsor high visibility by fully decorating all eight electric buses operating on the line and renaming the line with its own brand.

In relation to the third aspect of figure 4, *Corporate Mobility Management* (CMM) is a strategic approach adopted by companies with the objective of managing and optimising the travel of their employees, customers and suppliers (Wong, 2018). This is done with the intention of reducing the use of private cars, improving environmental sustainability and increasing the overall efficiency of travel related to work (Gorges *et al.*, 2021; Klopfer *et al.*, 2023; Frank *et al.*, 2024). The corporate mobility manager is the professional figure responsible for developing, implementing and monitoring sustainable mobility strategies within a company. He is responsible for implementing mobility solutions, promoting and encouraging the use of alternative transport modes, creating partnerships with car sharing and bike sharing services, and improving accessibility to public transport services. Examples of this kind of initiatives include carpooling programs with internal platforms for sharing cars between employees traveling on similar routes, incentives for cycling with the provision of safe parking, showers and changing rooms, and economic incentives for bikers. The promotion of teleworking and time flexibility reduces the number of trips at peak times, although the literature shows that the overall number of trips with LPT increases (Ravalet & Rérat, 2019), while agreements with public transport companies offer discounted or free passes to employees.

One such example is the practice of numerous Italian PTAs entering into commercial agreements with universities to permit students enrolled to travel on their respective networks at no cost (main case studies in table 3).

Furthermore, it is necessary to describe the case study of the first agreement in Italy between a private company and the local PTA for the construction of two new public transport lines. This specific project was financed entirely by Philip Morris Manufacturing & Technology Bologna with the intention of providing a benefit not only to the employees of the company but also to the wider community of the city of Bologna.

The tobacco manufacturing company decided to fully finance the creation of lines 676 and 677 which connect the city of Bologna with the Valsamoggia industrial area located in the hinterland. This is the first agreement of this kind in Italy for multimodal transport (TPER and Trenitalia are naturally involved in the initiative). Furthermore, in order to encourage its employees to reduce car use, Philip Morris also provided them with a free subscription to use on board all TPER vehicles in the metropolitan area. Figure 7 shows the new multimodal line 677, which connects Bologna's main railway station to the Philip Morris factory.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.04

Table 3. Main case studies of agreements between Italian Universities and local PTAs.

University	PTA	Agreement
University of Brescia	Arriva Italia	50% discount on public transport passes for students
University of Florence	Autolinee Toscane	Discounts of up to 82% on the cost of local public transport passes for students
Università di Padua	Trenitalia Busitalia	Welfare PLUS 10% offer, a 10% discount valid for the purchase of tickets for private travel on Frecciarossa, Frecciargento and Frecciabianca trains. Discounts on local buses.
University of Siena	Autolinee Toscane	Discounts on local LPT.
University of Trento	Trentino Trasporti Spa	"Libera circolazione" allows students to travel on public transport at a discounted rate throughout the Province of Trento.
University of Turin	GTT GRANDA BUS	Refund of GTT and GRANDA BUS transport service subscriptions purchased.

Source: own elaboration.

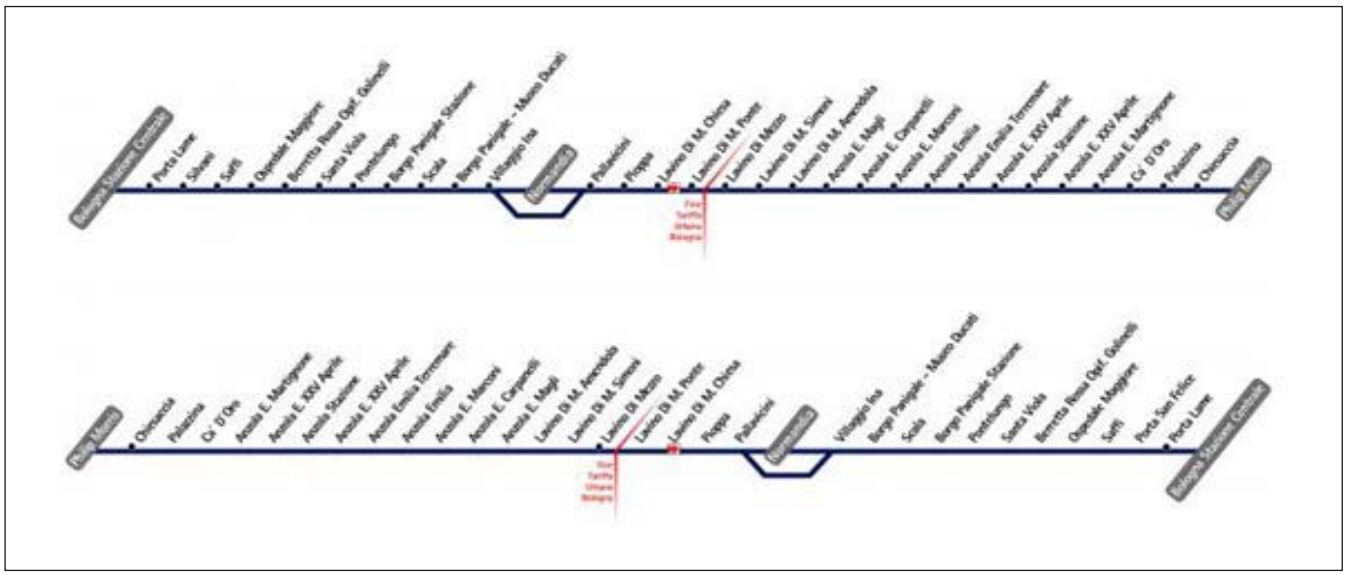


Figure 7. New line 677 in Bologna from Bologna Central Station and Philip Morris.
Source: own elaboration based on TPER.it (2024).

The agreement between TPER and Philip Morris is a virtuous example of public-private cooperation in public transport. The Bologna PTA has also concluded more than 40 CMM agreements with companies in the area, aimed at promoting the use of public transport at reduced costs (around 30,000 season tickets). In this type of agreement, TPER undertakes to offer a fare reduction of up to 15% of the value of the annual subscription in return for a contribution from the other party of between 5 and 15%. Another good example of a CMM established by TPER over the years is the one signed with the company that manages Bologna Airport (Aeroporto di Bologna). In this case, TPER offers a very tailored season ticket to the airport's employees (almost 3.000 people): they can benefit from different ticket versions according to their needs, choosing between train, bus, shuttle and car-sharing (table 4). Figure 8 shows some of the private companies and public entities involved in CMM with TPER.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.04

Table 4. Aeroporto di Bologna agreement with TPER.

Users	Mode of transport
Aeroporto di Bologna employees (approximately 3,000)	All TPER buses of the urban, suburban and extra-urban lines of the Bologna area
	Marconi Express People Mover shuttles
	Metropolitan Railway Service trains (urban area, lines to/from Casalecchio, San Lazzaro, Rastignano, Portomaggiore and Vignola)
	Regional trains
	A carnet of minutes of the free-floating electric car sharing

Source: own elaboration based on TPER.



Figure 8. Private companies and public entities involved in mobility management. Source: TPER.it (2024).

On the basis of what has been said in this section, it is now possible to make some final observations in the next section.

5. CONCLUSIONS

The global trend of reduced public spending on urban transport is a consequence of the implementation of austerity policies by governments in order to respond to periods of economic crisis, such as the global financial collapse of 2008 and the recent global pandemic. In light of the aforementioned scenario, there is a risk that

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.04

local public transport will lose ground to private transport. It is therefore evident that alternative forms of financing for public transport are required with the utmost urgency if the service is to be made efficient and appreciated by users. It is only through such measures that the desired shift in modal use from private to public transport can be achieved, with concomitant benefits in terms of the environment and public health. To the best of our knowledge, this topic has not been addressed in academic literature thus far. Consequently, this study makes a pioneering contribution to the field by exploring the potential for private sector involvement in LPT for the first time. By analysing international literature, initially focusing on private sponsorship contracts in sectors where they are already present and then in reference to the transport industry, the authors were able to present a comprehensive overview of the current state of public-private partnerships in this sector.

Furthermore, two additional methodological steps were undertaken to achieve this objective within the Italian context. Initially, the Italian PTAs were identified through a web search on leading search engines, an examination of their official websites, and an analysis of their financial statements. Finally, to gain a comprehensive understanding of the Italian LPT sector, the communications manager of ASSTRA, the national transport association, was interviewed. From this inquiry, three solutions have emerged that demonstrate the potential for public-private integration in the public transport sector. These include the renaming of metro lines and stations (currently operational in Genoa and Milan), the partial or total decoration of vehicles (already implemented in numerous locations), and Corporate Mobility Management (CMM).

In examining the case study of TPER in Bologna, we delved deeply into the subject of CMM, which is the strategic approach adopted by private companies with the aim of managing and optimising the travel of their employees, customers and suppliers. The principal objective of this type of initiative is the establishment of a service that is accessible not only to employees of the sponsoring company but also to the general public, including employees.

This initiative represents the inaugural tangible example of efficacious involvement of private actors in the public transport sector. This was made possible through the financing by Philip Morris Manufacturing & Technology Bologna of two public transport lines that connect the city of Bologna with the industrial area where the company's manufacturing facility is situated. The service, which was required for the transportation of company employees, is now accessible to all citizens, thereby increasing the reach and efficiency of the TPER service. The TPER case study serves as a model for private financing of public transport, offering clear benefits for both companies and the community.

For private companies, the primary benefit is the potential to enhance the mobility of employees, customers and suppliers, thereby optimising logistical efficiency and reducing travel expenditures. Moreover, these initiatives contribute to enhancing the company's reputation by underscoring its commitment to sustainability and social responsibility, while also fortifying its connection with the local community.

From a community standpoint, these agreements signify an enhancement of the public transport provision, through the financing of new lines or services that, although initially designed for company employees, are made accessible to all citizens. This enhancement in accessibility, alongside the concomitant reduction in private traffic and the resultant decrease in environmental impact, underscores the multifaceted benefits of these initiatives. The integration of public and private sectors fosters the efficiency of urban mobility systems, yielding tangible benefits in terms of inclusivity, sustainability, and the quality of service for the entire community.

CMM practices are also critical in supporting local economic development by improving access to key employment centres and infrastructure, such as industrial estates or airports. For example, the partnership between TPER and Philip Morris in Bologna facilitates employees' commutes while improving connectivity to the airport area, making the region more attractive for business and investment.

The objective of this study is to present the current state of public-private partnerships in the Italian market, with a view to offering guidance to PTA managers and policy makers on how they might enhance the efficiency of their public transport services. It should be noted that this study was conducted exclusively at the Italian level, thereby leaving the possibility for future research in other countries. Moreover, further research could encompass the utilisation of questionnaires and in-depth interviews with PTA management and policy makers.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.04

Responsibilities and conflicts of interest

The author undertakes to disclose any existing or potential conflict of interest in relation to the publication of his article.

REFERENCES

Aamodt, A., Cory, K., & Coney, K. (2021). *Electrifying transit: A guidebook for implementing battery electric buses (No. NREL/TP-7A40-76932)*. National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States). https://doi.org/10.2172/1779056

Abratt, R., Clayton, B.C., & Pitt, L.F. (1987). Corporate objectives in sports sponsorship. *International journal of Advertising, 6*(4), 299-312. https://doi.org/10.1080/02650487.1987.11107030

Alonso-Dos-Santos, M., Vveinhardt, J., Calabuig-Moreno, F., & Montoro-Ríos, F. (2016). Involvement and image transfer in sports sponsorship. *Engineering Economics, 27*(1), 78-89.

AMT (2023). *How to take your brand to Portofino*. https://www.amt.genova.it/amt/wp-content/uploads/2023/07/Presentazione-portofino-ITA.pdf

Beard, J.R., de Carvalho, I.A., Sumi, Y., Officer, A., & Thiyagarajan, J.A. (2017). Healthy ageing: moving forward. *Bulletin of the World Health Organization*, *95*(11), 730. https://doi.org/10.2471/BLT.17.203745

Boeuf, B., Carrillat, F.A., & d'Astous, A. (2018). Interference effects in competitive sponsorship clutter. *Psychology & Marketing, 35*(12), 968-979. https://doi.org/10.1002/mar.21149

Boyd, J. (2000). *Selling home: Corporate stadium names and the destruction of commemoration*. https://doi.org/10.1080/00909880009365580

Burlando, C., & Cusano, I. (2018). Growing Old and Keep Mobile in Italy. Active Ageing and the Importance of Urban Mobility Planning Strategies. *TeMA-Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 43-52.

Candelo, E. (2014). Nuove opportunità per il marketing. Strategie di marca e sponsorizzazioni di eventi sportivi, culturali, sociali e musicali. *GRAPHICUS,* 5-6.

Caprio, V. (2008). *Progetto Reti degli Sportelli per lo Sviluppo. I contratti di sponsorizzazione*. http://focus.formez.it/sites/all/files/dossier_sponsorizzazioni.pdf

Carrillat, F.A., Harris, E.G., & Lafferty, B.A. (2010). Fortuitous brand image transfer: Investigating the side effect of concurrent sponsorships. *Journal of Advertising, 39*(2), 109–124. https://doi.org/10.2753/JOA0091-3367390208

Citroni, G., Lippi, A., & Profeti, S. (2019). In the shadow of Austerity: Italian local public services and the politics of budget cuts. In Lippi, A., Tsekos, T. (Eds.) *Local Public Services in Times of Austerity across Mediterranean Europe. Governance and Public Management* (pp. 115-140). Palgrave Macmillan. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76225-8_6

Copeland, R., Frisby, W., & McCarville, R. (1996). Understanding the sport sponsorship process from a corporate perspective. *Journal of Sport management, 10*(1), 32-48. https://doi.org/10.1123/jsm.10.1.32

Cornwell, T.B., Relyea, G.E., Irwin, R.I., & Maignan, I. (2000). Understanding long-term effects of sports sponsorship: Role of experience, involvement, enthusiasm and clutter. *International Journal of Sports Marketing & Sponsorship, 2*(2), 127–143. https://doi.org/10.1108/IJSMS-02-02-2000-B005

Cornwell, T.B., & Kwon, Y. (2020). Sponsorship-linked marketing: Research surpluses and shortages. *Journal of the Academy of Marketing Science, 48*, 607-629. https://doi.org/10.1007/s11747-019-00654-w

Currie, G., & Fournier, N. (2020). Why most DRT/Micro-Transits fail–What the survivors tell us about progress. *Research in Transportation Economics, 83*, 100895. https://doi.org/10.1016/j.retrec.2020.100895

Davison, L., Enoch, M., Ryley, T., Quddus, M., & Wang, C. (2014). A survey of demand responsive transport in Great Britain. *Transport Policy, 31*, 47-54. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2013.11.004

Enoch, M., Potter, S., Parkhurst, G., & Smith, M. (2006). *Why do demand responsive transport systems fail?*

Fatima, K., & Moridpour, S. (2019). Measuring public transport accessibility for elderly. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 259, p. 03006). EDP Sciences. https://doi.org/10.1051/matecconf/201925903006

Frank, L., Klopfer, A., & Walther, G. (2024). Designing corporate mobility as a service–Decision support and perspectives. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, 182*, 104011. https://doi.org/10.1016/j.tra.2024.104011

Furuhata, M., Daniel, K., Koenig, S., Ordonez, F., Dessouky, M., Brunet, M. E., & Wang, X. (2014). Online cost-sharing mechanism design for demand-responsive transport systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 16*(2), 692-707. https://doi.org/10.1109/TITS.2014.2336212

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.04

Gorges, T., & Holz-Rau, C. (2021). Transition of mobility in companies–A semi-systematic literature review and bibliographic analysis on corporate mobility and its management. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, 11*, 100462. https://doi.org/10.1016/j.trip.2021.100462

Gwinner, K., & Swanson, S. R. (2003). A model of fan identification: Antecedents and sponsorship outcomes. *Journal of services marketing, 17*(3), 275-294. https://doi.org/10.1108/08876040310474828

Hess, D.B., & Bitterman, A. (2016). Branding and selling public transit in North America: An analysis of recent messages and methods. *Research in transportation business & management*, *18*, 49-56. https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2016.01.001

Jansson, J.O. (1980). A simple bus line model for optimisation of service frequency and bus size. *Journal of Transport Economics and Policy*, 53-80.

Jara-Díaz, S.R., & Gschwender, A. (2009). The effect of financial constraints on the optimal design of public transport services. *Transportation, 36*, 65-75. https://doi.org/10.1007/s11116-008-9182-8

Kar, A., Carrel, A. L., Miller, H.J., & Le, H.T. (2022). Public transit cuts during COVID-19 compound social vulnerability in 22 US cities. *Transportation Research Part D: Transport and Environment, 110,* 103435. https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103435

Klopfer, A., Frank, L., & Walther, G. (2023). Quantifying emission and cost reduction potentials of Corporate Mobility as a Service. *Transportation Research Part D: Transport and Environment, 125,* 103985. https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103985

Lan, J., Xue, Y., Fang, D., & Zheng, Q. (2022). Optimal Strategies for Elderly Public Transport Service Based on Impact-Asymmetry Analysis: A Case Study of Harbin. *Sustainability, 14*(3), 1320. https://doi.org/10.3390/su14031320

Laws, R., Enoch, M., Ison, S., & Potter, S. (2009). Demand responsive transport: a review of schemes in England and Wales. *Journal of Public Transportation, 12*(1), 19-37. https://doi.org/10.5038/2375-0901.12.1.2

Light, D., & Young, C. (2015). Toponymy as commodity: Exploring the economic dimensions of urban place names. *International Journal of Urban and Regional Research, 39*(3), 435-450. https://doi.org/10.1111/1468-2427.12153

Maestas, A.J. (2009). Guide to sponsorship return on investment. *Journal of Sponsorship, 3*(1).

Mageean, J., & Nelson, J.D. (2003). The evaluation of demand responsive transport services in Europe. *Journal of Transport Geography, 11*(4), 255-270. https://doi.org/10.1016/S0966-6923(03)00026-7

Meenaghan, J.A. (1983), "Commercial sponsorship". *European Journal of Marketing, 17*(17), 5-73. https://doi.org/10.1108/EUM0000000004825

Meenaghan. T, (1991). Sponsorship—Legitimizing the medium. *European Journal of Advertising, 25*(11). 5-10. https://doi.org/10.1108/EUM0000000000627

Nickell, D., & Johnston, W.J. (2020). An attitudinal approach to determining Sponsorship ROI. *Marketing Intelligence & Planning, 38*(1), 61-74. https://doi.org/10.1108/MIP-11-2018-0512

Ortiz, I., & Cummins, M. (2021). *Global austerity alert: looming budget cuts in 2021-25 and alternative pathways*. https://doi.org/10.2139/ssrn.3856299

Perera, S., Ho, C., & Hensher, D. (2020). Resurgence of demand responsive transit services–Insights from BRIDJ trials in inner west of Sydney, Australia. *Research in Transportation Economics, 83*, 100904. https://doi.org/10.1016/j.retrec.2020.100904

Ravalet, E., & Rérat, P. (2019). Teleworking: Decreasing mobility or increasing tolerance of commuting distances? *Built Environment, 45(*4), 582-602. https://doi.org/10.2148/benv.45.4.582

Rose-Redwood, R., Vuolteenaho, J., Young, C., & Light, D. (2019). Naming rights, place branding, and the tumultuous cultural landscapes of neoliberal urbanism. *Urban Geography, 40(*6), 747-761. https://doi.org/10.1080/02723638.2019.1621125

Rose-Redwood, R., Sotoudehnia, M., & Tretter, E. (2021). "Turn your brand into a destination": Toponymic commodification and the branding of place in Dubai and Winnipeg. In *Naming Rights, Place Branding, and the Cultural Landscapes of Neoliberal Urbanism* (pp. 100-123). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781003163268-6

Scauzillo, Steve. (2016, December 7). *LA County Metro seeing $$$$ with new opportunity to sell naming rights to rail lines, stations. San Gabriel Valley Tribune*. https://www.sgvtribune.com/2016/12/07/la-county-metro-seeing-with-new-opportunity-to-sell-namingrights-to-rail-lines-stations

Sun, G., & Lau, C.Y. (2021). Go-along with older people to public transport in high-density cities: Understanding the concerns and walking barriers through their lens. *Journal of Transport & Health, 21*, 101072. https://doi.org/10.1016/j.jth.2021.101072

TPER (2024, June 11). https://www.tper.it/bo-677

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.04

Van Hoof, J., Marston, H.R., Kazak, J.K., & Buffel, T. (2021). Ten questions concerning age-friendly cities and communities and the built environment. *Building and Environment*, *199*, 107922. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107922

Vuolteenaho, J. (2022). Toponymic Commodification: Thematic Brandscapes, Spatial Naming Rights and the Property–Name Nexus. *The Politics of Place Naming: Naming the World*, 109. https://doi.org/10.1002/9781394188307.ch6

Waite, N. (1979). *Sponsorship in context.*

Walraven, M., Bijmolt, T.H.A., & Koning, R.H. (2014). Dynamic effects of sponsorship: The development of sponsorship awareness over time. *Journal of Advertising, 43*(2), 142–154. https://doi.org/10.1080/00913367.2013.835754

Walraven, M., Bijmolt, T., Koning, R., & Los, B. (2016). Benchmarking Sports Sponsorship Performance: Efficiency Assessment With Data Envelopment Analysis. *Journal of Sport Management*, *30*(4), 411-426. https://doi.org/10.1123/jsm.2015-0117.

Wong, Y.Z. (2018). *Corporate Mobility Review; How Business can Shape Mobility*.

Wong, R.C.P., Szeto, W.Y., Yang, L., Li, Y.C., & Wong, S.C. (2018). Public transport policy measures for improving elderly mobility. *Transport policy, 63*, 73-79. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.12.015

World Bank (2023). *Urban Development*. https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/overview.

World Health Organization (2020a). *Ageing.*

World Health Organization. (2020b). *Decade of healthy ageing: baseline report*.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.04

APPENDIX 1

STRUCTURE OF THE INTERVIEW WITH ASSTRA

Introduction and General Context

1. What is the current state of sponsorship agreements between public transport companies and private entities in Italy?
2. Is it possible to brand public transport services under Italian regulations?

Sponsorship Models and Practical Applications

3. Are sponsorship agreements more commonly focused on selling advertising spaces by PTAs to private entities, or on mobility agreements for employees of private companies?
4. When a transport service is financed by a private entity, is it open to all citizens, or is it exclusively reserved for the employees of the funding organization?
5. Are PTAs able to manage advertising spaces independently, or must they outsource this management to third parties?

Application Dynamics and Urban Contexts

6. In which urban contexts or types of infrastructure are these sponsorship agreements more easily applied and more widely adopted?
7. What are the dynamics that govern sponsorship agreements related to station naming or the branding of public transport infrastructure?

Challenges and Critical Issues

8. What are the main challenges or critical issues that limit the spread of sponsorship agreements between PTAs and private entities?
9. Are such agreements generally well accepted by the population? What are the possible consequences of these deals on the social fabric of the area?

Comparison with Other Sectors and Success Stories

10. Are the dynamics governing commercial agreements in public transport similar to those found in other sectors, such as the sports industry?
11. What are the best examples of successful private sponsorships in public transport at the national level? Can these successful cases be replicated in other cities or contexts?

Future Perspectives and Stakeholders

12. Who are the most suitable and strategic stakeholders for the implementation of such sponsorship agreements?
13. Do you believe these tools have growth potential and can contribute to making public transport systems more sustainable?

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.04

Revista de Estudios Andaluces (REA) | Núm. 50, julio (2025) | e-ISSN: 2340-2776
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50 | © Editorial Universidad de Sevilla 2025
https://editorial.us.es/es/revistas/revista-de-estudios-andaluces
https://revistascientificas.us.es/index.php/REA
CC BY-NC-SA 4.0.

Les chutes de blocs dans le bassin versant Zireg: facteurs de genèse et cartographie des zones à risques (Moyen Atlas - Maroc)

Rockfalls in the Zireg watershed: factors of genesis and mapping of risk zones (Middle Atlas - Morocco)

Desprendimientos de rocas en la cuenca del Zireg: factores de origen y cartografía de las zonas de riesgo (Atlas Medio - Marruecos)

Mohamed Benaissa
mohamed.benaissa1@usmba.ac.ma 0009-0004-6716-6512
Université Sidi Mohamed Ben Abdellah – Fès. Laboratoire Espace, Histoire, Dynamique et Développement durable. Faculté Polydisciplinaire Taza. Route d'Oujda–B.P. 1223, Taza, Maroc.

Jaouad Gartet
jaouad.gartet@usmba.ac.ma
Université Sidi Mohamed Ben Abdellah – Fès. Laboratoire Milieux naturels, Aménagement et Dynamiques Socio-spatiales. Faculté des Lettres et des Sciences Humaines Saïs-Fés. BP 59 Route Immouzer. 30000 Fès, Maroc.

INFO ARTÍCULO

Reçu: 10/02/2025
Révisé: 04/04/2025
Accepté: 28/04/2025

MOTS-CLÉS

Chute de blocs
Modélisation
Bassin versant Zireg
Moyen Atlas, Maroc

RÉSUMÉ

Les chutes de blocs se caractérisent par la séparation soudaine d'une masse rocheuse depuis un versant incliné, descend rapidement vers l'aval sous l'influence de la gravité. Ces événements représentent l'un des risques les plus courants dans les zones montagneuses, pouvant causer des dommages à l'homme et aux biens, ainsi que générer des frais financiers significatifs, surtout lorsqu'ils touchent des maisons et des infrastructures essentielles (routes, chemins de fer et lignes électriques...). Ainsi, l'étude du risque de chutes de blocs est cruciale pour améliorer leur prévention et atténuer leurs impacts. Elle est aussi essentielle pour évaluer comment ce risque se déclenche, en fonction des conditions géographiques. L'estimation des degrés de risque de chutes de blocs exige l'accès à des informations précises et à une méthode d'analyse détaillée associées à une solide perspective géomorphologique en fonction du but visé. Pour cela, la méthode employée prend en compte les facteurs clés qui déclenchent la formation de blocs en chute et leur descente (lithologie, pente et occupation des sols) dans le bassin versant Zireg (Moyen Atlas, Maroc), en s'appuyant sur un modèle qui quantifie l'importance de chaque composant. Les caractéristiques géomorphologiques du bassin versant Zireg, se distingue par son relief dynamique et sa morphologie irrégulière, marquée par des pentes raides et modelées dans un matériel carbonaté et schisteux, sensible aux chutes de blocs. Il enregistre une morphogenèse active amplifiée par l'agressivité du climat méditerranéen. D'après l'étude descriptive, Nous avons montré que 4% de la superficie totale est marquée par des degrés de risques fort et très fort, liées essentiellement à la présence des versants de roches carbonatées, pentes élevées à très élevées et une couverture végétale de faible ou moyenne densité.

KEYWORDS

Rockfall
Modeling
Zireg watershed
Middle Atlas
Morocco

ABSTRACT

Rockfalls are characterized by the sudden separation of a rock mass from a slope, which rapidly descends downstream under the influence of gravity. These events represent one of the most common hazards in mountainous areas, potentially causing damage to people and property, as well as generating significant financial costs, especially when they affect homes and critical infrastructure (roads, railways, and power lines). Therefore, studying rockfall risk is crucial to improve their prevention and mitigate their impacts. It is also essential to assess how this risk is triggered, depending on geographical conditions. Estimating rockfall hazard levels requires access to accurate information and a detailed analysis method, combined

DOI: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.05
Formato de cita / Citation: Benaissa, M., & Gartet, J. (2025). Rockfalls in the Zireg watershed: factors of genesis and mapping of risk zones (Middle Atlas - Morocco). *Revista de Estudios Andaluces,*(50), 90-109. https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.05
Correspondencia autores: mohamed.benaissa1@usmba.ac.ma (Mohamed Benaissa)

with a sound geomorphological perspective, depending on the intended purpose. To this end, the method used takes into account the key factors that trigger the formation of falling blocks and their descent (lithology, slope, and land use) in the Zireg watershed (Middle Atlas, Morocco), relying on a model that quantifies the importance of each component. The geomorphological characteristics of the Zireg watershed are distinguished by its dynamic relief and irregular morphology, marked by steep, shaped slopes in carbonate and schistose material, sensitive to rockfall. It records active morphogenesis amplified by the aggressiveness of the Mediterranean climate. According to the descriptive study, we have shown that 4% of the total area is marked by high and very high degrees of risk, linked essentially to the presence of carbonate rock slopes, high to very high slopes and low or medium density plant cover.

PALABRAS CLAVE

Deslizamiento de montaña
Modelado
Cuenca hidrográfica de Zireg
Atlas Medio
Marruecos

RESUMEN

Los desprendimientos de rocas se caracterizan por la separación repentina de una masa rocosa de una pendiente inclinada, que desciende rápidamente río abajo bajo la influencia de la gravedad. Estos eventos representan uno de los riesgos más comunes en zonas de montaña, capaces de causar daños a personas y bienes, además de generar importantes costes financieros, especialmente cuando afectan viviendas e infraestructuras esenciales (carreteras, ferrocarriles y líneas eléctricas, etc.). Por ello, el estudio del riesgo de desprendimientos de rocas es crucial para mejorar su prevención y mitigar sus impactos. También es esencial evaluar cómo se desencadena este riesgo, dependiendo de las condiciones geográficas. Para estimar los niveles de riesgo de caída de rocas es necesario tener acceso a información precisa y a un método de análisis detallado combinado con una perspectiva geomorfológica sólida en función del propósito previsto. Para ello, el método utilizado tiene en cuenta los factores clave que desencadenan la formación de bloques de caída y su descenso (litología, pendiente y usos del suelo) en la cuenca del Zireg (Atlas Medio, Marruecos), basándose en un modelo que cuantifica la importancia de cada componente. Las características geomorfológicas de la cuenca del Zireg se distinguen por su relieve dinámico y su morfología irregular, marcada por fuertes pendientes formadas por materiales carbonatados y esquistosos, sensibles a los desprendimientos de rocas. Registra una morfogénesis activa amplificada por la agresividad del clima mediterráneo. Según el estudio descriptivo, hemos demostrado que un 4% del área total se encuentra marcada por grados de riesgo alto y muy alto, vinculado principalmente a la presencia de laderas de roca carbonatada, pendientes altas a muy altas y cobertura vegetal de densidad baja o media.

1. INTRODUCTION

Les chutes de pierres sont un type d'événement provoquant des pertes massives, où des blocs rocheux, isolés ou multiples, se détachent d'une pente, se déplacent vers le bas et finissent par s'immobiliser au pied de versant (Whalley, 1984; Cruden & Varnes, 1996). Un risque courant pouvant occasionner des menaces significatives pour les infrastructures et la sécurité publique. Ce genre de risque devient de plus en plus courant, puisque les populations se déplacent vers des régions à risques en quête d'autres opportunités (climat plus humide dans les régions montagneuses, attraits touristiques,...). Une compréhension approfondie des chutes de pierres pourrait réduire le risque qu'elles représentent en tant que phénomène naturel.

L'intensité des chutes de pierres peut fluctuer considérablement, certaines d'entre elles, dénommées avalanches de pierres, pouvant atteindre plusieurs centaines de milliers de mètres cubes (Paranunzio *et al.*, 2016). Alors que d'autres, situés à l'autre bout du spectre observable, pourraient avoir un diamètre ne dépassant même pas le centimètre, voire moins (Matsuoka, 2019). C'est le résultat de plusieurs processus conduits essentiellement par les conditions climatiques. Plusieurs études (Delonca *et al.*, 2014; D'Amato *et al.,* 2016; Matsuoka, 2019; Zielonka *et al.*, 2019; Bajni *et al.*, 2021; Birien & Gauthier, 2023) ont démontré que les facteurs climatiques tels que les précipitations et le cycle quotidien de gel-dégel peuvent provoquer ou entraîner des chutes de pierres.

L'analyse des chutes de blocs s'articule autour de diverses questions en fonction de la perspective et du but de l'étude, ce qui empêche de circonscrire le problème dans une seule recherche. Malgré les recherches existantes, les chutes de pierres demeurent un phénomène complexe à quantifier et à comprendre, en raison de la grande diversité des environnements dans lesquels elles peuvent se produire et des différents moyens

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.05

utilisés pour les identifier, les détecter et les quantifier (Malsam, 2024). De ce fait, les recherches privilégient la formulation de leurs problématiques en lien avec l'environnement analysé. Bien que de nombreuses études aient été menées sur les relations entre les chutes de pierres et les conditions météorologiques, il est important de poursuivre l'analyse de ces relations afin de comprendre à long terme les similitudes et les différences entre la façon dont elles se manifestent sous différents climats (côtier, haute montagne, aride, etc.) et pour différentes conditions géologiques et de pente (Malsam, 2024).

Les endroits où les ruptures peuvent se produire et la probabilité de rupture individuelle de chaque masse rocheuse potentiellement instable ne sont pas donnés par l'approche historique (Frayssines, 2006). Les conditions climatiques peuvent affaiblir les masses rocheuses, augmentant ainsi le risque de chutes de blocs plus graves, résultant de divers processus qui favorisent la fissuration des roches. Selon la localisation du site de recherche, les chercheurs sont amenés à focaliser leurs efforts sur la préparation des blocs sur place et également sur leur trajectoire post-genèse.

Les montagnes du Moyen Atlas au Maroc font partie des zones montagneuses exposées au danger de chute de blocs. Leur climat se distingue par des hivers froids et des étés secs, avec une grande variation thermique quotidienne. Ces conditions encouragent la fragmentation des roches. La présence de roches carbonatées, de pentes inclinées et de zones forestières d'une densité moyenne, encourage un mouvement dynamique des blocs rocheux sur les pentes, ces éléments viennent s'ajouter au mouvement tectonique du Moyen Atlas. Le moyen Atlas est le siège d'une activité tectonique, néotectonique et sismique importante (Michard, 1976; Ramdani *et al.*, 1980; Charrière, 1990; Hinaje *et al.*, 2001).

L'étude des chutes de blocs dans la chaîne du Moyen Atlas demeure indispensable en raison de leurs propriétés qui contribuent à l'initiation de ce phénomène. L'article suivant met l'accent sur la mise en valeur d'une approche nouvelle pour détecter le risque de chute des pierres et blocs potentiellement instables sur les versants du bassin versant Zireg qui représente un paysage du Moyen Atlas. Cela est accompli par une connaissance détaillée des conditions lithologiques qui participent à la formation des pierres et blocs, ainsi que les facteurs qui affectent leur descente ultérieure (inclinaison et occupation des sols) via l'usage du SIG.

Les Systèmes d'Information Géographique proposent une approche efficace pour l'analyse et le traitement des données géographiques spécifiques. La cartographie offre une représentation graphique des données spatiales, intégrant des instruments qui simplifient la modélisation et l'analyse des informations pour traiter le problème des chutes de blocs. L'usage de cartes thématiques conjointes pour l'étude de ce phénomène offre un avantage supplémentaire. Cette méthode constitue un progrès significatif dans le domaine des recherches en géomorphologie, mettant en évidence leur aptitude à examiner les liens entre les informations géographiques.

Cette recherche rehausse l'attractivité touristique des paysages alentours (Bab Boudir, Parc National de Tazzeka), protège les usagers des voies limitrophes et ouvre aussi la voie à une nouvelle méthode pour décrire les chutes de blocs d'autres chaînes montagneuses.

2. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Le bassin versant Zireg est situé sur la rive gauche du bassin versant Inaouène (figure 1), représente une partie des montagnes du Moyen Atlas. Il s'étend sur une superficie de 73,2km² entre les parallèles 34°2'46" et 34°10'19" de latitude Nord, ainsi que les méridiens 4°10'23" et 4°20'31" de longitude Est. Ce bassin versant est situé dans la province de Taza, intégrée à la région Fès-Meknès. On le trouve sur les communes Bouchfaa, Ghiyata Al- Gharbia et Bou-Hellou. Il présente une petite extension vers le nord.

Le bassin versant Zireg présente une combinaison de divers paysages morphologiques manifestés dans les montagnes, les collines et les dépressions. Les altitudes les plus élevées du bassin se trouvent au sud, franchissant les limites de 1900 m, en particulier au sommet de Tazekka (1980 m). En revanche, les lieux les plus basses sont localisés dans la plaine alluviale de l'Ouèd Inaouène, où on constate que l'altitude peut descendre en dessous de 300 m.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.05

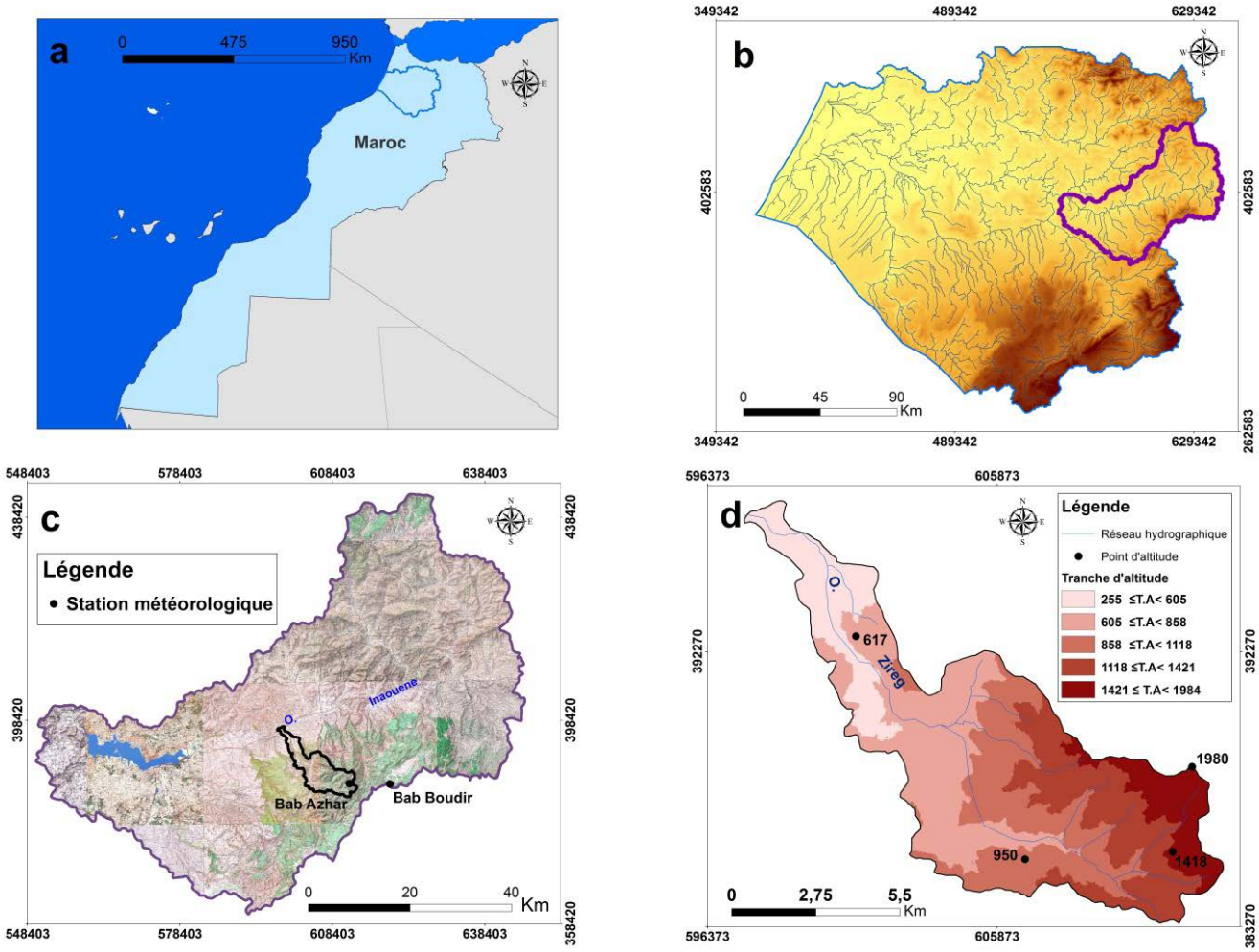


Figure 1. Situation géographique du bassin versant Zireg. Source: élaboration personnelle basée sur le Modèle numérique d'élévation, 30m). a: Bassin versant Sebou par rapport au Maroc, b: situation du bassin versant Inaouène, c: Localisation du bassin versant Zireg, d: Carte hypsométrique du BV Zireg.

Ce bassin versant se distingue par la présence de roches de nature sédimentaire, métamorphique et volcanique. Des recherches géologiques et hydrostratigraphies ont révélé une diversité lithologique au sein des formations enfouies et en surface, composées respectivement de schistes du Paléozoïque et de formations argileuses du Trias à faible perméabilité. Ces dernières sont superposées ou juxtaposées par des formations carbonatées liasiques perméables (Colo, 1961; Mathieu, 1964; Benshili, 1989; Laville *et al.*, 1989; Sabaoui, 1998).

Une diversité végétale significative caractérise le bassin versant Zireg, cette variété est particulièrement marquée dans les sommets du Moyen Atlas septentrional au sud (partie supérieur du bassin versant). Dans cette zone, la végétation est principalement dominée par le chêne vert et le chêne-liège. Outre ces deux sortes de formations, le paysage abrite des zones présentant une végétation mixte, incluant une diversité de plantes, des forêts artificielles à feuilles caduques et conifères, du chêne, le cèdre du mont Tazekka, du thuya et du pin.

L'analyse d'image satellite Landsat 8 du 15 juin 2019 a mis en évidence une variation inégale de la densité de la couverture végétale dans ce bassin (figure 2). Près de 52 % de la zone présente une densité végétale allant de 50 à 75 %, englobant une superficie approximative de 38 km², en parallèle, 10 % de la zone montre une densité variant entre 75 % et 100 %, englobant une surface approximative de 7,3 km². Le taux de couverture forestière est un élément qui affecte la stabilité des masses rocheuses sur une pente à travers différents processus clés. Un de ses éléments essentiels est la fragmentation in situ de la roche et l'immobilisation des blocs, ou la végétation diminue la vitesse de propagation.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.05

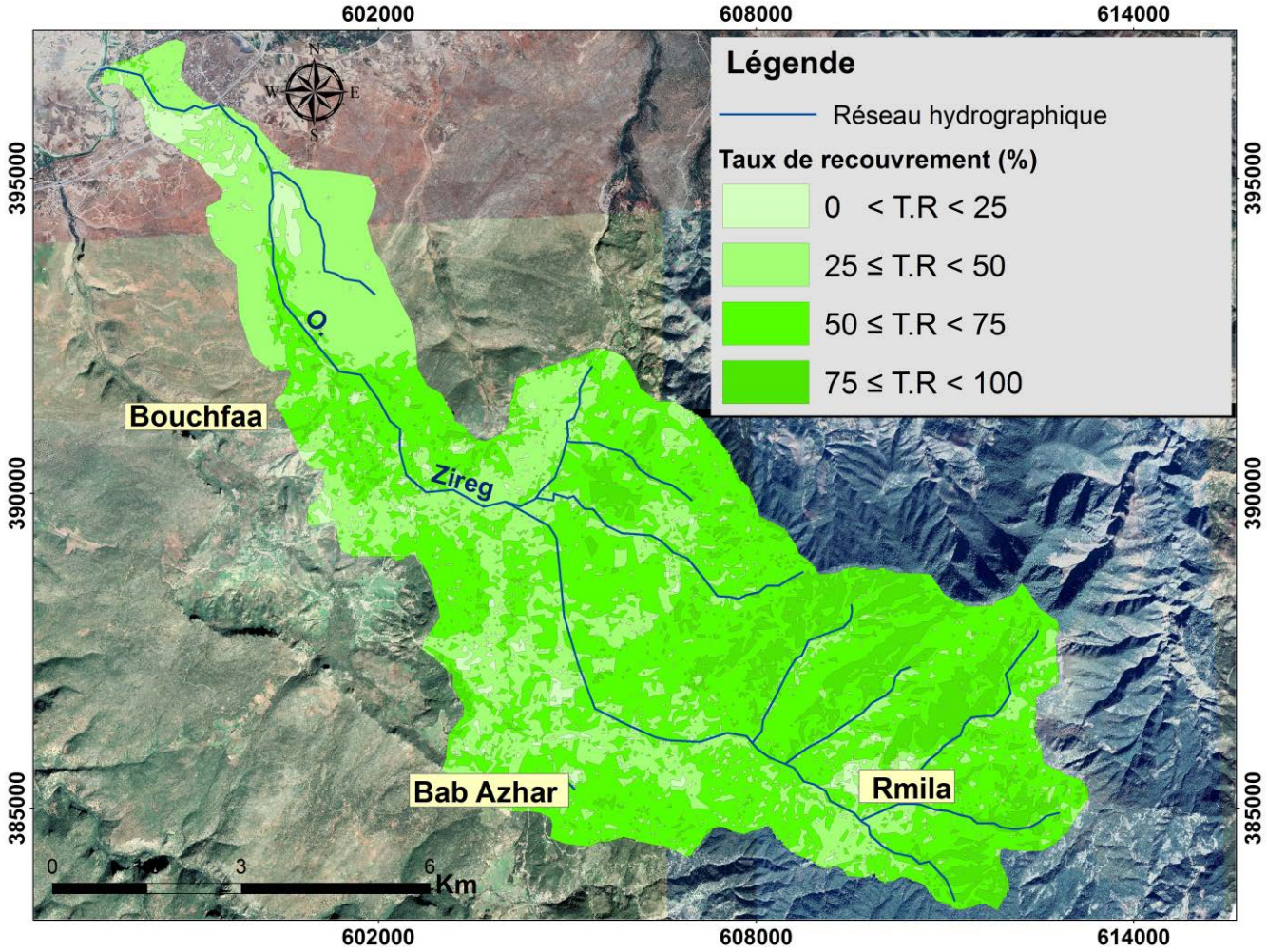


Figure 2. Carte du taux de recouvrement végétale du bassin versant Zireg. Source: travail personnel basé sur Image Landsat 8, 15 juin 2019, 30m.

Les régimes pluviométriques sont un facteur indéniable dans l'occurrence des mouvements de terrain. La vitesse de propagation des processus de fragmentation des roches est accélérée ou ralentie par la teneur en eau des roches. En ce qui concerne les précipitations, les stations de Bab Azhar et Bab Boudir (figure 1c) enregistrent les plus importantes précipitations annuelles dans le bassin versant Inaouène (Benaissa, 2024). La station de Bab Boudir reçoit plus de 1000 mm tandis que la station de Bab Azhar accueille plus de 750 mm pendant les années pluvieuses (Naoura, 2012).

Concernant la température pour la station de Bab Boudir, les mois de décembre, janvier, février et mars sont les plus froids, avec une moyenne minimale enregistrée en janvier (-2°C). Les mois de juin, juillet, août et septembre définissent la période estivale, avec une température maximale moyenne enregistrée en août (38°C) (Benaissa, 2024). Cela met en évidence la pertinence des processus d'hydroclastie et de cryoclastie (fragmentation des roches). La fréquence des instabilités rocheuses mineures augmente significativement en raison des cycles de gel-dégel hivernaux et des précipitations modérées (Losasso *et al.*, 2018).

L'activité agricole dans le bassin versant Zireg est limitée en raison d'un manque de terrain plat, sauf dans certaines dépressions ou sur des pentes faibles (photos 1 et 2). Au cours des dernières années, la succession d'années sèches incite les jeunes de la communauté locale à émigrer vers d'autres centres urbains pour assurer leur stabilité financière et établir un environnement propice à l'éducation des enfants. Cette situation est due à un manque d'infrastructures adéquates pour le transport entre la zone de recherche et le centre urbain voisin (Oued Amlil), même si la distance n'excède pas 20 kilomètres. Cela conduit à une densité de population réduite dans le bassin versant.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.05





Photos 1 et 2. La disposition des pentes du bassin versant Zireg est caractérisée par des surfaces inclinées qui entravent l'expansion agricole, malgré l'existence de conditions climatiques propices. Source: cliché, Benaissa, 03/2019.

3. MATERIELS ET METHODES

L'étude des mouvements de terrain de la classe chute de blocs et écroulement dans les versants du bassin versant atlasique Zireg, vise à donner des résultats descriptifs sur le degré de risque à partir d'une méthodologie bien définie, rassemble entre les principaux facteurs de genèse et les conditions de propagation.

3.1. Methodologie

Les chutes de pierres en haute montagne sont plus fréquentes et plus détaillées depuis quelques décennies (Gruber *et al.*, 2004; Gruber *et al.*, 2007; Ravanel *et al.*, 2017). Les observations de terrain avant et après l'élaboration d'une méthodologie de travail reste une nécessité importante pour la détermination des facteurs responsables, les processus qui contrôlent la genèse et la propagation de blocs.

L'approche adoptée se fonde sur un diagnostic géomorphologique du bassin versant Zireg, durant lequel nous avons repéré les facteurs déclencheurs des chutes de blocs en nous basant sur la définition de Flageolet (Flagiollet, 1989). Les processus de thermoclastie, hydroclastie et cryoclastie sont marqués par les conditions climatiques qui facilitent la dégradation des roches (calcaire). En l'absence d'obstacles et sur une pente prononcée, les pierres et les blocs se dirigent vers le bas.

La méthode associe les trois éléments qui contrôlent la fabrication et le déplacement des blocs (pente, lithologie et occupation des sols), à travers une modélisation qui respecte l'importance de chaque facteur, les données ont été reportées sur un document graphique : cartes de synthèses. La carte a été ensuite présentée selon le mode cartographique : carte des degrés du risque lié à la classe de chute de blocs et écroulement.

3.1.1. Typologie des mouvements de terrain selon la classification de Flageollet (1989)

Depuis l'étude de Collin en 1846, qui a établi le volume déplacé comme critère de classification, l'identification et la caractérisation des mouvements de terrain demeurent une problématique essentielle pour un grand nombre de chercheurs. Les premières classifications étaient simple, parce qu'elles s'appuyaient sur des observations et des cas encore peu nombreux (Flageollet, 1989).

Les études antérieures catégorisent les mouvements de terrain selon différents facteurs tels que la nature du matériau, l'état de la pente, l'emplacement géographique et géologique, les propriétés géotechniques,

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.05

etc., cela s'inspire des recherches d'experts renommés comme (Heim, 1882; Penck, 1894; Reynolds, 1932; Bendel, 1948; Rapp, 1960; Millies-Lacroix, 1981). D'autres chercheurs (Molitor, 1894; Ward, 1945; Brundsen, 1979) ont employé l'idée de mouvement, la nature et la vitesse du déplacement, moyen de transport) comme critère de classement.

Les mouvements de terrain présentent une diversité de processus qui façonnent le relief selon des mécanismes physiques (pente, lithologie) et anthropiques (activités agricoles et système d'occupation du sol). C'est pour cette raison que nous optons pour la classification de Flagiollet (Flagiollet, 1989), qui se focalise uniquement sur les processus géomorphologiques liés aux mouvements de terrain susceptibles d'engendrer des préjudices et des dommages concrets (tableau 1).

Tableau 1. Typologie des mouvements de terrain selon la classification de Flageolet, 1989, approche géomorphologique.

Classes	Conditions de genèse	Processus
Reptation	Sols et roches meuble homogènes	Gravité – Fauchage
Glissement	Roche homogène - Pendage incliné - végétation moyenne à dense	Rotation – Translation
Glissement écoulement	Matériaux fins / semi fluide - Pente faible à moyenne	superposition Glissement/ Ecoulement
Écoulement	Matériaux mélangés - pente moyenne à forte - quantité d'eau suffisante	Mobilisation des débris en masse
Chute de blocs et de pierres et écroulement rocheux	Assise argileuse marneuse - Berge alluviale	Basculement et pivotement - Elargissement des fissures
Éboulement catastrophique	Précipitation intense - Pente faible	Eboulement d'une masse (collectif)
Tassement	Matière organique - Pente faible	Abaissement du niveau
Gonflement Rétraction	Changement d'humidité - Présence d'argile - Pente faible	Modification de la teneur en eau dans le sol
Affaissement Effondrement	Terrain compressible - Roche réservoir - Pente faible	Évolution du degré de vide souterrains

Source: élaboration personnelle selon la classification de Flageollet, 1989.

3.1.2. Consignes de l'approche utilisée

Sur la base de la classification des mouvements de terrain d'après Flageollet, nous avons ajusté une modélisation géomorphologique pour qu'elle corresponde aux processus de déclenchement et de déplacement lié à la classe chute de bloc, de pierres et écroulements rocheux (tableau 2). Ceci a été réalisé grâce à l'élaboration d'une méthode reposant sur le concept de la cartographie numérique, basée sur la simulation des facteurs responsables.

Ce modèle est réalisé pour son adaptation avec les conditions causales de mouvements de terrain de la classe chute de blocs et écroulement dans le climat méditerranéen en général et particulièrement dans le bassin d'Inaouène. Des résultats préliminaires ont déjà permis de superposer et d'analyser plusieurs facteurs, tel que la pente, la dureté des matériaux (fragmentabilité et dégradabilité des roches) et le type d'occupation du sol.

Pour établir une carte des zones potentiellement affectées par la classe CE (chute de blocs et écroulement), nous avons réalisé une cartographie distincte afin d'obtenir les différentes cartes thématiques du risque, incluant la carte des classes de pente, la carte lithologique ainsi que la carte d'occupation des sols. L'empilement de ces cartes met en évidence les liens entre les divers indices d'instabilité.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.05

Tableau 2. Instructions de l'approche adoptée.

Classe (classification de Flagiolet)	Facteurs déterminants	Facteurs mineurs	Facteurs non mesurables (Longue période)	Groupe (Abréviation)
Chute de pierres et de blocs et écroulement rocheux	– Lithologie – Pente – Occupation du sol	– Activité agricole – Feu de forêt – Maladies des plantes	– Humidification-Sécheresse – Précipitation – Système racinaire	CE

Source: Thèse Benaissa, 2024.

3.1.3. Cartographie des degrés de risque liés à la classe chute de blocs et écroulement (CE)

A l'issue de cette méthodologie, nous aborderons les cartes de différents facteurs qui donnent des indications sur les conditions de stabilité du bassin versant Zireg et de dégager le degré de risque pour la classe chute de blocs et écroulement.

Carte des pentes (IP)

La pente reste un facteur fort dans tous les mouvements de terrain mais de manière variable, la pente élevée est de fort degré quand le risque d'instabilité de terrain est lié à la gravité. On a donc répartie la surface de la zone d'étude en quatre classes de pentes en fonction de sa raideur et de donné à ces différentes classes un indice de risque (IP), qui varie de 1 pour les pentes douces à 4 pour les pentes abruptes.

- IP = 1 si la pente du versant appartient à l'intervalle : 0 < 5%
- IP = 2 si la pente du versant appartient à l'intervalle : 5 < 15%
- IP = 3 si la pente du versant appartient à l'intervalle : 15 < 25%
- IP = 4 si la pente du versant est : ≥ à 25%

Carte lithologique (IL)

La lithologie dans le bassin versant étudié est très diversifiée. Les différents affleurements rocheux montrent des degrés de dureté variables allants de la roche fragile comme l'argile à la roche dure et cohérente comme le basalte.

La carte de simulation du risque liée à la lithologie exprime le degré de risque en fonction de la friabilité du substrat contre la classe chute de blocs et écroulement. Les affleurements très fragiles présentent le minimum de risque d'instabilité de terrain. En fonction de ce paramètre nous avons réparti les affleurements rocheux en cinq grands ensembles de roches:

- IL = 1 pour les roches très fragiles
- IL = 2 pour les roches fragiles
- IL = 3 pour les roches moyennement fragiles
- IL = 4 pour les roches moyennement dures
- IL = 5 pour les roches dures / carbonatées

Carte d'occupation des sols (IO)

La carte d'occupation des sols représente l'ensemble d'informations qu'on peut extraire par l'analyse d'une image satellitaire récente de forte résolution qui doivent être complétées par le travail de terrain. Il s'agit de différents types qui caractérisent la zone d'étude (culture sèche, terrain inculte, forêt dense, forêt moyennement dense, ...).

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.05

L'occupation des sols reste un facteur majeur pour le déclenchement des mouvements de terrain de la classe CE (chutes de blocs et écroulement), Elle assure la stabilité de la couche supérieure et freine la descente des pierres et blocs le long du versant. La distribution des indices (IO) est la suivante :

- IO = 1 pour les forêts denses
- IO = 2 pour les forêts de faible densité
- IO = 3 pour les matorrals
- IO = 4 pour les cultures sèches (Céréales)
- IO = 5 pour les terrains incultes

Élaboration de la carte du risque

La carte du risque est une synthèse graphique qui fusionne les niveaux des facteurs déterminants (pente, lithologie et utilisation des sols), réalisée à l'aide du logiciel ArcGIS. Afin de simplifier la lecture de la carte de sommation des indices du risque, nous avons regroupé les valeurs de l'indice global (IG) en quatre grandes classes, nous avons, ainsi, ramené les résultats de probabilité à quatre niveaux du risque croissant selon ce tableau (tableau 3).

Tableau 3. La signification des résultats de l'approche adoptée.

Classe	Indice Globale (IG)	Signification des résultats (Degré de risque)
Chute de pierres et de blocs et écroulement rocheux (CE)	[01 - 20[	Faible
	[20 - 60[	Moyen
	[60 - 80[	Fort
	[80 - 100]	Très fort

Source: Thèse Benaissa, 2024.

Il est important de souligner que le niveau moyen de risque comprend deux niveaux (20-60), ce qui constitue une étape intermédiaire et cruciale. La modification négative d'un facteur d'instabilité favorise la prolongation du niveau de risque vers l'étape dangereuse. Pour faciliter la lecture et l'utilisation de la carte, nous avons utilisé une carte codée en couleurs standard pour représenter le risque, conformément au plan sémiologique. Le rouge clair indique un niveau de risque faible, tandis que le rouge intense traduit un niveau de risque élevé.

La carte des degrés du risque potentiel lié **à la classe chute de blocs et écroulement (CE)** représente une carte de synthèse finale, elle est dérivée de la conversion des valeurs de l'indice global du risque en quatre degrés du risque :

- Classe 1 : Les zones qui présentent une stabilité de terrains plus ou moins acceptable (sans danger sur les habitants et leurs biens).
- Classe 2 : Les surfaces de situation moyennement dangereuse, mais il peut être de degré fort avec l'évolution d'un ou plus de facteurs majeurs.
- Classe 3 : Les versants sont sensibles à cette classe de mouvements de terrain (danger moyen sur les habitants et sur leurs biens).
- Classe 4 : Les versants gravement affectées par ce type de mouvements de terrain, représentent un véritable danger pour les habitants et leurs biens.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.05

4. RESULTATS

L'étude qualitative des mouvements de terrain de la classe chute de blocs et écroulement (CE) dans le bassin versant Zireg commence par la réalisation des cartes analytiques selon les démarches de la méthode utilisée.

4.1. L'établissement des cartes analytiques

Le bassin versant Zireg possède des traits morphologiques favorisent la propagation des chutes de pierres et de blocs, où se concentrent les conditions favorables (facteurs déclencheurs).

La carte de pentes

Les chutes de pierres se produisent sur des pentes rocheuses presque verticales (Chen *et al.*, 2009). Selon les directives de la méthode appliquée, la représentation des pentes indique que celles-ci sont considérablement fortes dans la majeure partie du bassin versant, et plus précisément au niveau de sa section supérieure (figure 3).

Le mouvement des blocs est accéléré par la pente d'un versant, conformément au principe de la gravité. En raison de la fragmentation locale de la roche, sa chute est maîtrisée selon l'inclinaison du talus et le volume qui a été déplacé. L'inclinaison a aussi un impact sur le rythme des ruisseaux sur le versant. Effectivement, une pente plus raide entraîne une durée de concentration des eaux plus courte sur les fissures, ce qui fait que le processus d'hydroclastie gagne en importance.

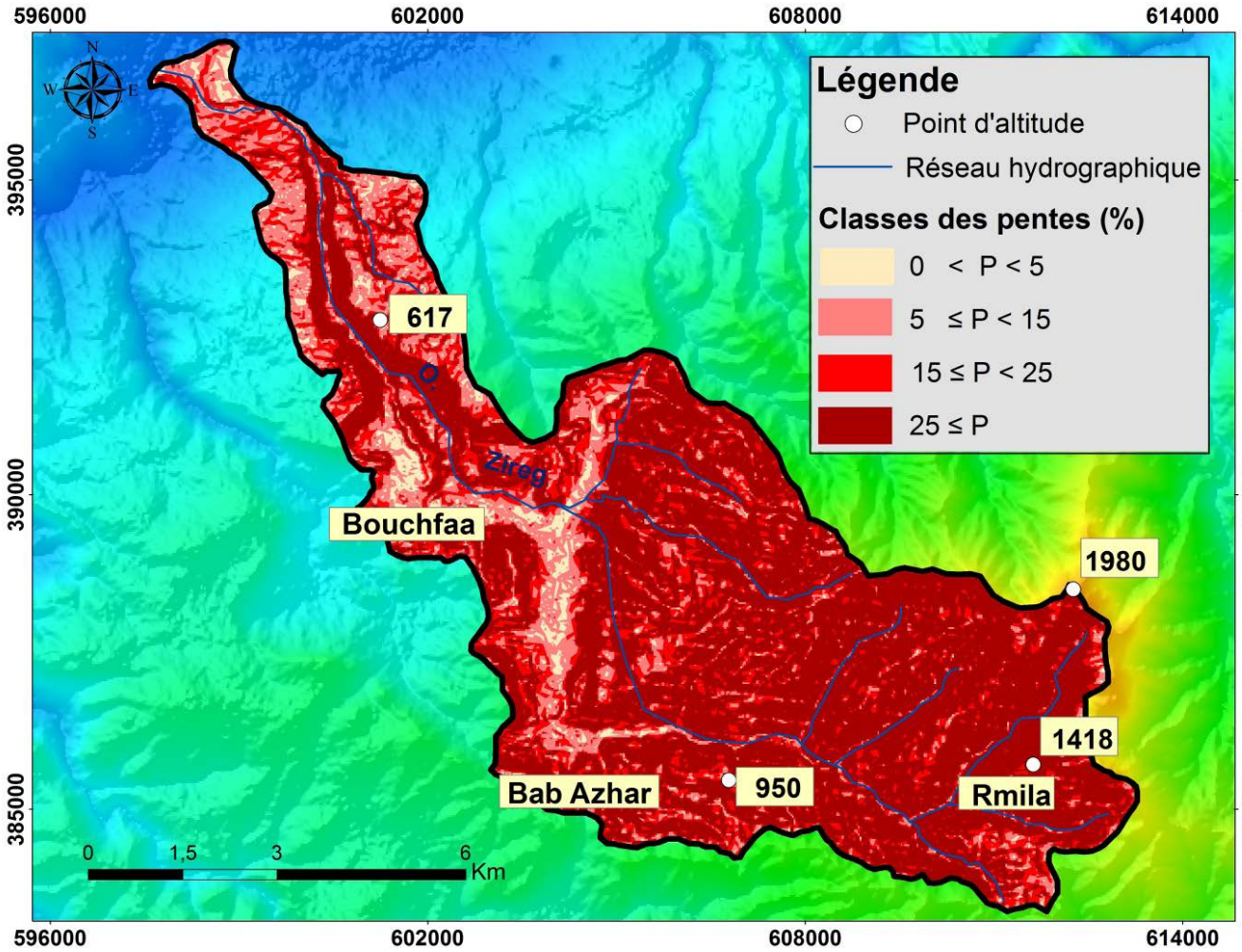


Figure 3. Carte des classes de pente du bassin versant Zireg. Source: élaboration personnelle basée sur le Modèle numérique d'élévation: MNE, 30m.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.05

La répartition des classes de pentes selon les directives de la méthode utilisée dans le bassin versant Zireg montre que les pentes sont réparties d'une façon très irrégulière, 62% de la surface totale est de degré plus de 25 %, par contre les pentes faibles (inf. à 5 %) représentent seulement 4 % de la surface totale.

La carte de lithologie

La lithologie est fréquemment utilisée dans les études sur la vulnérabilité aux chutes de blocs. De nombreux auteurs travaillant dans divers milieux géologiques la considèrent comme le facteur de conditionnement le plus influent (Bounab *et al.*, 2022; Jing, 2003; Shirzadi *et al.*, 2012; Losasso *et al.*, 2018; Mokhtari *et al.*, 2020). Le bassin versant Zireg se caractérise par une lithologie comportant diverse types de roches (figure 4), les roches métamorphiques (Schiste), les roches sédimentaires (Calcaire) et les roches volcaniques (Basalte). Présentant des caractéristiques distinctes liées au processus de fragmentation.

Au niveau du type de matériel et des caractéristiques minérales, le bassin versant Zireg présente une variété lithologique. On a distingué quatre ensembles en fonction de leur sensibilité à la chute de blocs et à l'écroulement (tableau 4).

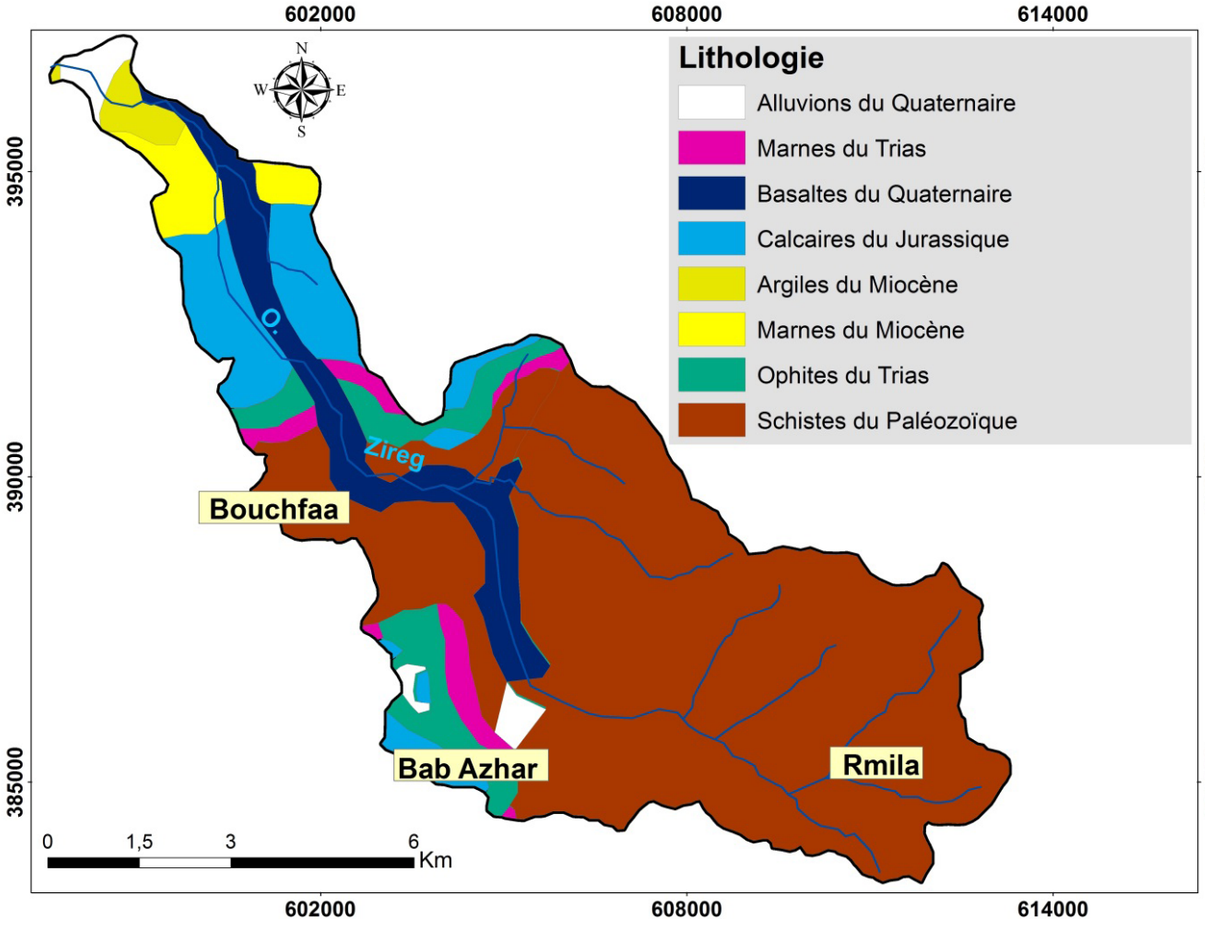


Figure 4. Carte lithologique du bassin versant Zireg. Source: travail personnel basé sur la carte géologique de la chaîne Rifaine (1/500000) et l'outil SIG.

Tableau 4. Distribution de la résistance des matériaux contre aux processus de chute de blocs dans le bassin versant Zireg, conformément aux instructions de la méthode utilisée.

Type de matériel	classe lithologique	superficie en km²	superficie en %
Calcaire	5	6.6	9
Galets - Roche volcanique très altéré - Schiste	4	53.4	72.7
Marnes – Argiles	1	4.5	6.1
Basaltes	5	7.4	10
Alluvion Quaternaire	3	1.6	2.2

Source: notre élaboration.

© Editorial Universidad de Sevilla 2024 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.05

Les roches schisteuses (photo 3), grâce à leur aspect feuilleté découpées en plaques (schistosité), le plan de schistosité est perpendiculaire à l'axe d'aplatissement (la stratification). Les schistes sont plus ou moins clivables et très sensibles à la désagrégation physique par le gel, les dilatations différentielles, la pénétration des racines. Les roches basaltiques (photo 4) montrent une résistance considérable (tableau 5), et elles ne sont pas sujettes au risque des chutes de blocs, car elles se trouvent uniquement dans le chenal de l'Ouèd Zireg. Le calcaire, qui se situe au centre de la zone d'étude, est une roche de dureté intermédiaire. Toutefois, il est le plus analysé en raison du risque évalué, à cause des volumes considérables susceptibles de se décomposer.

D'après les caractéristiques géographiques, indiquées précédemment, cette région connaît des précipitations plus abondantes et des températures plus froides pendant l'hiver, tandis que l'été, elle est marquée par une chaleur intense. Ce sont des conditions favorisantes à l'initiation de processus qui menaçant la fragmentation de la roche (calcaire et schiste) sur site.





Photo 3. Les roches schisteuses, caractérisées par la présence de plans de schistosité, favorisent leur fragmentation.
Photo 4. La présence de Basalte le long du chenal de l'Ouèd Zireg. Source: cliché, Benaissa, 03/2021.

Tableau 5. Résultats des essais de laboratoire sur la dureté des roches les plus représentées dans le bassin versant de Zireg.

Type de roche	Essais de dureté		Dureté
	MDE (%)	LA (%)	
Roche volcanique (Basalte)	07	10	Forte
Calcaire	12	17	Moyenne
Schiste	–	Plus de 30	Faible

Source: notre élaboration.
MDE: Essai micro – Deval a pour but la détermination de la résistance à l'usure par le frottement réciproque des éléments d'un granulat. La norme européenne EN 1097-1 permet de déterminer le coefficient de micro-Deval.
LA: Essai Los Angeles permet de mesurer les résistances combinées aux chocs et à la détérioration progressive par frottement réciproques des éléments d›un granulat.

La carte d'occupation des sols

Concernant la situation géographique du bassin versant Zireg, caractérisée par des altitudes élevées (au-dessus de 1500 m), un climat marqué par des précipitations importantes et une morphologie définie par des pentes élevées à très élevées, contribuent à établir une apparence forestière clairement visible dans ce paysage (figure 5).

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.05

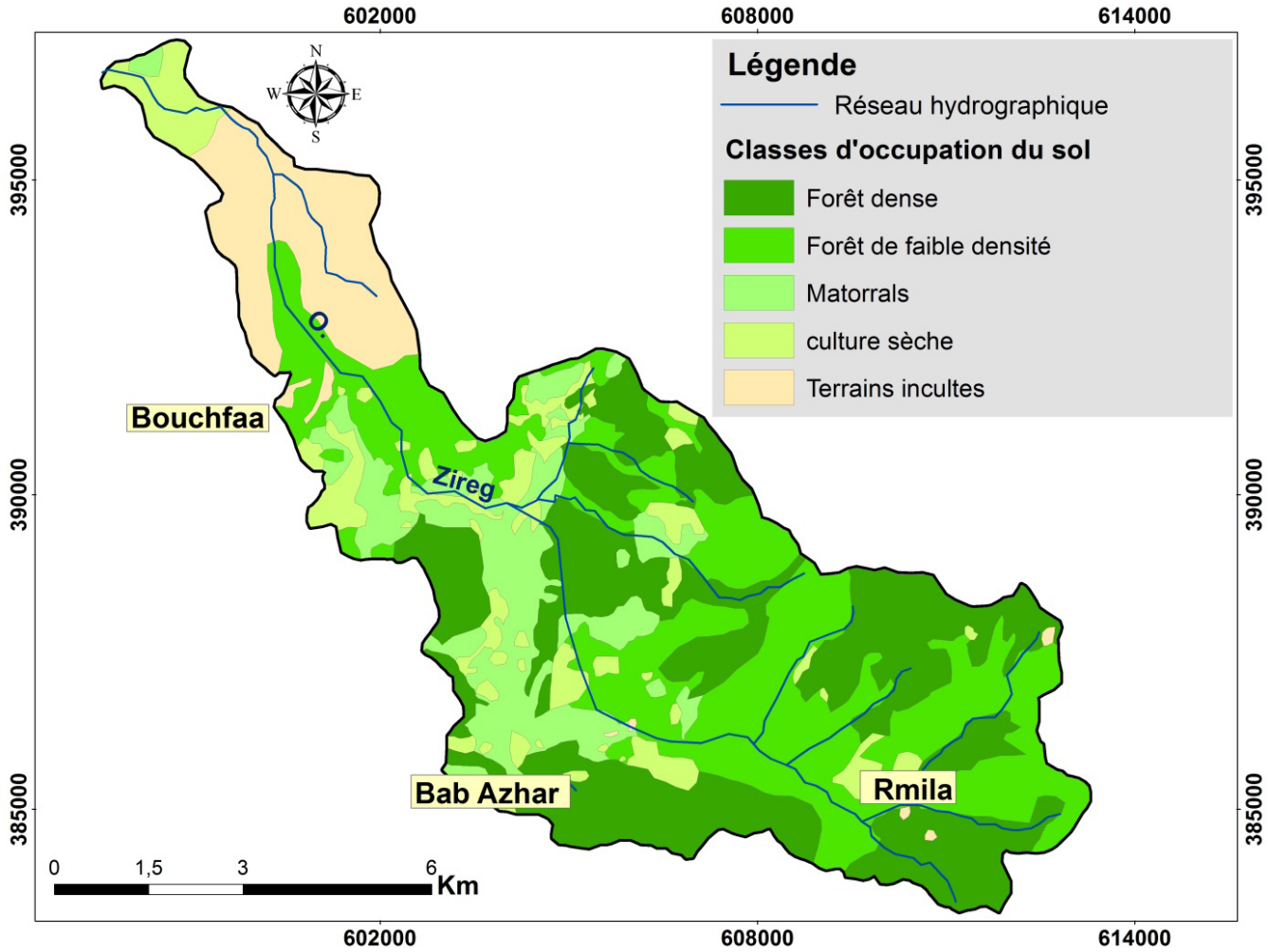


Figure 5. Carte d'occupation des sols du bassin versant Zireg**.** Source: travail personnel basé sur image Landsat 8, 15 juin 2019, 30 m et l'outil SIG.

L'étude de la carte d'occupation des sols révèle que la forêt (forêt dense et forêt de faible densité) s'étend sur 66 % de la superficie total, distribuée entre les zones amont et médiane du bassin versant. Les matorrals représente 13 %, occupe des zones au sein de la forêt et dans la section médiane.

Le bassin versant Zireg subit une adaptation significative face à la faible pluviométrie annuelle (année sèche). L'année 2021/2022, qui est considérée comme une année sèche, a cependant été marquée par une productivité agricole accrue dans certaines dépressions du bassin versant. En effet, la baisse de température et le taux d'humidité durant la saison hivernale ont un impact crucial sur la saturation de la couche superficielle (sol).

La forêt dense qui se localise dans la partie amont, protège les versants contre le déclenchement des chutes de blocs. La présence d'autres versants de couverture végétale faible au sommet (forêt de faible densité, matorral), peut augmenter le niveau de risque.

4.2. La modélisation de la classe chute de blocs par l'approche utilisée

La modélisation des mouvements de chute de blocs par l'approche utilisée dans le bassin versant Zireg vise à décrire les degrés de risque (figure 6) à partir de la superposition des cartes thématiques (lithologie, pente et occupation des sols). Nous avons codé la réponse de chaque catégorie de roche face aux processus d'altération, l'effet de l'inclinaison sur le déplacement des roches, puis, l'état de la surface en relation avec la couverture végétale qui favorise la stabilité des blocs ou facilite leur descente en cas de couverture insuffisante.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.05

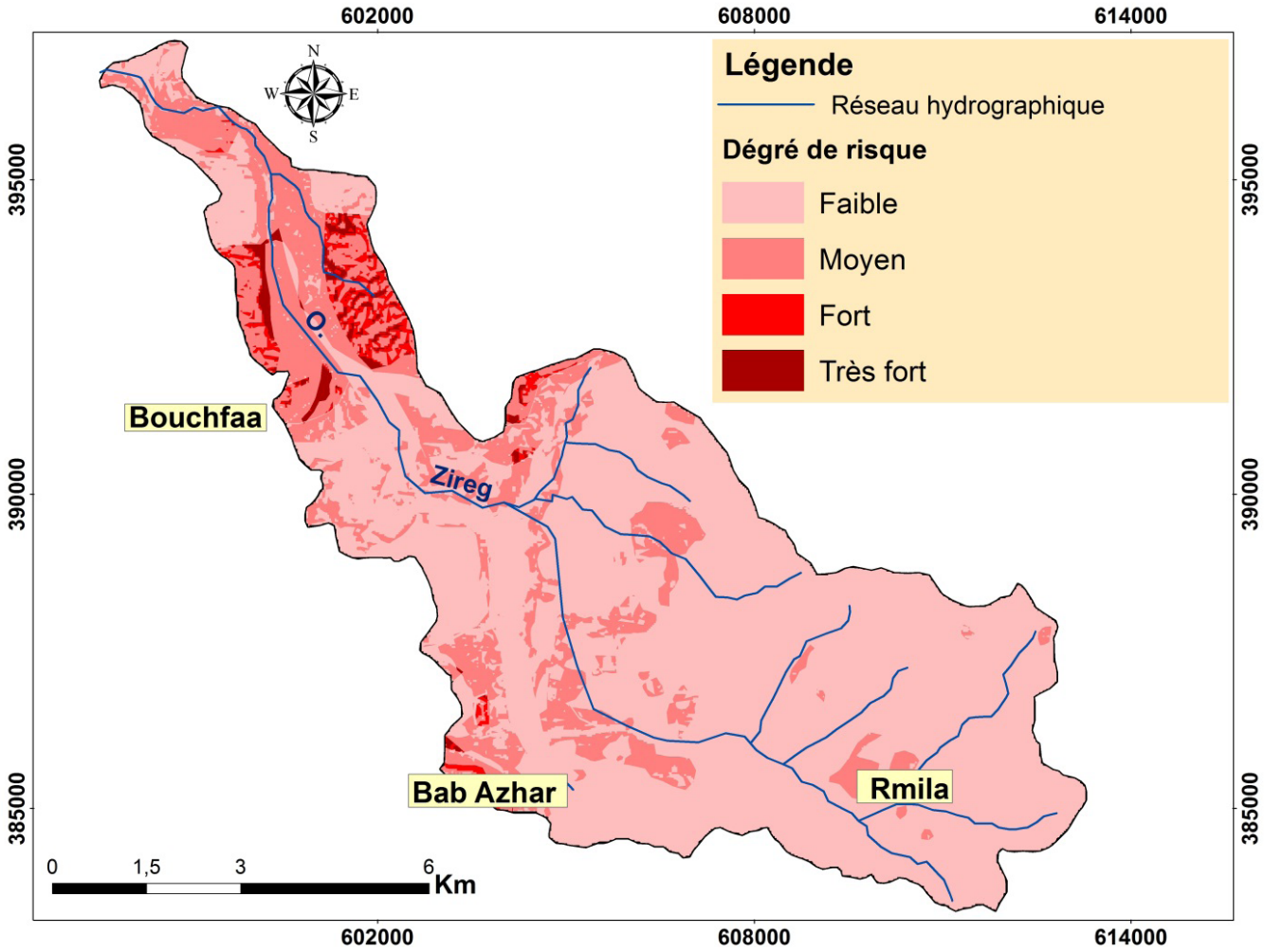


Figure 6. Carte du risque associée à la classe chute de blocs dans le bassin versant Zireg**.** Source: travail personnel basé sur les directives de l'approche adoptée.

La forêt dense qui recouvre la quasi-totalité de la partie supérieure protège les versants contre les processus de fragmentation des roches, ce qui explique la rareté des incidents de chutes de pierres, c'est pourquoi nous constatons que les niveaux de risque faible et moyen occupent une vaste étendue. Dans le reste de la zone d'étude, on observe une forte corrélation entre les facteurs examinés, ce qui justifie la présence de niveaux de risques élevés et très élevés.

Dans le bassin versant Zireg, la modélisation du risque de chute de blocs démontre une corrélation proportionnelle avec les variables analysées. Cela signifie que les chutes de pierres et blocs sont géomorphologiquement liées aux pentes élevées et aux roches carbonatées en l'absence d'une couverture forestière dense. Le risque peut se présenter sur des pentes de niveau modéré, dans des régions forestières clairsemées et constituées de roches sujettes à la fragmentation (calcaire).

5. DISCUSSION

La partie supérieure du bassin versant est constituée de roches schisteuses, qui ont une dureté moyenne et se dégradent sous l'effet des éléments climatiques. Cependant, elles présentent la caractéristique de schistosité, ce qui entraîne des volumes produits très minimes. Il convient d'ajouter que la forêt dense et de densité moyenne dans cette portion protège la couche superficielle des processus d'érosion hydrique. Le phénomène de thermoclastie y est également faible en raison du microclimat particulier à l'intérieur

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.05

de la forêt. Ces conditions contribuent aussi à la pédogenèse. C'est pourquoi nous notons que cette partie présente un degré de risque faible.

Les calcaires sont modérément altérés, mais présentent par endroits une forte altération et une érosion karstique, principalement le long des discontinuités tectoniques (Asteriou *et al.*, 2025). Le processus de formation des blocs de roches carbonatées débute par une altération complexe de la roche sur son emplacement d'origine. Dans les environnements arides et semi-arides, des températures positives très élevées (jusqu'à 40°C) pourraient conduire à l'exfoliation et à la fracturation des masses rocheuses par le biais de cycles de stress thermique (Vargas *et al.*, 2013; Collins *et al.*, 2016).

D'après (Lamouroux, 1967), les roches carbonatées présentent trois types d'altération : l'altération de surface (mécaniques, chimiques et biologiques), l'altération pédologique (se produit à l'intérieur ou au contact du sol) et l'altération souterraine. L'analyse géomorphologique du bassin versant Zireg concernant l'érosion hydrique (altération de surface) révèle que 56 % de la superficie totale est caractérisé par des degrés d'états érosifs élevé et très élevé (Benaissa, 2024). Cela est dû à la présence d'une protection antiérosive faible et très faible, en particulier dans la section centrale du bassin versant. Ces conditions favorisent la propagation des roches. L'eau qui pénètre dans la roche peut geler et se dilater, élargissent ainsi les fissures naturelles sur la surface de rupture. La chute de blocs pourrait avoir été déclenchée par les secousses d'un tremblement de terre.

L'analyse des chutes de pierres a inclus la végétation, on a considéré que la densité d'arbres le long du trajet de chute a eu un effet notable. Dans les domaines de calcaire, le processus karstique entraîne la dissolution de la roche le long des niveaux, ce qui cause l'élimination effective du ciment naturel qui assure la cohésion de la masse rocheuse. Dans cette situation, étant donné que la végétation est formée de buissons de petite taille et que le bloc qui s'est détaché est assez volumineux, l'impact sur la dissipation d'énergie liée à la végétation reste modeste, d'après les observations de Moos *et al.* (2017). La végétation a un impact sur les caractéristiques de surface le long du trajet de l'éboulement, que ce soit en termes de roulis ou de rebond, et sa présence amplifie la dissipation d'énergie (Dorren *et al.*, 2006) tout au long du parcours de l'éboulement.

Les chutes de blocs représentent un défi considérable pour les agriculteurs sur les terres en jachère et également sur les voies montagneuses. Ils exposent les usagers ainsi que le personnel à des dangers qui ne cessent de croître avec l'augmentation du trafic (route touristique de Zireg reliant Ouèd Amlil et Bab Boudir) d'une part, et par l'autre côté, par les travaux d'élargissement (figure 7).

Un autre élément qui favorise l'initiation des processus de chute de blocs est les incendies de forêt. Ils affectent la forêt de Bab Azhar (Province de Taza), qui s'étend sur une grande surface dans le bassin versant Zireg. Selon (Hanchane *et al.*, 2012), les régions forestières de la Province de Taza font partie des régions marocaines qui affichent un niveau de risque élevé de feu de forêts (Zitane, 1986). A ce titre, on signale l'incendie de forêts catastrophique de l'année 2000, à l'extrême sud-est de la Province, qui a ravagé, en 4 jours consécutifs, plus de 2270 ha de forêts de chêne vert et de steppe d'Alfa (Hanchane, 2007).

Dans le cadre d'une analyse comparative, le bassin versant Zireg présente les taux de susceptibilité au risque de chute de blocs et écroulement les plus importants que ceux observés dans des autres sous-bassins versant d'Inaouène (tableau 6). L'emplacement du bassin versant Zireg intègre les éléments analysés dans la formation de ce genre de risque, illustrés par les pentes abruptes, la lithologie carbonatée et les conditions climatiques propices à la fabrication des blocs (précipitation et température).

La réduction du taux de couverture arborée sur les pentes favorise l'intensification des effets d'érosion hydrique, ce qui entraîne la dispersion de volumes rocheux importants à la surface.

Les pierres ou rochers fournissent un abri considérable pour la croissance des jeunes plants (Irifi, 2024). Parallèlement, les recherches sur les interactions entre la forêt et les chutes de pierres ont tendance à évoluer vers l'analyse des forêts de montagne comme moyen de protection contre les chutes de pierres (Bebi *et al.*, 2001 ; Berger *et al.*, 2002). Hétu *et al.*, (2000) ont indiqué que la couverture forestière offrirait une protection efficace dans le cas d'événements de chutes de pierres de faible ampleur et de haute fréquence, mais ne pourrait pas empêcher les effets dévastateurs des événements de forte ampleur. Il convient de noter que le renouvellement d'une couverture arbustive peut entraîner une déstabilisation des matériaux rocheux dans le cadre du développement de systèmes radiculaires dans les fissures.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.05

Il est évident qu'une attention particulière doit être accordée aux versants identifiés comme à risque élevé et très élevé, en élargissant la voie et en débutant la plantation des arbres depuis la base jusqu'au sommet du versant. L'objectif est de diminuer l'inclinaison à partir de surfaces planes dotées d'une forte concentration d'arbres afin de réduire l'énergie des blocs lors d'une chute.

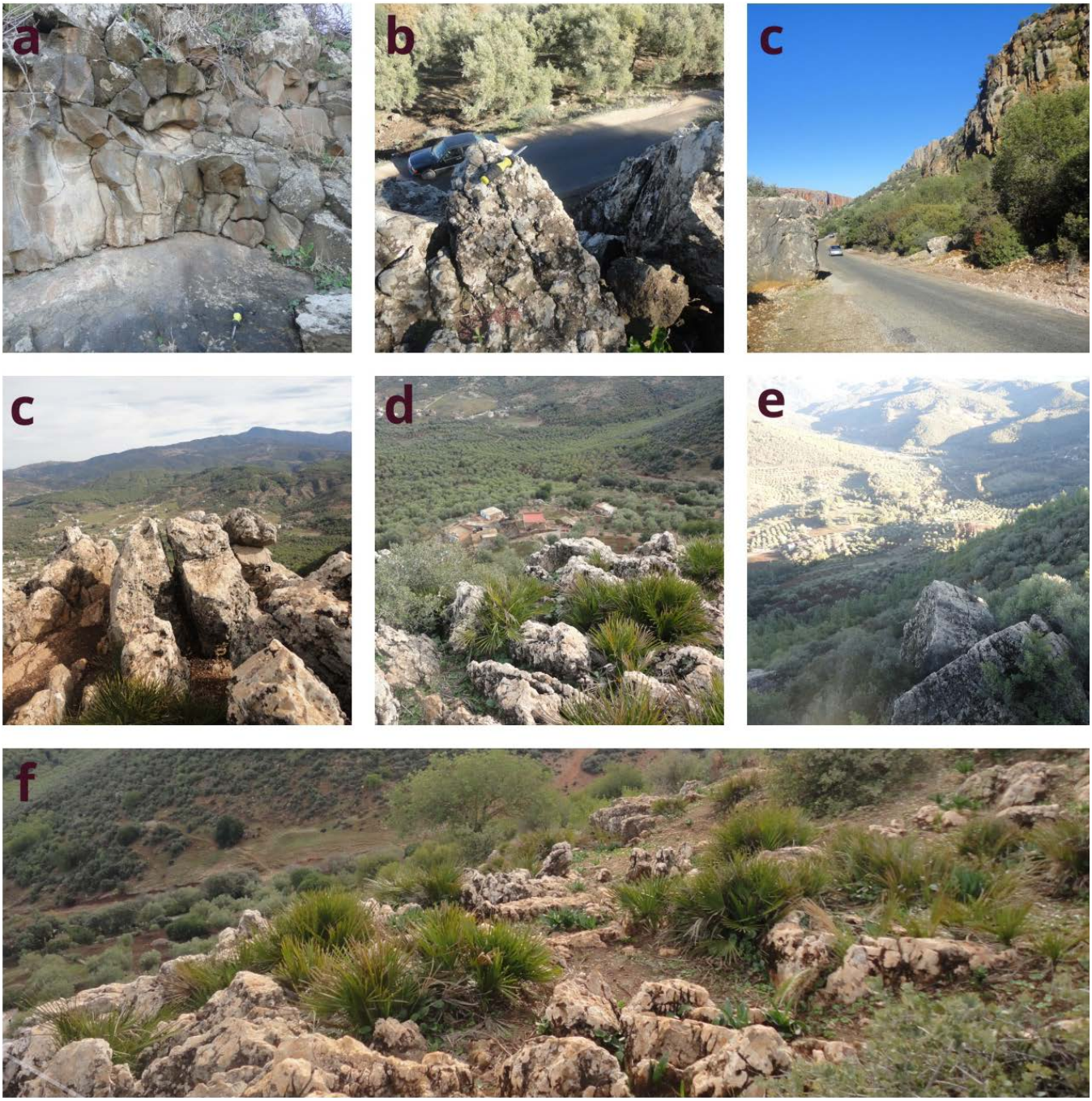


Figure 7. Paysage géomorphologique des mouvements de terrain liés à la classe chute de blocs dans le bassin versant du Zireg. Source: cliché Benaissa, 12/2020. a: L'évolution des fissures sur les roches carbonatées résultant des processus de fragmentation au sommet du versant. b: Bloc de caractéristique carbonatée en bas de versant, à proximité de la route reliant Bab Boudir à Oued Amlil. c: Les sommets des versants carbonatés sont les zones les plus vulnérables aux phénomènes de thermoclastie et hydroclastie, en raison de la rapidité avec laquelle l'eau peut infiltrer à partir des fissures sur des surfaces relativement planes. d et e: Blocs probables de chuter sur un versant, marqué par la présence de maisons individuelles et de terres cultivées en bas. f: L'effet de l'érosion hydrique sur la propagation des roches qui deviennent favorables à d'autres mécanismes de fragmentation.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.05

Tableau 6. Synthèse de susceptibilité aux mouvements de terrain de la classe chute de blocs et écroulement dans le bassin versant Inaouène.

		Surface spatiale des degrés de risque (%)							
Classe	Degré de risque	BV Al-Malha	BV Amlil	Prérif (moyenne)	BV Zireg	BV Bou-Hellou	Moyen Atlas (moyenne)	BV Bou Lajraf	BV Inaouène (moyenne)
Chute de blocs et Ecroulement (CE)	Faible	70	62	66	76	76	76	83	75
	Moyen	30	36	33	22	23	22,5	16	23,8
	Fort et T.F	-	2	1	4	1	2	1	1,3

Source: Thèse Benaissa, 2024.

6. CONCLUSION

L'établissement de la cartographie des chutes de blocs est une tâche complexe et minutieuse qui demande une solide compréhension des traits morphologiques. Il est particulièrement difficile de modéliser ce genre de déplacement, car les zones d'origine n'ont pas de caractéristiques géologiques et géomorphologiques comparables. Dans le cadre d'une étude concentrée sur le déclenchement et la propagation des blocs, on a utilisé la zone source et son parcours pour développer le modèle de sensibilité aux chutes de blocs. Un modèle qui s'appuie sur la représentation des facteurs tels que la pente, la lithologie et l'occupation des sols dans un climat particulier (précipitations élevées et importante amplitude thermique annuelle). L'analyse des chutes de blocs dans le bassin versant Zireg, effectuée grâce à l'approche utilisée, démontre que les particularités géomorphologiques du site constituent un fondement géomorphologique pour l'initiation des processus de mouvements de terrain de la classe chute de blocs et écroulement. L'étude a démontré que 4 % de l'ensemble du terrain est affecté par des niveaux de risque élevé et extrêmement élevé. Les facteurs étudiés facilitent l'apparition de risques plus ou moins sévères, d'où la nécessité d'utiliser la carte de risque comme point de référence pour envisager le développement de ce paysage, un modèle d'aménagement qui tient compte des perspectives géomorphologiques.

Responsabilités and conflits d'intérêts

Les auteurs s'engagent à divulguer tout conflit d'intérêts existant ou potentiel intérêt par rapport à la publication de cet article. De plus, les contributions des deux auteurs concernés sont présentées comme suit:

- **Mohamed Benaissa:** Le traitement et l'étude des données géographiques et géomorphologiques du bassin versant Zireg, la modélisation, le travail de terrain et l'analyse des résultats.
- **Jaouad Gartet:** Orienter le travail, superviser la véracité des résultats obtenus et contribuer à la version définitive du manuscrit.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.05

RÉFÉRENCES

Asteriou, A, Zekkos, D, & Manousakis, J. (2025). Fully remote assessment of rockfall incidents based on crowdsourced imagery. *Bul. of Engineering Geology and the Environment, 84*, 19. https://doi.org/10.1007/s10064-025-04218-x

Bajni, G., Camera, Corrado A.S., & Apuani, T. (2021). Deciphering meteorological influencing factors for Alpine rockfalls: a case study in Aosta Valley. *Landslides, 18*, 3279–3298. https://doi.org/10.1007/s10346-021-01697-3

Bebi, P., Kienast, F., & Schfnenberger, W. (2001). Assessing structures in mountain forests as a basis for investigating the forestsT dynamics and protective function. *Forest Ecology and Management*, *145*(1-2), 3-14. https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00570-3

Benaissa, M. (2024). *Apport du SIG et des approches géomorphologiques à l'étude de l'érosion des sols et des mouvements de terrain dans le bassin versant de l'Ouèd Inaouène en amont du barrage Idriss 1er*. [Thèse de doctorat, Faculté des lettres et sciences humaines Sais – Fès].

Bendel, L. (1948). *Ingenieur - Geologie*. *Ein Handbuch fur Studum and Praxis*. Springer Verlag, Wein, II, *6*(1), 268 - 337. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-5845-6

Benshili, K. (1989). *Lias dogger du moyen Atlas plissé (Maroc). Sédimentologie, biostratigraphie et évolution paléogéographique*. [PhD Thesis, Université de Lyon].

Berger, F., Qutel, C., & Dorren, L.K.A. (2002). *Forest: a natural protection mean against rockfalls, but with which efficiency?* International Congress Interpraevent 2002 in the Pacific Rim, Conference Proceedings, vol. 2 (pp. 815-826). Matsumoto, Japan.

Birien, T., & Gauthier, F. (2023). Assessing the relationship between weather conditions and rockfall using terrestrial laser scanning to improve risk management. *Natural Hazards and Earth System Sciences, 23*(1), 343 - 360. https://doi.org/10.5194/nhess-23-343-2023

Bounab, A., Kamal, A., El Kharim, Y., Hamdouni, R., & Faghloumi, L. (2022). The importance of investigating causative factors and training data selection for accurate landslide susceptibility assessment: The case of Ain Lahcen commune (Tetouan, Northern Morocco). *Geocarto International, 37,* 9967 - 9997. https://doi.org/10.1080/10106049.2022.2028905

Brundsen, D. (1979). Mass mouvements. *Progress in Geomorphology, Arnold*, 130-186.

Charrière, A. (1990). *Héritage hercynien et évolution géodynamique alpine d'une chaîne intra-continentale: le Moyen Atlas au SE de Fès (Maroc).* [Thèse Doct. Etat, Toulouse].

Collins, B.D., & Stock, G.M. (2016). Rockfall triggering by cyclic thermal stressing of exfoliation fractures. *Nature Geoscience, 9*, 395-400. https://doi.org/10.1038/ngeo2686

Collin, A. (1846). *Recherches expérimentales sur les glissements spontanés des terrains argileux*. Carilian Goeury et Dalmont.

Colo, G. (1961). Contribution à l'étude du Jurassique du Moyen Atlas septentrional. *Notes et mémoires du service géologique du Maroc, 139.*

Cruden, D.M., & Varnes, D.J. (1996). Landslide Types and Processes. *Transportation Research Board, U.S. National Academy of Sciences*, Special Report, *247*, 36 - 75.

D'Amato, J., Hantz, D., Guerin, A., Jaboyedoff, M., Baillet, L., & Mariscal, A. (2016). Influence of meteorological factors on rockfall occurrence in a middle mountain limestone cliff. *Natural Hazards and Earth System Sciences, 16*(3), 719 - 735. https://doi.org/10.5194/nhess-16-719-2016

Delonca, A., Gunzburger, Y., & Verdel, T. (2014), Statistical correlation between meteorological and rockfall databases. *Natural Hazards and Earth System Sciences, 14*(8), 1953-1964. https://doi.org/10.5194/nhess-14-1953-2014

Dorren, L.k., & Berger, F. (2006). Stem breakage of trees and energy dissipation during rockfall impacts. *Tree Physiology, 26*(1), 63 - 71. https://doi.org/10.1093/treephys/26.1.63

Flageollet, J.C. (1989). *Les mouvements de terrain et leur prévention.* Collection géographie. Edition Masson.

Frayssines, M., & Hantz, D. (2006). Failure mechanisms and triggering factors in calcareous cliffs of the Subalpine Ranges (French Alps). *Engineering Geology, 86*(4), 256-270. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2006.05.009

Gruber, S. & Haeberli, W. (2007). Permafrost in steep bedrock slopes and its temperature-related destabilization following climate chang. *Journal of Geophysical Research. Earth Surface,112*(2), F02S18. https://doi.org/10.1029/2006JF000547

Gruber, S., Hoelzle, M., & Haeberli, W. (2004). Permafrost thaw and destabilization of Alpine rock walls in the hot summer of 2003. *Geophysical Research Letters, 31*(13), L13504. https://doi.org/10.1029/2004GL020051

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.05

Hanchane, M., & Janati Idrissi, A. (2012, 23-24 Mai). *SIG et modélisation du risque de feu de forêts dans la forêt de Bab Azhar (Taza-Maroc).* Colloque International des Utilisateurs de SIG, Taza GIS-Days, 23-24 Mai 2012.

Hanchane, M. (2007, 20-21 avril). *Evaluation du risque d'incendies de forêts dans la Province de Taza.* Colloque International «Dynamiques territoriales: des potentialités et développement durable». Faculté des LSH de Dhar Mehraz (Fès). Le 19 - 20 -21 avril 2007.

He´tu, B., & Gray J.T. (2000). Effects of environmental change on scree slope development throughout the postglacial period in the Chic-Choc Mountains in the northern Gaspe´ Peninsula, Que´bec. *Geomorphology, 32*(3-4), 335-355. https://doi.org/10.1016/S0169-555X(99)00103-8

Heim, A. (1882). Ueber Bergsturze. *Natur. Gesell. Zürich, 83*, 31.

Hinaje, S., & Ait Brahim, L. (2001). *Neotectonic and seismotectonic events recorded by quaternary deposits in the Middle Atlas (Morocco).* Second Workshop on Seismic Risk in North Africa (Tetouan, 2001).

Irifi, H. (2024). Argania spinosa and Tetraclinis articulata seedling regeneration factors in the lower valley of Wadi Tamri (Morocco). *Revista de Estudios Andaluces*, (48), 13 -150.

Jing, L. (2003). A review of techniques, advances and outstanding issues in numerical modelling for rock mechanics and rock engineering. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 40*(3), 283 - 353. https://doi.org/10.1016/S1365-1609(03)00013-3

Lamouroux, M. (1967). Altération des roches dures carbonatées. *Hannon - Revue libanaise de géographie*, extrait du volume II.

Laville, E., & Faden, B. (1989). The Moroccan Atlasic system in the Jurassic: Structural evolution and geodynamic framework. *Sciences Géologiques, bulletins et mémoires, 84*, 3 - 28.

Losasso, L., & Sdao, F., (2018). The artificial neural network for the rockfall susceptibility assessment. A case study in Basilicata (Southern Italy). *Géomatics, Natural Hazards and Risk, 9*(1), 737 -759. https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1476413

Malsam, A., & Gabriel, W. (2024). Seasonality of rockfall triggers and conditioning factors interpreted from a lidar-derived rockfall database. *Engineering Geology, 333*, 107500. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2024.107500

Mathieu, L., & EK, C. (1964). The Daia Chikker : Geo-morphological study. *Annals of the Geological Society of Belgium, 87*(15), 65 - 103.

Matsuoka, N. (2019). A multi-method monitoring of timing, magnitude and origin of rockfall activity in the Japanese Alps. *Geomorphology, 336,* 65-76. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.03.023

Michard, A. (1976). *Elément de géologie marocaine*. Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, 252.

Millies-Lacroix, A. (1981). *Classification des talus et versants instables. Risques géologiques, Mouvements de terrain*. 26e Congrès Géologique International, section 17. Bull. liaison labo. Ponts & Chaussées, Paris, 55 - 62.

Molitor, D. (1984). Landslide. *Journal of the Indian Society of Photo-Interpretation and Remote Sensing, 12*, 132-25. https://doi.org/10.1007/BF02991432

Mokhtari, M., Abedian, S., & Almasi, S. (2020). Rock fall Susceptibility Mapping Using Artificial Neural Network, Frequency Ratio, and Logistic Regression: A Case Study in Central Iran, Taft County. *AUT Journal of Civil Engineering, 4*, 63 -80.

Moos, C., Dorren, L., & Stofel, M. (2017). Quantifying the efect of forests on frequency and intensity of rockfalls. *Natural Hazards and Earth System Sciences, 17*(2), 291-304. https://doi.org/10.5194/nhess-17-291-2017

Naoura, J. (2012). *Caractérisation hydrologique et qualitative des eaux de surface du bassin versant du haut Inaouene*. [Thèse de Doctorat, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès (Maroc)].

Paranunzio, R., Laio, F., Chiarle, M., Nigrelli, G., & Guzzetti, F. (2016). Climate anomalies associated with the occurrence of rockfalls at high-elevation in the Italian Alps. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *16*(9). https://doi.org/10.5194/nhess-16-2085-2016

Penck, A. (1894). Morphologie der Erdoberflache. *J. Engelhorns, Stuttgart. Vol. I*, 471 p., *Vol. II*, 696 p. https://doi.org/10.5962/bhl.title.130468

Ramdani, M., & Tadili, B. (1980). *Sismicité détaillée du Moyen Atlas et sondages sismiques profonds dans le Maroc central.* [Thèse 3ème cycle, Univ. Grenoble I].

Rapp, A. (1960). Literature on slope denudation in Finland, Iceland, Norway. *Spitsbergen and Sweden. Zeitschrift fur Geomorphologie, I,* 33 - 48.

Ravanel, L., Magnin, F., & Deline. P. (2017). Impacts of the 2003 and 2015 summer heatwaves on permafrost-affected rock-walls in the Mont Blanc massif. *The Science of The Total Environment 609*, 132-143. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.055

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.05

Reynolds, S.H. (1932). Landslips. *Proc. Bris. Nat. Soc., 7*, 352 - 357.

Sabaoui, A. (1998). *Rôles des inversions dans l'évolution méso-cénozoïque du Moyen Atlas septentrional (Maroc). L'exemple de la transversale EL Menzel - Ribat al Khayr - Bou Iblane*. [Thèse Doct. Etat, Rabat].

Shirzadi, A., Saro, L., Joo, O.H., & Chapi, K. (2012). A GIS-based logistic regression model in rock-fall susceptibility mapping along a mountainous road: Salavat Abad case study, Kurdistan, Iran. *Nat. Hazards, 64*, 1639 - 1656. https://doi.org/10.1007/s11069-012-0321-3

Vargas, E., Velloso, R.Q., Chavez, L.E., Gusmao, L., & Do Amaral C.P. (2013). On the Effect of Thermally Induced Stresses in Failures of Some Rock Slopes in Rio de Janeiro, Brazil. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, *46,* 123-134. https://doi.org/10.1007/s00603-012-0247-9

Ward, W.H. (1945). The stability of natural slopes. *Geographical Journal*, (105), 170 - 197. https://doi.org/10.2307/1789732

Whalley, J., & Yeung, B. (1984). External sector 'closing' rules in applied general equilibrium models. *Journal of International Economics, 16,* 123 - 138. https://doi.org/10.1016/0022-1996(84)90046-1

Zielonka, A., & Wrońska-Wałach, D. (2019). Can we distinguish meteorological conditions associated with rockfall activity using dendrochronological analysis? - n example from the Tatra Mountains (Southern Poland). *Science of The Total Environment, 662*, 422 - 433. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.243

Zitane, A. (1986). Les feux de forêt au Maroc. *R.G.M., Vol. 11*, nouvelle série, n°1. 83-100.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.05

Revista de Estudios Andaluces (REA) | Núm. 50, julio (2025) | e-ISSN: 2340-2776
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50 | © Editorial Universidad de Sevilla 2025
https://editorial.us.es/es/revistas/revista-de-estudios-andaluces
https://revistascientificas.us.es/index.php/REA
CC BY-NC-SA 4.0.

El estudio del capital social a través del análisis de redes sociales para una gestión participada del turismo: una propuesta de red de gobernanza para Tierra Bobal (Valencia)

The study of social capital through the social network analysis for a participatory tourism management: a governance network proposal for Tierra Bobal (Valencia)

Ruben Arnandis-i-Agramunt
ruben.arnandis@uv.es 0000-0002-8928-530X
J. Javier Serrano-Lara
j.javier.serrano@uv.es 0000-0003-0349-4176

Departamento de Geografía, Facultat de Geografia i Història, Universitat de València.
Avenida de Blasco Ibáñez, 28. 46010 Valencia, España.

INFO ARTÍCULO

Recibido: 10/09/2024
Revisado: 29/12/2024
Aceptado: 11/02/2025

PALABRAS CLAVE

Actores clave
Toma de decisiones
Gestión Pública del Turismo
índice E-I

RESUMEN

En el marco de la gobernanza el sistema de relaciones a consolidar se vislumbra mucho más complejo que en el gobierno tradicional. Como instrumento disruptivo, innovador y promotor del territorio, la gobernanza precisa de la participación e involucración activa y permanente de todo agente, lo cual conlleva necesariamente la colaboración y el compromiso. Sin embargo, construir ese espacio de toma de decisiones (la verdadera finalidad de la gobernanza) supone una articulación precisa de las personas intervinientes, por lo que su elección debe estar fundamentada en aspectos como la confianza, la legitimidad, el prestigio o el liderazgo. Evaluar el stock de capital social se presenta como la mejor estrategia hacia la cimentación de un ente permanente de decisión con un alto desempeño. Tras la identificación inicial de ciento cincuenta personas, se han llevado a cabo veintiséis entrevistas en profundidad en Tierra Bobal para la caracterización de la red de relaciones. Los resultados muestran falta de cercanía y de intermediación generalizada, lo que implica una excesiva concentración del poder, así como del prestigio, la confianza, la centralidad de flujo, etc. en un número muy reducido de actores, lo que dificulta la cohesión de la red y su sostenibilidad en el espacio y el tiempo.

KEYWORDS

Stakeholders
Decision-making
Public Management of Tourism
E-I Index

ABSTRACT

In the framework of governance, the consolidation of the system of relationships is much more complex than in traditional government. As a disruptive, innovative and territorially promoting instrument, governance requires the active and permanent participation and involvement of all stakeholders, which necessarily entails collaboration and commitment. However, building this decision-making space (the main purpose of governance) requires a precise articulation of the people involved, and their choice must therefore be based on aspects such as trust, legitimacy, prestige and leadership. Assessing the stock of social capital appears to be the best strategy for building a permanent, high-performance decision-making body. After the initial identification of one hundred and fifty people, twenty-six in-depth interviews were carried out in Tierra Bobal to characterise the network of relationships. The results show a generalised lack of closeness and intermediation, which implies an excessive concentration of power, prestige, trust, flow centrality, etc. in a very small number of actors, which hinders the cohesion of the network and its sustainability in space and time.

DOI: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.06
Formato de cita / Citation: Arnandis-i-Agramunt, R., & Serrano-Lara, J.J. (2025). The study of social capital through the social network analysis for a participatory tourism management: a governance network proposal for Tierra Bobal (Valencia). *Revista de Estudios Andaluces*,(50), 110-135. https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.06
Correspondencia autores: ruben.arnandis@uv.es (Ruben Arnandis-i-Agramunt)

1. INTRODUCCIÓN

En la gestión de la actividad turística la gobernanza permite conjugar un sistema de relaciones mucho más complejo y amplio que el tradicional gobierno del territorio. Como instrumento disruptivo, innovador y promotor del destino, la gobernanza precisa de la involucración activa y, siempre que sea posible, permanente de todos los agentes del territorio, lo cual conlleva necesariamente a la colaboración y el compromiso. Y es que la gobernanza, en sí misma, persigue un gobierno orientado hacia redes decisionales capaces de consensuar problemas, negociar prioridades y establecer estrategias comunes (Ledesma, 2023).

La gobernanza, entendida como *la vertiente social del principio de sostenibilidad* (Farinós, 2008, p. 14), encuentra en la participación uno de los pilares hacia su consecución. Sin embargo, no todos los procesos participativos se focalizan hacia la toma de decisiones. Como ya indicaba Arnstein (1968) en su escalera de la participación, la información, la consulta y la asesoría son estrategias de participación como mecanismos de apertura, aunque su finalidad sea meramente de fachada (Hernández *et al.*, 2018)

En la Mancomunidad del Interior Tierra del Vino (en adelante MITV), existe una conciencia colectiva hacia el fomento de dinámicas participativas, que tuvieron su expresión durante el Plan de Dinamización y Gobernanza Turística 2019-2021. El propósito no era otro que la dinamización social y económica de la comarca a través de la sensibilización e implicación de todos los agentes del turismo (públicos, privados y civiles) hacia la cocreación de un destino capaz de consolidar una oferta turística competitiva y equilibrada en el territorio.

Sin embargo, este tipo de procesos de participación eran puntales en el tiempo, informales en la mayoría de los casos y, aunque permitían un intercambio de conocimiento (Valeri & Baggio, 2021) y del trabajo colaborativo (Putnam, 1994), aspectos básicos para movilizar el capital social (CS en adelante), imposibilitaban consolidar en el territorio una red estable. Ante esta situación, la MITV se plantea la creación de un espacio de participación sólido, permanente, con capacidad de decisión o de, al menos, influir sobre ella, consciente del valor que aportará a la gestión del destino: identificación de actores clave, fortalecimiento de vínculos entre actores, generación de políticas que fomenten la equidad en la participación, movilización del capital social y generación de mayor innovación y cooperación, reforzamiento de las relaciones de confianza en la red y prevención de conflictos, entre otros.

Bajo ese escenario, esta investigación centra su objetivo en evaluar el stock de CS presente en Tierra Bobal (marca turística de la MITV) para la construcción de una red de gobernanza que mejore los procesos de desarrollo turístico. Para ello, se propone un doble análisis, por un lado, a través de la metodología de Análisis de Redes Sociales (ARS), basado en los datos primarios recogidos a *stakeholders* en el área de estudio a través de entrevistas personales. De este modo, se introduce un análisis desde el punto de vista de la articulación social y el stock de CS. Por otro lado, el análisis del índice E-I, el cual permite desagregar el CS interno y externo a partir del estudio de subestructuras presentes en las redes de actores y, por ende, en el territorio.

La principal contribución se enmarca en el estudio de los procesos de coordinación y colaboración entre los agentes de un destino para la construcción de redes de gobernanza. Los resultados evidencian que fortalecer la resiliencia y eficiencia de estas redes requiere identificar a los actores clave con mayor conectividad, ya que estos facilitan el fortalecimiento de los vínculos. Al mismo tiempo, es fundamental analizar la existencia de cuellos de botella generados por la concentración excesiva de poder en ciertos actores que imposibilitan una gestión equitativa. Además, se destaca la importancia de la confianza, el prestigio y el liderazgo en la articulación de procesos de transformación que impulsen la regeneración territorial.

La sección 2 de este trabajo se ha dedicado a las principales aportaciones teóricas que explican el papel y la relación entre las redes de gobernanza, el turismo y el CS; así como una contextualización turística de la zona de estudio. Le sigue la sección 3, que presenta la muestra, recogida de información y la metodología utilizada. La sección 4 está dedicada a la presentación y discusión de los resultados obtenidos. Finalmente, la sección 5 contiene la conclusión, donde se presenta la principal contribución de la investigación, así como futuras líneas de investigación para seguir profundizando en el conocimiento del CS, las redes de gobernanza y los procesos de desarrollo turístico.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.06

2. MARCO TEÓRICO

2.1. La conexión entre lo público y lo privado gestión participada de los destinos turísticos

2.1.1. La colaboración público-privada desde el enfoque de redes

Uno de los primeros antecedentes que establece la relación público-privada entre agentes aparece citada en el derecho comunitario en materia de contratación pública y concesiones (CCE, 2004). Aunque la fuente no concede una definición clara, de manera genérica se identifica con las diferentes formas de cooperación entre entidades públicas y empresas privadas, cuando el objetivo se encuadra en los ámbitos de la financiación, construcción, renovación, gestión o mantenimiento de una infraestructura o la prestación de un servicio.

Las razones que hacen de la colaboración público-privada una relación necesaria la han convertido en una parte fundamental de la vida diaria de los órganos públicos y privados decisores sobre la gestión pública. La necesidad de financiación, por ejemplo, por parte de las entidades públicas supone la inclusión del operador económico en las fases del proceso de toma de decisiones en el ámbito de la gestión pública, haciendo que de esta manera las entidades se centren en el cumplimiento de los objetivos de interés público.

Otro factor fundamental es la decadencia de la imagen de las instituciones públicas debido a problemas como la corrupción, haciendo necesaria la participación ciudadana en la toma de decisiones de la gestión pública que haga posible retomar la confianza (Gimeno, 2021), pues, es esta el elemento central capaz de estimular la colaboración y el compromiso entre actores (Beritelli, 2011), y que permite el desarrollo de redes, entendidas estas como un acuerdo de cooperación y colaboración entre organizaciones (Hall, 2011), caracterizadas por su relación geográfica y/o temática (Presenza & Cipollina, 2010)

La colaboración pública-privada en el ámbito turístico encuentra su justificación en motivos diversos (FEMP, 2008), entre los que destacan la necesidad de alinear el conjunto de objetivos e intereses de todos los ámbitos relacionados con la actividad turística; la necesaria conexión entre elementos de producción privados y públicos para la construcción de productos turísticos; la diversidad de entidades públicas intervinientes durante el proceso de gestión de la cadena de valor turística; y el construir una visión, una misión y una estrategia participada sobre la imagen coherente del destino.

Quedan de lado aquellas concepciones tradicionalistas como la perspectiva neoclásica, que defendía la construcción de relaciones basadas en la jerarquía y el poder, o el enfoque neoliberal de *laissez-faire,* donde la gestión se basaba en la competición y la interferencia mínima de lo público, para que una nueva perspectiva hacia la gestión de los destinos adquiera forma a finales del siglo XX, basada en la construcción de redes entre actores en beneficio mutuo (Van der Zee & Vanneste, 2015).

La necesidad de una toma de decisiones más participada sobre la gestión del turismo (por la diversidad de actores implicados e intereses que se persiguen), el mayor aprendizaje interorganizacional y el intercambio de conocimientos que permite la adquisición de CS, la ayuda a comprender el ecosistema de las relaciones entre las partes, y asumir que la naturaleza cada vez más compleja del turismo exige un sistema de gestión capaz de responder al cambio (OMT, 2004), parecen ser, desde una base teórica, razones por la que este enfoque de redes ha ganado popularidad en los estudios sobre turismo.

Y es que, si algo caracteriza al turismo, y que en años recientes ha calado profundamente en su mejor comprensión, es el hecho de admitir que este no puede planificarse ni gestionarse solo desde lo público ni desde lo privado, como si ambos fueran elementos inconexos, antagónicos o dispares. La multidimensionalidad socioeconómica, cultural y territorial que supone desarrollar el turismo justifica esta necesidad que, dicho sea de paso, es diferente en función de las características particulares de cada destino, por lo que se requiere más que nunca de modelos de gestión turística basados en los principios de la gobernanza (López & López, 2004), si bien debe admitirse que no existe un modelo de desarrollo turístico ideal (Díaz & Zielinsky, 2022)

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.06

2.1.2. La gobernanza en el entramado sistémico de la actividad turística

Cuando en 2001 la Comisión Europea sienta las bases para el desarrollo de la nueva gobernanza, una de las razones principales por las que se planteó esta reforma fue, en gran medida, por el descenso de la participación de la ciudadanía en las políticas europeas (Comisión Europea, 2001). Esta conducción de los territorios hacia una gestión más colaborativa permite identificar de manera conjunta las barreras y las fortalezas que poseen para alcanzar una meta común.

Sin embargo, también la democratización de los procesos de gobierno, la oleada de descentralizaciones, la terciarización de los servicios públicos y el ascenso de nuevos grupos de presión desde la sociedad civil, hacen que el concepto de gobernanza sufra un giro desde posturas más eficientes a otras más participativas (Haro, 2014), si bien no parece existir todavía una definición consensuada (Reina-Usuga *et al.,* 2024) Con todo, la gobernanza se define por las formas de relacionarse los actores participantes en una determinada acción de gobierno.

Y puesto que en el turismo intervienen agentes muy dispares (tanto horizontal como verticalmente, tanto públicos como privados, tanto dentro como fuera del destino), con intereses que se entrelazan (incluso se contraponen), hace necesario contar un modelo de gestión que responda y mejore la interacción entre los *stakeholders* (Pulido-Fernández & Pulido-Fernández, 2014)

Sirva como ejemplo las bases en las que se asientan los actuales modelos de Destino Turístico Inteligente (modelo Segittur, modelo Invat·tur, ISO 178501) para observar la consideración que toma la gobernanza: de gestionar los bienes públicos con legitimidad (gobernabilidad) a gobernar con la máxima participación de actores estratégicos para generar confianza y coherencia que permitan aunar voces, sumar recursos y planificar de forma consensuada con un horizonte a largo plazo (Segittur, 2016)

Y es que debe admitirse que los destinos turísticos son sistemas adaptativos, complejos, formados por organizaciones sobre las que los gestores de destino tienen un poder limitado para su colaboración y coordinación, haciendo de esta una tarea difícil (Beritelli *et al*, 2015). Es en estas situaciones donde la ventaja competitiva reside en la capacidad del destino para construir redes basadas en la confianza y la reciprocidad (van der Zee & Vanneste, 2015).

2.1.3. Las redes de gobernanza en la actividad turística

Klijn & Koppenjan (2016) sitúan los antecedentes de las redes de gobernanza en tres tradiciones investigadoras: (1) las redes de políticas públicas (quiénes participan en la formulación de las políticas y qué poder ostentan); (2) la teoría interorganizacional (en la que las redes son identificadas como vehículos en la prestación de servicios); y (3) la gobernanza colaborativa y las relaciones intergubernamentales (cómo evolucionan los problemas políticos en un contexto institucional fragmentado)

Y es que las redes de gobernanza surgen como respuesta al aumento de la complejidad de las políticas públicas y como consecuencia de las deficiencias de los modelos de gestión pública tradicionales (Ledesma, 2021). Si bien es cierto que la interacción entre actores no es un fenómeno nuevo, este concepto de red de gobernanza permite una manera distinta de conceptualizar la interacción entre las partes interesadas relevantes y afectadas por las decisiones públicas (Sorensen & Torfing, 2007).

Entendida como un conjunto de partes interdependientes, públicas y privadas, pero operativamente autónomas, la red de gobernanza tiene por lo general un interés en torno a una política pública, interactuando para tomar decisiones en el marco de las relaciones no jerárquicas, generalmente estables, con el objetivo de resolver problemas complejos (Ledesma, 2021). Beaumont & Dredge (2010), en su estudio comparativo sobre redes de gobernanza turística local, identifican tres tipologías (tabla 1), basadas en los estudios previos de Provan & Kenis (2007), y aunque desde una perspectiva teórica la red de gobernanza requiere de altos niveles de autoorganización y pocas diferencias jerárquicas entre las partes (Ledesma, 2023), algún tipo de institución o estructura que ejerza de líder, autoridad o control parece aconsejable.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.06

Tabla 1. Tipologías de redes de gobernanza.

Tipo de red	Características de la red	Beneficios de la red
Lead organization-governed network (LOG)	Actor líder que hace de coordinador central, facilita y posibilita la colaboración, gestión centralizada, toma de decisiones de arriba hacia abajo.	Los miembros de la red pueden acceder a contactos externos que permiten incidir en decisiones y formulación de políticas.
Participant-governed network (PNG)	Actores con relaciones informales y horizontales, que dependen del CSl y humano existente entre los miembros, gestión descentralizada, de abajo hacia arriba.	Flujos de información, compartición de conocimiento y mejora del aprendizaje, representación de la red ante otros actores externos.
Network administrative organization (NAO)	Actor intermediario que no depende de un líder público ni del resto de participantes.	Se trabaja con una representación de actores de la red, pero las decisiones se toman por toda la NAO. Es un formato más independiente, pero al mismo tiempo requiere ganarse la legitimidad por la falta de contacto entre los actores

Fuente: elaboración propia a partir de Provan & Kenis (2007) y Beaumont & Dredge, (2010).

2.2. Capital social, redes sociales y turismo en los procesos de desarrollo

2.2.1. Del capital social a las relaciones sociales: una aproximación y vínculo con el turismo

La presencia y utilización del concepto de CS ha sido creciente desde su formulación para explicar y entender procesos de distinta índole (educativos, sanitarios, políticos, urbanos, etc.), tanto en el espacio como en el tiempo (Woolcock & Narayam, 2000; Fukuyama, 2001; Lozares & Sala., 2010; Lubbers *et al.*, 2010; Podda, 2016).

El CS es capital porque es acumulativo y es social porque describe comportamientos y principios éticos de la sociedad (Ray, 2009). Es, por lo tanto, un bien productivo, producido y duradero, es decir, genera resultados positivos o negativos, se ha de invertir en él tiempo y esfuerzo y crece a medida que más se use y se produzca. No obstante, el CS no es tangible, pero permite acceder a unos recursos que, sin él, el esfuerzo para lograrlos sería mayor (Bourdieu, 1986). El estudio del CS puede analizarse desde una concepción estructuralista (el estudio de las relaciones o redes sociales) (Saz & Gómez, 2015) o culturalista (vinculado a la confianza social, normas, sanciones o valores) (López-Roldán & Alcaide, 2011).

Las relaciones sociales han sido y son el elemento más relevante y analizado para el estudio del CS (Serrano & Esparcia, 2023) y las redes de gobernanza (Gava *et al.*, 2025). Por ese motivo existe un reconocimiento científico en vincular el CS a la participación en las redes sociales (Bourdieu, 1986; Coleman, 1990; Woolckock, 2000; Lin 2001). De ahí, que sea fundamental entender y analizar las estructuras relacionales para poder medir el CS (Teilman, 2012; Esparcia *et al.*, 2016).

Los primeros acercamientos entre el CS y el turismo son muy recientes y poco a poco han comenzado a suscitar mayor interés (Gava *et al*, 2025; Merinero & Pulido, 2016; Pulido & Merinero, 2018; Merinero & Ledesma, 2022; Ramírez *et al.*, 2019; Serrano *et al.*, 2020; Valeri & Baggio, 2021; entre otros). Los aspectos en los que se centra esa relación son principalmente tres: la contribución del CS al desarrollo turístico, la aportación del turismo al CS y el papel del CS en la mitigación de los impactos turísticos (Cacciutto, 2018; Park *et al.*, 2015).

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.06

2.2.2. El papel del capital social en los procesos de desarrollo

El CS puede contribuir positiva o negativamente, ya que puede utilizarse tanto para el beneficio común o de la sociedad como para el beneficio propio o el desarrollo de redes clientelares (Esparcia *et al.*, 2015). Puesto que las relaciones no se crean de forma equilibrada en la red social (Moghfeli *et al.*, 2022), la búsqueda de un liderazgo efectivo en los territorios es fundamental para la mejora de la gestión de problemas. Aunque lograr un liderazgo es complicado (Preston & Barnes, 2017; Moghfeli *et al.*, 2022), en el estudio de las redes sociales es necesario profundizar en tres conceptos: liderazgo, prestigio y confianza.

Mientras que por liderazgo se entiende aquella persona que tiene capacidad de influencia, carisma, motivación e inspiración (Naderi *et al.*, 2019), el prestigio se relaciona con la seriedad, experiencia, recursos, posición, siendo la confianza una apuesta sobre las acciones futuras de los otros (Coleman, 1982) o una actitud o juicio moral, la cual surge y se deriva de las interacciones sociales (Buciega, 2009).

Para entender la relación entre los conceptos de CS y desarrollo territorial deben rescatarse los niveles micro y macro (Woolcock, 1998; Esparcia *et al.*, 2016). Dentro del CS destacan la cohesión interna (CS *Bonding*) y externa (CS *Bridging y CS Linking*). El CS *Bonding* se vincula con la cohesión social y relaciones internas. El CS *Bridging* se vincula con las relaciones externas con otros territorios y otros actores (Lozares *et al.*, 2011; Lozares & Verd, 2011), mientras que en el CS *Linking* las relaciones externas se establecen a partir de vínculos jerárquicos con administraciones.

De ahí que exista una relación directa entre la evolución y éxito de los procesos de desarrollo y el mayor stock de CS interno y externo, debiendo existir un equilibrio entre ambos capitales sociales. Este equilibrio entre altos niveles de CS *bonding* y *bridging/linking* garantizan tener comunidades y procesos de desarrollo articulados e integrados, lo que asegura una sostenibilidad y consolidación de los procesos. Por esta razón, es importante estudiar y analizar el stock que actualmente tienen las áreas que llevan a cabo procesos de desarrollo, ya sea rural, urbano, turístico, etc. para que de esta forma se pueda conocer si los procesos de desarrollo evolucionan de forma sostenible y/o favorable (figura 1).

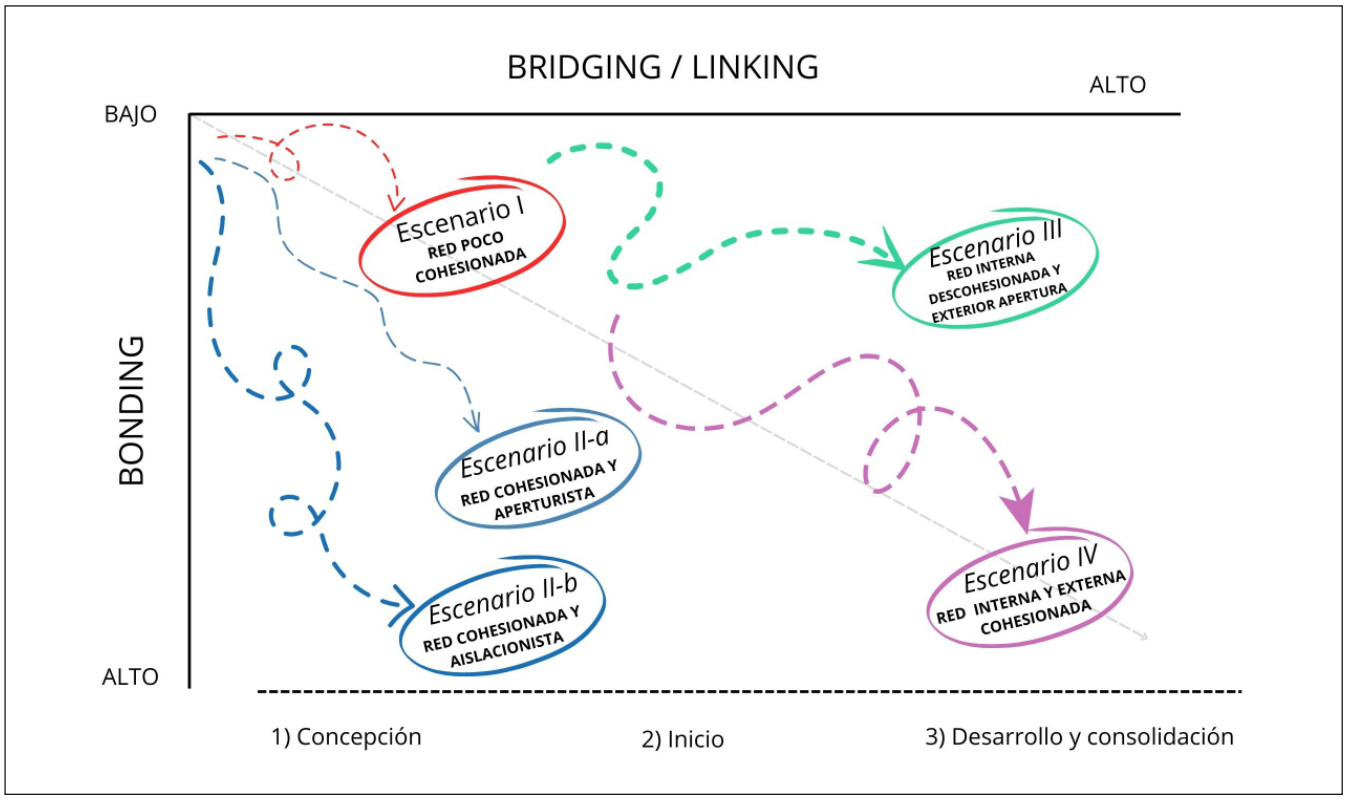


Figura 1. Evolución de los procesos de desarrollo en el territorio según los diferentes stocks de CS interno y externo. Fuente: elaboración propia a partir de Esparcia, *et al.*, 2016, pp. 61 y 64.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.06

Las redes de actores embeben de la gobernanza por el interés en torno a los procesos de toma de decisiones colaborativas y el establecimiento de políticas públicas, asentando una nueva forma de interacción (más horizontal, más participativa, más democrática). Se busca en realidad la resolución de problemas comunes, coordinando acciones y creando soluciones conjuntas (Ledesma *et al.*, 2022), siendo el contexto de la disciplina turística un ámbito muy favorable a estas redes de gobernanza (Valeri & Baggio, 2021; Ledesma, 2023). Las redes de gobernanza turística y la colaboración entre actores turísticos suponen una acción necesaria de cara a la definición de las políticas turísticas y toma de decisiones (Merinero & Pulido, 2016; Merinero & Ledesma, 2022). Sin embargo, para el buen funcionamiento de las redes turísticas en la gobernanza es necesario tanto la comprensión del sistema como el análisis de las características estructurales de la red, en especial quiénes son las partes interesadas y cómo se conectan e interactúan (Del Chiappa & Presenza, 2013; Ledesma, 2023).

2.3. Contextualización turística del ámbito territorial de estudio

La Plana Utiel-Requena es la comarca más occidental y extensa de toda la Comunidad Valenciana, con una importante herencia cultural de Castilla la Mancha, con la que linda geográficamente. Se ubica en una pequeña meseta que integra los municipios de Camporrobles, Caudete de las Fuentes, Chera, Fuenterrobles, Requena, Sinarcas, Utiel, Venta del Moro y Villagordo del Cabriel (figura 2). Estos mismos municipios son los que conforman la mancomunidad del interior Tierra de Vino y, al mismo tiempo, la marca turística de Tierra Bobal[1].

El análisis de la situación actual del territorio refleja un modelo económico-social y un ecosistema de desarrollo basado en la explotación y comercialización de los productos derivados de la viticultura desde la segunda mitad del siglo XIX (Piqueras, 1986), si bien su presencia es patente desde la época ibérica (Martínez, 2016).

Hasta el momento Utiel-Requena y la Ruta del Vino han favorecido el crecimiento económico y la colaboración público-privada para poner en valor esta tradición y cultura de más de 2.500 años de historia. Esta actividad, además, ha propiciado el desarrollo de una industria agroalimentaria que ha cuajado dentro del entorno rural gracias a los buenos accesos y a una sociedad de tránsito comercial arraigada.

En la comarca están presentes diversas entidades y organismos que promueven la actividad en el territorio, pero a pesar de contar con esas diferentes entidades de gestión vinculadas al desarrollo territorial, destaca la ausencia hasta tiempos muy recientes de una planificación y estrategia conjunta, agregada y participativa, que aúne esfuerzos y recursos en favor de un desarrollo sostenible a largo plazo.

Es por ello evidente la urgente necesidad de crear espacios de encuentro participativo y colaborativo, que fomenten inercias y sinergias productivas, conjuntas y cohesionadas, para retroalimentar y acelerar el desarrollo sostenible de la comarca. El territorio tiene potencial, tanto en la industria del vino y el cava, como en el turismo de interior, sustentado en el medio ambiente y la naturaleza, la gastronomía, la cultura y el patrimonio.

Es a partir del año 2019 cuando se inicia una estrategia turística integral de sostenibilidad a largo plazo, que requiere de una gobernanza participativa y una toma de decisiones estratégicas. En ella se han implicado Ayuntamientos, Mancomunidad, Consejo Regulador de la D.O. Utiel-Requena, La Ruta del Vino, Asociaciones Empresariales, Asociaciones culturales y de patrimonio, jóvenes, mujeres, etc. lo que finalmente fructificó en el Plan de Dinamización y Gobernanza Turística 2019 – 2021.

1. Tierra Bobal es la marca del destino turístico que integra nueve municipios que destaca por la cultura del vino y un territorio marcado por espacios naturales protegidos.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.06

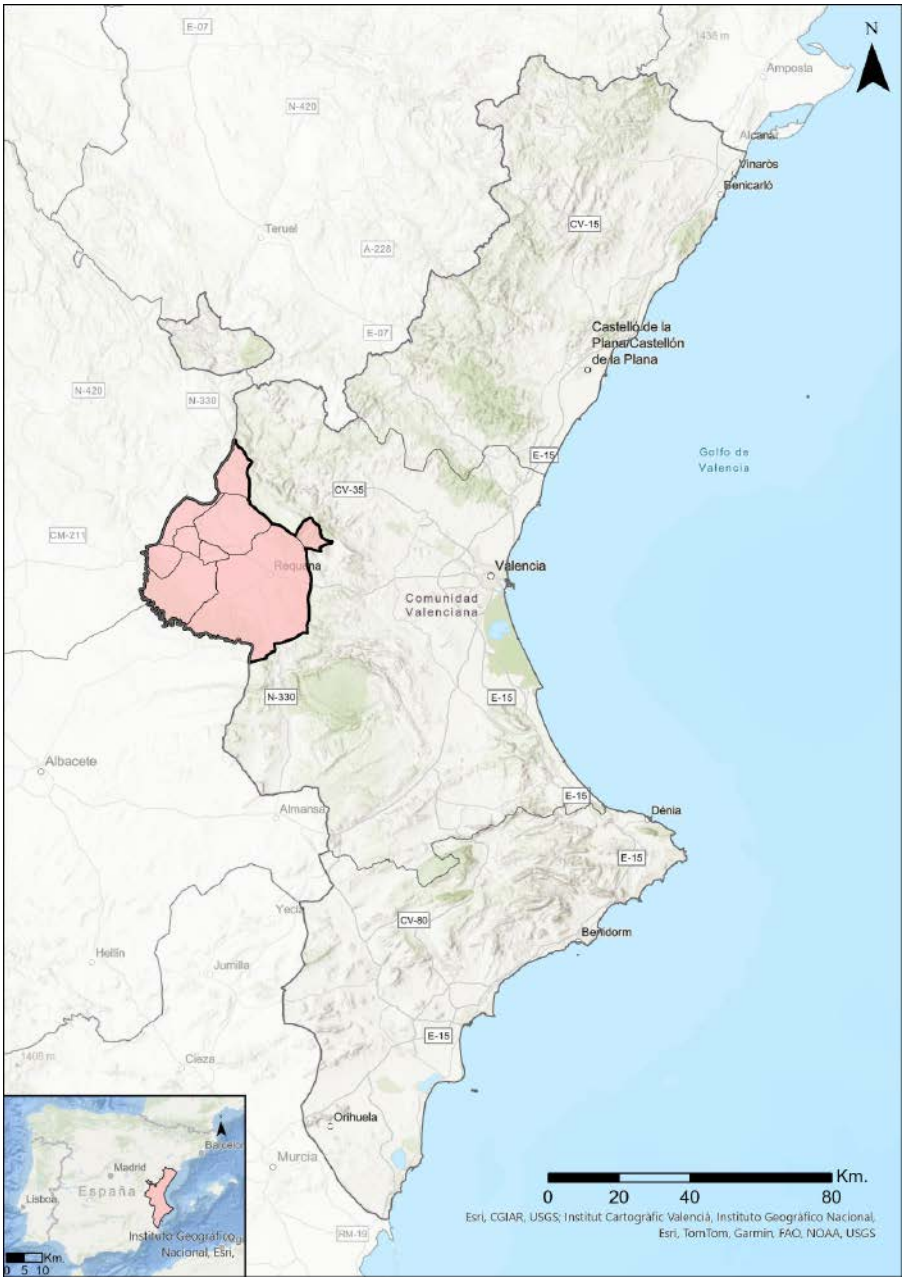


Figura 2. Mapa de localización de Tierra Bobal. Fuente: elaboración propia.

3. MÉTODOS

3.1. Muestra y datos

Para esta investigación se han seleccionado actores afines a los procesos de desarrollo turístico, independientemente de su cargo y su vínculo con las administraciones públicas. De esta población, la selección de la muestra se basó en un criterio de selección intencional de los "actores relevantes" (equivalente al término inglés *stakeholders*) (Moghfeli *et al.*, 2022; Bodin & Crona, 2009; Cadger *et al.*, 2016; Ghorbani *et al.*, 2021), según los criterios establecidos por Serrano y Esparcia (2023).

Se realizaron reuniones con informantes públicos, privados y civiles considerados clave por su estrecha vinculación con los procesos de desarrollo turístico, generando una base de datos inicial de 150 personas. De ese listado se filtró la muestra, a partir de un conjunto de KPIs, distribuidos en dos bloques, relacionados con el perfil óptimo de las personas que deberían integrar el equipo de gobernanza. Los KPI (acrónimo de

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.06

key performance indicator, en español, indicador clave de rendimiento) son factores que se construyen y aplican en la evaluación de actividades, procesos y personas (Badawy *et al.*, 2016) Para esta investigación se ha determinado un primer bloque de siete KPIs[2], que sirvieron a los investigadores para filtrar el primer conjunto de 150 personas candidatas para formar parte del equipo de gobernanza. Tras este primer filtro quedaron solamente 45 personas relevantes, de las que 26 aceptaron realizar la entrevista posterior (anexo I), con una duración aproximada de 20 minutos y en la que tenían que valorar un segundo conjunto de once nuevos KPIs[3]. En uno de estos indicadores se les pidió que valoraran en una escala de 1 a 10 su "interés en participar", puesto que se ha considerado este un KPI crítico por la importancia que tiene la motivación personal para la consecución de este órgano de participación. 9 de las 26 personas entrevistadas quedaron fuera de la red de EGOS[4], no así de la de ALTERS[5], por valorar por debajo de 8 ese interés en participar.

Finalmente, los 17 actores con un KPI crítico de participación superior a 8 realizaron la red social (Egored). Por motivos de privacidad y en cumplimiento de la Ley de Protección de Datos, no se puede revelar la identidad de los actores entrevistados, por lo que se ha trabajado con códigos identificadores. De este listado de 17 actores se seleccionarán un total de 9 para la creación del grupo de gobernanza turística, atendiendo al número de municipios que integran Tierra Bobal. Sin embargo, se dejaron dos personas más en reserva, por si alguno de los 9 actores seleccionados causaba baja.

3.2. Análisis de Redes Sociales (ARS) e Índice E-I

Para comprobar el stock de CS de las redes sociales de las partes interesadas, se ha aplicado el enfoque metodológico del Análisis de Redes Sociales (ARS), que se caracteriza por su alto potencial analítico para detectar las propiedades estructurales, la posición y el papel de los actores en las redes sociales. El ARS es un método formal utilizado para medir redes sociales a través de un conjunto de instrumentos y técnicas para estudiar los comportamientos sociales de los individuos a través de las relaciones específicas entre individuos, grupos, asociaciones, etc. (Molina, 2001; Carrington *et al.*, 2005; Sanz, 2014; Marqués & Muñoz, 2014).

Una de las dudas que surgen en el ARS es saber cómo se relacionan estos grupos entre sí. Este aspecto es básico en las estrategias de desarrollo territorial o turístico, ya que uno de los elementos básicos en éstas es la integración entre actividades y grupos, así como la articulación entre los actores de los diferentes territorios. En las redes sociales este tipo de relaciones suelen establecerse a partir de una serie de actores clave que, por diferentes motivos, tienen conexiones con actores de distintos colectivos. Ambos son actores privilegiados y estratégicos por y para el desarrollo. La investigación aquí presentada se divide en dos grandes apartados metodológicos, que no pueden entenderse por separado, sino de forma integrada e interrelacionada.

A partir de los datos se ha calculado un conjunto de indicadores ARS utilizando el software UCINET para determinar el estado de la red, así como la representación de los grafos (Wasseman & Galaskiewicz, 1994; Hanneman & Riddle, 2005; Wasserman & Faust, 2013). Los indicadores seleccionados se dividen en tres grupos (tabla 2). En primer lugar, los indicadores de las propiedades de la red donde se ha calculado la densidad. En segundo lugar, los indicadores de cohesión de la red, donde se ha calculado la distancia. En tercer lugar, los indicadores de centralidad, donde se ha calculado el grado de entrada[6] (prestigio y confianza), la cercanía de entrada, la intermediación, la centralidad de los flujos y la reciprocidad.

2. Formación, situación laboral, relación con el territorio, conocimiento del territorio, actividad profesional, entorno profesional, conocimiento del turismo.

3. Red individual, confianza, consejero, opinión sobre la participación pública, aportar propuestas, interés en participar, compromiso, presencia física, frecuencia de las reuniones, canal de comunicación.

4. *Ego*: aquella persona encuestada o entrevistada de la cual se estudia y mide el CS a partir de su red de relaciones, también conocida como red social egocéntrica, red egocéntrica o egored (Requena, 1996; Borgatti *et al*., 1998).

5. *Alter*: aquella persona nombrada por el ego y, en definitiva, que tiene relación con ella (Borgatti *et al*., 1998). Cuando en la red se representa tanto la red de egos como la de alters es conocida como sociored.

6. El grado de entrada (*Degree In*) hace referencia a la entrada de relaciones entre actores. Es un indicador que se puede usar tanto para medir prestigio como confianza de los actores clave, pero la diferencia reside en la pregunta realizada al encuestado/a. Para medir la confianza entre los actores se realizaba una pregunta fundamental, a quién de los actores que usted ha destacado como prestigio-

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.06

Tabla 2. Indicadores de ARS, definición e intervalos de valores para su medición.

Tipología	Indicadores		Medición	Valores		
				Bajos	Medios	Altos
Propiedad de la red	Densidad		%	< 7	7 - 18	> 18
Cohesión	Distancia		Nº ejes	< 2	2 - 3	> 3
Centralidad	Grado de Centralidad (Prestigio)	Grado de entrada	%	< 28	28 - 61	> 61
		Grado de salida	%	< 12	12 - 24	> 24
	Cercanía	Cercanía de entrada	Nº ejes	< 14	14 - 37	> 37
		Cercanía de salida	Nº ejes	< 7 %	7 - 19	> 19
	Intermediación		%	< 12	12 - 20	> 20
	Centralidad de flujo		%	< 7	7 - 13	> 13
	Distancia geodésica		%	< 31	31 - 47	> 47
	Reciprocidad		%	< 20	20 - 26	> 26
	Grado de Centralidad (Confianza)	Grado de entrada	%	< 16	16 - 50	> 50

Fuente: elaboración propia a partir de Serrano & Esparcia, 2023, p.8.

Por otro lado, estos análisis de ARS son necesarios como paso preliminar para el estudio del índice E-I (dentro del enfoque metodológico ARS) para el cálculo del stock de CS interno y externo, que está relacionado con el nivel micro (Moghfeli, 2022). Este índice se basa en el análisis de las relaciones externas (E) e internas (I) de un conjunto de subestructuras previamente definidas. Por subestructura, Esparcia (2017) entiende una agrupación que debe responder a aspectos claros diferenciados en función de una serie de atributos como, por ejemplo, el sexo de los actores, el territorio e incluso el grado de prestigio u otras características atributivas. Por tanto, en este índice se han analizado un total de cinco subestructuras, como son:

- **Tipología de los actores**: vinculada a la actividad principal de los actores, es decir, institucional, económica, técnica u otra (parados, jubilados, jóvenes, etc).
- **Sexo**: la literatura vincula comportamientos más tradicionales y menos abiertos a los hombres. Sin embargo, las mujeres y los grupos de edad más jóvenes están vinculados a comportamientos más innovadores y de mentalidad más abierta (Esparcia & Serrano, 2016; Serrano & Esparcia, 2023).
- **Prestigio:** también entendido como experiencia, recursos, cargo, etc., puede estar presente en una organización específica y en un grupo o individuo en particular. Las redes y la posición de los actores en ellas no son igualmente accesibles para todos los miembros de la comunidad, ya que la participación y el interés son diferentes para cada uno (Shortall, 2008; Lee *et al.*, 2005). El prestigio se ha sintetizado en cuatro grupos: Nulo, Bajo, Medio y Alto. La división realizada para obtener cada uno de los cuatro principales niveles de prestigio (Grado In del ARS) se basó en los intervalos realizados por Serrano y Esparcia, 2023 (figura 3).

sos y con los que guarda relación, usted le solicitaría dinero. La solicitud de dinero como muestra de confianza ha sido destacada por autores como Putnam

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.06

- **Confianza:** entendida como afinidad, una relación más estrecha y fuerte entre los actores. Los niveles se han agrupado de la misma forma que para el prestigio: Nulo, Bajo, Medio y Alto (tabla 2).
- **Delimitación territorial:** el papel de los municipios dentro de una comarca es diferente según su población, servicios o concentración de instituciones. Por ello, es importante conocer cómo se relacionan los diferentes municipios y saber el resultado de las relaciones dentro y fuera de cada una de las áreas.

Dentro de los procesos de construcción de CS en el territorio resulta de gran interés conocer y analizar el conjunto de relaciones internas y externas presentes en la red social, es decir, identificar las tipologías de CS *Bonding* (relaciones internas) y CS *Brigding/Linking* (relaciones externas).

El resultado obtenido varía entre –1 y 1. El resultado negativo se obtiene cuando la mayoría (o todas) de las relaciones de las subestructuras son internas, es decir, se aproximan a la máxima expresión de homofilia. Sin embargo, cuando el resultado es positivo, significa que la mayoría de las relaciones presentes son externas. Este índice no diferencia entre la dirección de las relaciones sino de la presencia entre cada par de nodos (Hanneman & Riddle, 2005). Los principales indicadores analizados en el índice E-I son:

- **Índice E-I Observado:** mide mediante una fórmula matemática en la que se calcula la diferencia entre las relaciones externas e internas con respecto al total de conexiones.
- **Índice E-I esperado:** el concepto de azar entra en este índice si la distribución de relaciones de cada actor en cada una de las subestructuras se produce al azar sin preferencias específicas para cada una de las subestructuras definidas y estudiadas. Ayuda a medir cuánto varía este resultado respecto del observado.
- **Proporción de relaciones externas**: este indicador refleja otro resultado del índice E-I y nos da una idea clara y sencilla del grado de apertura global de cada una de las subestructuras en cada red social de cada área. Los datos se extraen de la media de las relaciones exteriores calculada para el índice E-I.

Aparte de estos indicadores extraídos en el índice E-I, se decidió complementar estos resultados con dos cálculos estadísticos que se basan en el valor p ($p < 0,05$), que indica la existencia o no de diferencias estadísticas significativas entre los valores observados y esperados con un nivel de significación de 0,05. Además, se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para medir la bondad de ajuste de los datos estudiados.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de redes sociales de los *stakeholders* de Tierra Bobal: una visión colectiva e individual

Los resultados observados muestran diferencias significativas en relación con las redes sociales entre los *stakeholders* y, de forma indirecta, una primera aproximación a la idea del CS. En la tabla 3, se puede observar los resultados colectivos para cada red, diferenciando la red de egos (personas entrevistadas con el KPI de interés superior a 8) y la red de egos y alters (sin limitación del KPI de interés).

Respecto a la red de egos esta presenta unos resultados en todos los indicadores superiores respecto a la de egos-alters, lo que indica que en esta última hay más actores pero con pocas relaciones (< al 5 %).

En cuanto a los resultados de los indicadores de los egos, estos destacan por ser una red de alta densidad, pero con una distancia media entre los actores de la red, es decir, a pesar de ser una red densamente conectada la distancia entre ellos no es tan cercana. Este hecho se manifiesta mejor al observar el prestigio de entrada y salida. A pesar de tener un elevado prestigio de entrada a la red (hay un gran número de actores que son identificados por otros como prestigiosos), el grado de salida es bajo, lo que indica que los actores de esta red tienden a identificar a pocas personas como relevantes, es decir, tiende a concentrarse en pocas personas.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.06

Tabla 3. Indicadores de ARS para la red Tierra Bobal.

		Egos[1]	Egos-Alters[2]
Propiedad de la red	Densidad	19,50%	3,50%
Cohesión	Distancia	2,03	2,59
Centralidad	Prestigio (Degree In)	45,70%	19,90%
	Prestigio (Degree Out)	12,50%	12,10%
	Cercanía	35,01	2,09
	Intermediación	16,39%	6,58%
	Centralidad de flujo	11,14%	4,42%
	Reciprocidad	17,80%	14,80%
	Confianza (Degree In)	44,53%	16,95%

[1] *Egos* cuyo KPI de interés de participación ha sido igual o superior a 8.
[2] *Egos* sin tener en consideración KPI de interés de participación.
Fuente: elaboración propia a partir de UCINET.

Respecto a la intermediación, demuestra que existen un número pequeño de personas puente, lo cual no es positivo, ya que implica que existe un número de actores que siempre son utilizados como intermediarios. Esto entraña que, al no disponer de más intermediarios, estas personas disponen de un alto poder a la hora de conectar a otras o controlar información, hecho nada positivo hacia la construcción de CS pues este se basa, en esencia, en el intercambio de conocimiento (Valeri & Baggio, 2021). Esta situación se reafirma en la centralidad de flujo (con un valor medio) e identifica que existen unos pocos actores centrales y, por tanto, más populares. La reciprocidad, el conocimiento y reconocimiento entre los actores es bajo, guardando relación con el indicador de grado de salida, siendo también un aspecto negativo. Los actores reconocen a pocos actores de la red y tampoco se reconocen entre ellos. Dicho de otro modo, el reconocimiento se concentra en muy pocas personas y estas apenas reconocen al resto de actores. Por último, el indicador de confianza muestra en este caso un valor medio, lo que sugiere que a pesar de reconocer a pocos actores la confianza entre ellos es elevada. Hay que valorar este hecho como positivo pues, según Beritelli (2011) la confianza es el elemento central para estimular la colaboración y el compromiso entre actores.

Todas estas interpretaciones pueden observarse en el grafo de la figura 3. En él la cantidad de relaciones no es especialmente elevada entre los actores, incluso hay que no son reconocidos por otros actores (parte más externa de la red). Por el contrario, hay un conjunto de tres/cuatro actores bastante centrales y que concentran la mayor parte de las relaciones (actores ID17, ID1, ID4 e ID14). Destaca especialmente el conocimiento y reconocimiento entre los actores ID1, ID4 e ID17, los cuales forman un triángulo perfecto de conocimiento y de intercambio de relaciones.

En cuanto a la red de egos-alters esta crece, pero la mayoría de los actores se encuentran en la periferia con solo una relación, siendo la red de egos que anteriormente se comentaba la que se encuentra en el centro de la red con relaciones mucho más densas. Tal y como identificaría Moghfeli *et al.* (2022), las relaciones no son equilibradas en la red social y prueba de ello es la red de Tierra Bobal. Además, puede identificarse que el liderazgo se distribuye entre pocas personas (ID17, ID1, ID4 e ID14), las cuales tienen capacidad de influir, poder y control sobre los canales de comunicación. Ante este escenario debe de lograrse un liderazgo efectivo en el territorio, y aunque es complicado (Preston & Barnes, 2017) resulta fundamental para la mejora en la gestión de los problemas.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.06

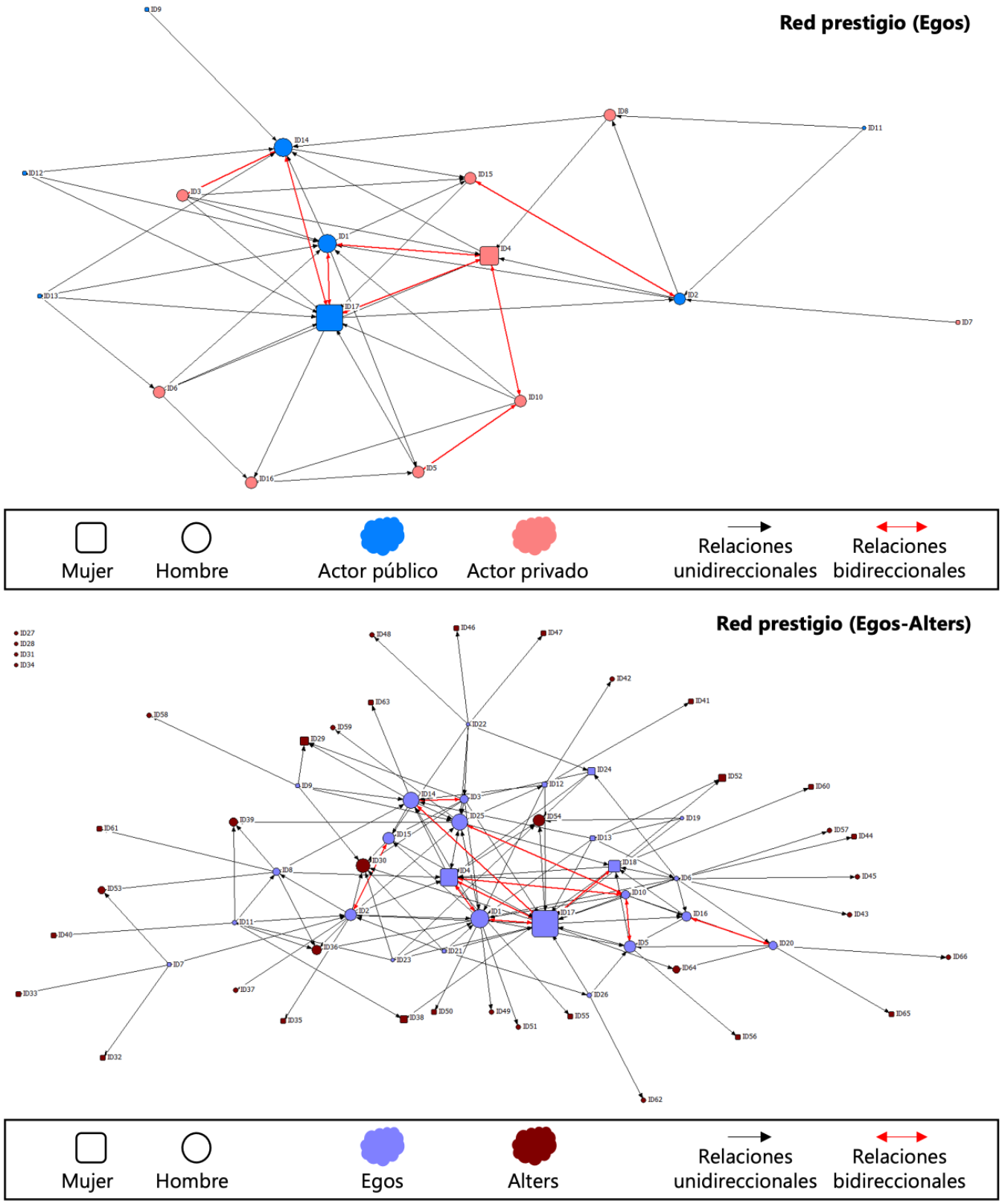


Figura 3. Red de prestigio de Egos y Egos-Alters de stakeholders en Tierra de Vino. Fuente: elaboración propia a partir de UCINET.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.06

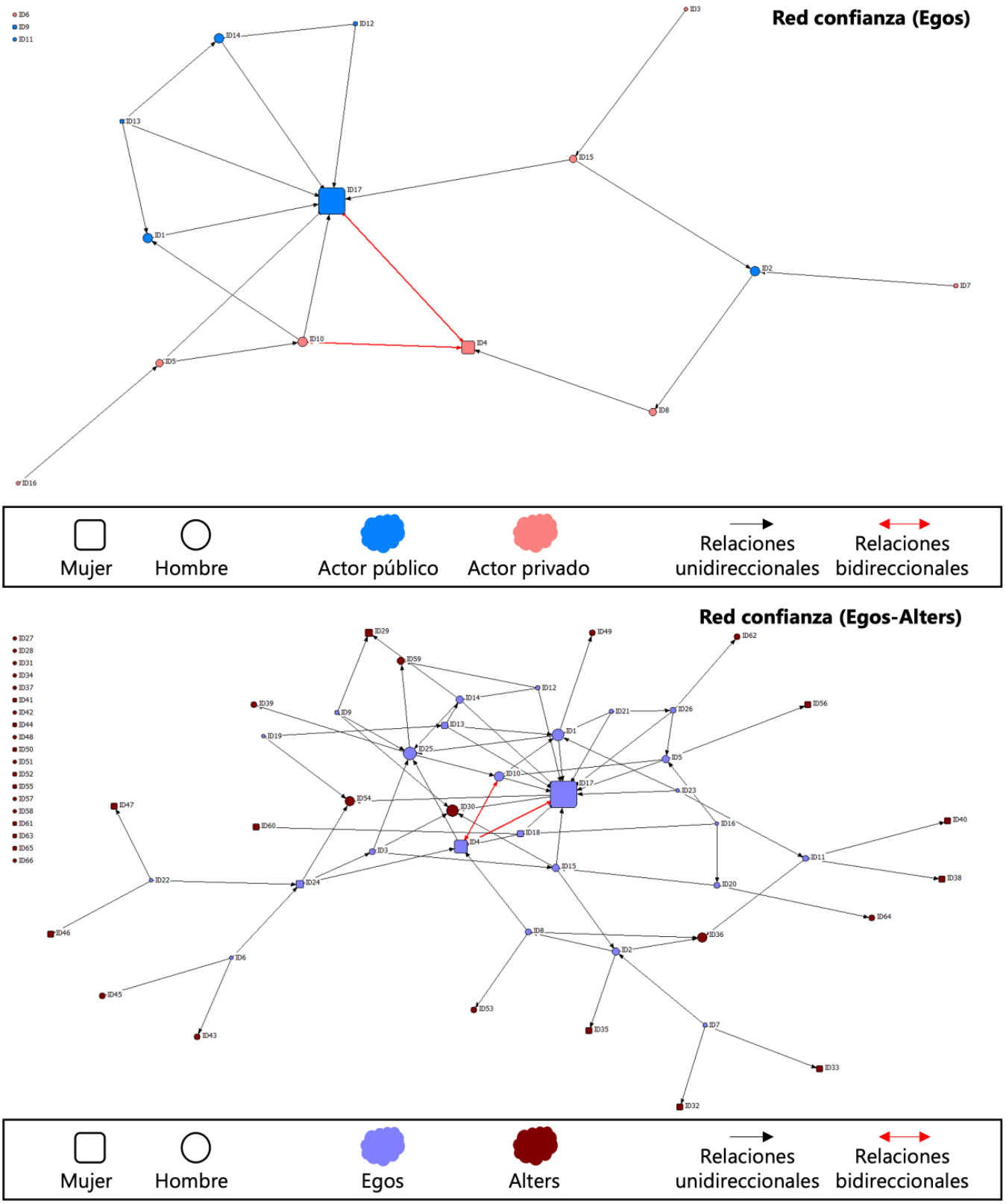


Figura 4. Red de confianza de Egos y Egos-Alters de stakeholders en Tierra de Vino. Fuente: elaboración propia a partir de UCINET.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.06

La red de confianza se presenta menos densa y la de relaciones mucho más cercanas que la de prestigio, pero tiende a una concentración mayor en pocas personas, especialmente en el ID 17 (figura 4), coincidiendo con lo explicado por Serrano y Esparcia (2023) sobre las relaciones de confianza y las de prestigio. Esto ocurre tanto en la red de Egos como la de Egos-Alters, siendo visible actores en los cuales no existen relaciones de confianza. En el caso de los Egos existe una concentración de prestigio en el actor ID17, pero, en cambio, este actor confía muy poco en el resto de los actores, lo cual vuelve a demostrar los problemas que presenta la red en relación con el grado de salida y la reciprocidad de las relaciones. Respecto a la red de Egos-Alters esta es mayor, pero las relaciones son menores que en la red de prestigio y con una amplia unidireccionalidad de las relaciones y concentración de la confianza ID17 e ID4.

Una vez analizada de forma conjunta la red de relaciones tanto Egos como Egos-Alters, puede delimitarse el listado de nueve actores, para la creación de una red de gobernanza turística en la comarca, a partir de la red de egos entrevistados con un KPI de implicación alto y de los indicadores de ARS (tabla 4). Para analizar de forma más clara y rápida cada indicador de ARS y los actores, se ha ordenado de mayor a menor el valor para cada indicador. Sin embargo, se ha sustituido ese valor por una etiqueta de nivel alto, medio o bajo siguiendo la clasificación expuesta en la Figura 2 para cada indicador.

Tabla 4. Indicadores individualizados de ARS en la red de Egos en Tierra Bobal.

Prestigio (In)		Confianza (In)		Cercanía		Centralidad de flujo		Intermediación		Reciprocidad	
ID17	Alto	ID17	Alto	ID17	Alto	ID14	Alto	ID17	Alto	ID10	Alto
ID1	Medio	ID4	Medio	ID14	Alto	ID2	Alto	ID2	Medio	ID4	Alto
ID14	Medio	ID1	Bajo	ID1	Alto	ID17	Medio	ID14	Medio	ID5	Medio
ID4	Medio	ID2	Bajo	ID4	Alto	ID5	Medio	ID1	Bajo	ID17	Medio
ID2	Bajo	ID10	Bajo	ID15	Alto	ID4	Medio	ID4	Bajo	ID14	Medio
ID15	Bajo	ID14	Bajo	ID2	Alto	ID10	Bajo	ID5	Bajo	ID3	Medio
ID5	Bajo	ID5	Bajo	ID5	Alto	ID1	Bajo	ID15	Bajo	ID15	Medio
ID16	Bajo	ID8	Bajo	ID16	Alto	ID15	Bajo	ID10	Bajo	ID1	Bajo
ID8	Bajo	ID15	Bajo	ID10	Alto	ID8	Bajo	ID8	Bajo	ID2	Bajo
ID10	Bajo	ID3	Nulo	ID3	Alto	ID16	Bajo	ID3	Bajo	ID6	Nulo
ID3	Bajo	ID6	Nulo	ID8	Alto	ID3	Bajo	ID16	Bajo	ID7	Nulo
ID6	Bajo	ID7	Nulo	ID6	Bajo	ID6	Bajo	ID6	Bajo	ID8	Nulo
ID7	Nulo	ID9	Nulo	ID11	Bajo	ID7	Nulo	ID11	Nulo	ID9	Nulo
ID9	Nulo	ID11	Nulo	ID13	Bajo	ID9	Nulo	ID13	Nulo	ID11	Nulo
ID11	Nulo	ID12	Nulo	ID7	Bajo	ID11	Nulo	ID7	Nulo	ID12	Nulo
ID12	Nulo	ID13	Nulo	ID12	Bajo	ID12	Nulo	ID12	Nulo	ID13	Nulo
ID13	Nulo	ID16	Nulo	ID9	Bajo	ID13	Nulo	ID9	Nulo	ID16	Nulo

Fuente: elaboración propia a partir de UCINET y Serrano & Esparcia, 2023.

En general, muy pocos actores concentran niveles muy altos en los diferentes indicadores, salvo el de cercanía. El actor ID17 lidera 4 de los 6 indicadores. Además, es necesario señalar un número importante de actores que no concentran niveles de cualquier indicador, de ahí que se destaque la tendencia a la concentración en pocos actores y, por tanto, que haya una importante dicotomía de pocos actores con niveles muy altos de prestigio, confianza o centralidad de flujo, y un gran número de actores con niveles medio y bajos de estos indicadores. Disponer de altos niveles de CS *bonding* y *bridging/linking* garantizaría tener un desarrollo mejor articulado e integrado, lo que aseguraría una sostenibilidad y consolidación de los procesos (Esparcia *et al.*, 2016).

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.06

Analizados el conjunto de indicadores de ARS para cada uno de los actores, se pueden delimitar los/las candidatos/as que deberían ser seleccionados para esta red de gobernanza: ID17, ID1, ID14, ID4, ID2, ID15, ID5, ID16, e ID8. No obstante, se cree necesario la delimitación de dos actores de reserva, que serían los actores ID10 e ID3. Esta clasificación está realizada con aquellos *stakeholders* que lideran los diferentes indicadores, de mayor a menor, y considerando el límite de 9 actores que, si bien está relacionado con el número de municipios integrantes en Tierra Bobal, no se corresponden directamente con cada uno de los territorios. Además, se consideró relevante dejar a dos actores como reserva, por si en alguno de los supuestos hubiera alguna baja de alguno de los 9 actores seleccionados.

4.2. Stock de capital social a partir del índice E-I: de la homofilia al aperturismo

Dentro de la red social y de los *stakeholders* que la componen, se pueden identificar y analizar un conjunto de subestructuras con el fin de identificar roles o funciones delimitados a partir de un conjunto de atributos. Dentro del análisis se ha tratado de contrastar las pautas en las relaciones de esas subestructuras presentes en la red, pero diferenciando el conjunto de relaciones internas y externas. De este modo se puede conocer el grado de apertura dentro de cada subestructura seleccionada y con ello el stock de CS. Cómo se ha podido analizar en la base teórica, dentro de los procesos de construcción del desarrollo, el estudio del CS es de gran interés. De ahí que conocer y analizar el conjunto de relaciones internas y externas presentes en la red social ayudará a analizar el estado del proceso de desarrollo. Por ello, se estudia la tipología del stock de CS interno y externo en un conjunto de cinco subestructuras: tipología de los actores, sexo, nivel de prestigio, nivel de confianza y subestructuras territoriales.

La primera de las subestructuras analizadas se basa en la tipología de cada uno de los *stakeholders* que han formado parte de la red, se ha delimitado el perfil entre: institucional, económico, técnico y otro (parados o jubilados). Esta característica es muy relevante y está presente en los procesos de desarrollo. El resultado del índice E-I (figura 9), muestra un valor observado, el cual es menor al esperado, aunque presenta un valor positivo por lo que se puede interpretar que esta subestructura denota cierta tendencia hacia la apertura, aunque no se puede decir que sea predominante. El porcentaje de relaciones externas es muy positivo, superando el 65 %, lo cual indica relaciones externas entre las diferentes tipologías de actores (Serrano & Esparcia, 2023). Sin embargo, se evidencian diferencias según tipologías: los actores técnicos e institucionales son los que presentan una mayor tendencia al aperturismo, también los actores jubilados o en paro; no obstante, los actores económicos son los que tienen una menor tendencia al aperturismo, siendo clara una tendencia hacia la homofilia, es decir, predominan las relaciones entre los actores económicos y menor medida con las otras tipologías de actores. Además, la prueba de significación estadística es positiva, se rechaza H_0 y se acepta H_1 (el valor de p es inferior a la significación), por lo que se puede decir que los resultados tienen significación estadística. Estos resultados evidencian la necesidad de contar con un modelo de gestión que responda y mejore la interacción entre los *stakeholders* (Pulido-Fernández & Pulido-Fernández, 2014), si se busca como indica Ledesma *et al.* (2022) la resolución de problemas comunes, la coordinación de acciones y la creación de soluciones conjuntas.

La segunda de las subestructuras analizadas se basa en una diferenciación por sexo de cada uno de los *stakeholders* que han forma parte de la red. Esta característica es muy relevante para conocer si es el colectivo de hombres o el de mujeres el que presentan relaciones más abiertas o cerradas en los procesos de desarrollo turístico. El resultado del índice E-I (tabla 5), muestra un valor observado que es mayor al esperado, aunque presenta un valor que es bastante próximo a 0, por lo que se puede interpretar que esta subestructura denota cierta tendencia a la igualdad entre relaciones internas y externas. Esto mismo se interpreta en el porcentaje de relaciones externas, el cual es del 50 %. Respecto a las relaciones entre los dos grandes colectivos analizados, se observan diferencias significativas. Por un lado, los hombres presentan un índice E-I negativo, lo cual se interpreta por un predominio de relaciones homofílicas, es decir, hay un predominio de relaciones entre hombres. Por otro lado, las mujeres presentan un índice E-I positivo, lo cual indica que existe un predominio de relaciones externas entre mujeres y hombres. Esta misma tendencia

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.06

fue identificada por Esparcia y Serrano (2016) y Serrano y Esparcia (2023) en procesos de desarrollo en zonas rurales, donde las mujeres a pesar de ser un colectivo menos numeroso disponían de relaciones más abiertas que el colectivo de hombres (Esparcia & Serrano, 2016).

Tabla 5. Criterios atribucionales y relacionales a través del índice E-I según diferentes subestructuras de los grupos de interés en Tierras del Vino.

		Tierra Bobal
Tipología	Índice E-I (Observado)	0,333
	Índice E-I (Esperado)	0,500
	P-valor (p < 0,05)	H_0
	% Conexiones externas	67%
	Índice E-I Institucionales	0,5
	Índice E-I Económicos	0,097
	Índice E-I Técnicos	0,394
	Índice E-I Otros	0,6
	Test Kolmogorov-Smirnov	H_1

		Tierra Bobal
Confianza	Índice E-I (Observado)	0,6
	Índice E-I (Esperado)	0,279
	P-valor (p < 0,05)	H_0
	% Conexiones externas	80%
	Índice E-I Confianza Nula	1
	Índice E-I Confianza Baja	0,138
	Índice E-I Confianza Media	1
	Índice E-I Confianza Alta	1
	Test Kolmogorov-Smirnov	H_1

Sexo	Índice E-I (Observado)	0,022
	Índice E-I (Esperado)	-0,029
	P-valor (p < 0,05)	H_0
	% Conexiones externas	51%
	Índice E-I Hombres	-0,246
	Índice E-I Mujeres	0,586
	Test Kolmogorov-Smirnov	H_1

Prestigio	Índice E-I (Observado)	0,556
	Índice E-I (Esperado)	0,397
	P-valor (p < 0,05)	H_0
	% Conexiones externas	78%
	Índice E-I Prestigio Nulo	1
	Índice E-I Prestigio Bajo	0,282
	Índice E-I Prestigio Medio	0,571
	Índice E-I Prestigio Alto	1
	Test Kolmogorov-Smirnov	H_1

Municipios	Índice E-I (Observado)	0,467
	Índice E-I (Esperado)	0,691
	P-valor (p < 0,05)	H_1
	% Conexiones externas	73%
	Índice E-I Municipio 1	-0,091
	Índice E-I Municipio 2	0,778
	Índice E-I Municipio 3	0,360
	Índice E-I Municipio 4	0,556
	Índice E-I Municipio 5	1
	Índice E-I Municipio 6	1
	Test Kolmogorov-Smirnov	H_1
	Identificación de los municipios	1: Utiel
		2: Requena
		3: Camporrobles
		4: Sinarcas
		5: Chera
		6: Venta del Moro

Fuente: elaboración propia a partir de UCINET.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.06

La tercera y cuarta subestructura analizadas se basan en el grado de entrada, pero diferenciando entre prestigio y confianza en cuatro niveles: nulo, bajo, medio y alto (Serrano & Esparcia, 2023). Los resultados de los índices E-I (figura 9), muestran en ambos casos una tendencia similar con un valor observado mayor al esperado, por lo que se puede interpretar que tanto en la estructura de prestigio como la de confianza se denota una cierta tendencia al aperturismo, más marcada en el caso de la confianza. Esta idea se refuerza en el porcentaje de relaciones externas, siendo 78 % en las relaciones de prestigio y del 80 % en la confianza. Este hecho es relevante, en tanto en cuanto va en línea con lo que Putnam (1994) indicó sobre la construcción de CS a través del trabajo colaborativo.

Respecto a las relaciones entre los cuatro grandes subgrupos analizados, se observan diferencias significativas. Por un lado, tanto en el prestigio como en la confianza los niveles nulo y alto presentan un resultado de 1, lo cual indica que la totalidad de sus relaciones son hacia personas con niveles de prestigio diferente al suyo, lo cual es positivo porque pone en valor la capacidad de intermediar y cercanía con otros actores mejor posicionados, pero también demuestra una falta de cohesión interna entre actores con alto prestigio o nulo, lo cual es una carencia.

Por otro lado, en los niveles bajo y medio de prestigio y en el nivel bajo de la confianza muestran un índice E-I mucho más equilibrado o con tendencia hacia las relaciones internas, lo cual es positivo por la interconexión entre los *stakeholders* de cada delimitación, pero con cierta tendencia a la homofilia lo cual no es realmente positivo, ya que falta un refuerzo de relaciones externas especialmente con actores que concentren altos niveles de prestigio y confianza. Además, la prueba de significación estadística es positiva, se rechaza H_0 y se acepta H_1 (el valor de p es inferior a la significación), por lo que se puede decir que los resultados tienen significación estadística.

La quinta y última subestructura es la de delimitación territorial, en este caso la de municipios. El objetivo es analizar si la localización de los *stakeholder* influye en la relación intramunicipal e intermunicipal. El resultado del índice E-I (tabla 5), muestra un valor observado menor al esperado, aunque presenta un valor positivo por lo que se puede interpretar que esta subestructura territorial denota una tendencia predominante hacia la apertura. El porcentaje de relaciones externas es muy positivo, superando el 70 %, lo cual indica relaciones externas entre los diferentes municipios que conforman el área de estudio.

Sin embargo, se evidencian diferencias según el municipio estudiado. Los municipios que presentan unos niveles de aperturismo elevados, aunque con ciertas relaciones internas, son los municipios de Camporrobles y Sinarcas. El municipio de Requena tiene una predominancia de relaciones externas mayoritariamente, lo que implica una necesidad de relaciones internas dentro de este municipio. Este hecho es más marcado todavía en Chera y Venta del Moro, donde el 100 % de sus relaciones son externas y hay una carencia de relaciones internas y, por tanto, de CS de cohesión. El punto discordante lo marca Utiel, el cual es el único municipio donde sus relaciones tienen levemente a la homofilia, es decir, predominan las relaciones entre actores del mismo municipio, aunque de forma leve. Además, la prueba de significación estadística es positiva, se rechaza H_0 y se acepta H_1 (el valor de p es inferior a la significación), por lo que se puede decir que los resultados tienen significación estadística.

Entre las principales evidencias del análisis de CS interno y externo, se demuestra la presencia de un gran número de relaciones externas, lo cual es muy positivo para la sostenibilidad y mantenimiento de los procesos de desarrollo turístico. No obstante, en algunos análisis de subestructuras demuestran una preocupante falta o no fortalecimiento de relaciones internas y, por tanto, de CS *bonding*. Por lo tanto, en atención a la figura 1, sobre los procesos de desarrollo territorial, al extrapolar los resultados obtenidos en el área de estudio, se evidencia un escenario 3, es decir, una comunidad local poco cohesionada, pero con tendencia a vínculos individuales con el exterior.

Los resultados de ARS y del índice E-I muestran una red con estructuras internas débiles, pero que su dinámica territorial y social se basa en el desarrollo, mantenimiento y fortalecimiento de vínculos externos. Sin embargo, estos vínculos externos tienden a realizarse de forma individualizada o personal con el exterior, de ahí que se asocie a posiciones activas dentro de la red, es decir, a aquellos actores mejor posicionados y más centrales de la red. La caracterización que realizan Esparcia, *et al.*, (2016) detalla la posibilidad de que actores de una red que podrían diseñar procesos de desarrollo satisfactorios, pueden incluso bloquear o

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.06

entorpecerlos a causa de la falta de articulación interna, la falta de alternativas entre las relaciones o la falta de cooperación entre los actores y/o estructuras. Estas características pueden verse reflejadas en la red analizada, ya que existe una excesiva concentración de prestigio y poder en muy pocos actores, por lo que pueden tener el control de información e incluso el bloqueo de determinadas acciones o procesos en beneficio del desarrollo turístico.

Esta excesiva dependencia de estos pocos actores puede dar lugar a desarrollar un doble sentimiento de frustración, por un lado, en los actores más activos por saturación e incluso perder su compromiso con los procesos y, por otro lado, por los actores menos activos, que ven una dependencia de siempre los mismos actores, es decir, inoperancia (Esparcia *et al.,* 2015). Este escenario, quizás, no permite gobernar con la máxima participación de actores estratégicos dificultando la generación de confianza entre el conjunto de *stakeholders* (más allá de los pocos actores activos) y la mejora de la coherencia (hacia el fin que se persigue con la red de gobernanza) que permitan aunar voces, sumar recursos y planificar de forma consensuada con un horizonte a largo plazo, tal y como sugiere Segittur (2016) en relación con la gobernanza aplicada a la gestión turística.

5. CONCLUSIONES

El estudio y análisis de las relaciones sociales entre *stakeholders* y, por tanto, del stock de CS en los procesos de desarrollo turístico requieren de una mayor atención tanto desde la esfera académica como desde el ámbito político-institucional, a diferentes niveles. En esta investigación se ha abordado el estudio de CS (interno y externo) de una zona rural del interior de la provincia de Valencia, para identificar la red de relaciones de los actores turísticos y la selección con un criterio objetivo de aquellos actores hacia la construcción de una red de gobernanza.

Para lograr este fin este estudio ha trabajado con indicadores de ARS y el índice E-I. La investigación ha revelado cómo la red de relaciones de los *stakeholders* presenta problemas internos, tanto una falta de cercanía como de intermediación generalizada. Esto implica una excesiva concentración del poder, así como de prestigio, confianza, centralidad de flujo, etc. en un número muy reducido de actores, especialmente en los más centrales. Este hecho puede ser muy negativo y perjudicial de cara a la cohesión de la red tanto interna como externa. Además, este hecho puede poner en riesgo el correcto desarrollo de los procesos turísticos, así como su propia sostenibilidad en el espacio y en el tiempo.

En cuanto al stock de CS interno y externo, las distintas subestructuras analizadas presentan amplios niveles de aperturismo, es decir, mayor stock de CS externo. Esto, aunque es positivo, debe compatibilizarse con un stock de CS interno, es decir, una mayor cohesión y fortalecimiento de las relaciones internas entre actores y territorios. Además, entre los aspectos que sería necesario cambiar destacan la tendencia homofílica del colectivo masculino, el cual tiende a relacionarse mayoritariamente entre hombres y no tanto con mujeres. También, el hecho de que haya una excesiva concentración de la información, poder, prestigio, etc. entre apenas cuatro actores puede influir en el correcto desarrollo del CS interno y de la red. Las redes endogámicas tienden a concentrar la información y pueden llegar a utilizarla como herramienta de control y poder, lo cual puede provocar grandes y graves diferencias entre los actores de la zona. Es por ello por lo que, a pesar de haber seleccionado el listado de 9 actores (más 2 suplentes) para la formación del nuevo equipo de gobernanza turística, podría ser necesario excluir alguno de los actores centrales para un mejor desarrollo de la red y evitar su excesiva influencia y control en el proceso.

El papel que los actores tienen en la red puede tener un doble fin, no siempre positivo: la excesiva dependencia y control que pueda realizar un único actor en la red puede desencadenar en una dependencia y restringir la libertad, así como ser aprovechado para usarse con fines personales. Además, puede fomentar la rivalidad y conflictos entre individuos y puede destruir la confianza y cooperación dentro de la red. Por ello, la exclusión está motivada a que prevalezca el interés mutuo por encima del interés particular.

De no hacerlo, el resultado afectaría con toda seguridad a la construcción de una red de gobernanza descentralizada, fin perseguido por Tierra Bobal. En el contexto actual se alejaría a la red de una PNG (*participant-governed network*), donde los actores poseen relaciones informales y horizontales, con una gestión descentralizada de abajo hacia arriba *en la que todos son responsables de la gestión interna y*

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.06

comparten objetivos comunes y la acercaría a una LOG (*Lead organization-governed network*) en la que prevalece la gestión centralizada y un poder asimétrico.

Si bien debe admitirse que no existe un modelo de desarrollo turístico ideal, Tierra Bobal debe alejarse de las concepciones tradicionalistas de construcción de relaciones basadas en la jerarquía y el poder. Remar hacia la gestión del destino basada en la construcción de redes entre actores en beneficio mutuo) debe ser el objetivo que garantice comunidades y procesos de desarrollo articulados e integrados, lo que asegura una sostenibilidad y consolidación de los procesos.

El estudio pone de manifiesto la necesidad de seguir apoyando el desarrollo turístico siguiendo un proceso de evaluación y análisis a los diferentes actores o colectivos que mejoren los procesos de participación y, especialmente, de toma de decisiones, pero de manera más objetiva, coherente y eficiente, sin responder necesariamente a otros parámetros enmarcados en las redes clientelares de programas y proyectos de desarrollo, especialmente en zonas rurales.

Dentro de esta investigación, además, se pone en relieve la necesidad de seguir reforzando las relaciones internas para la construcción de redes más sólidas y no jerarquizadas, sin olvidar las externas, en las diferentes subestructuras trabajadas. Quizás, nuevas investigaciones permitan extender la metodología hacia el desarrollo de ponderaciones que apliquen una valoración más proporcionada de las variables que se presentan en este trabajo (los indicadores individualizados de ARS), en lugar de aportar un valor cualitativo (alto, medio, bajo) con los que identificar a las mejores personas de la red.

Declaración responsable y conflicto de intereses

Los autores se comprometen a comunicar cualquier conflicto de intereses existente o potencial con relación a la publicación de su artículo. Las tareas realizadas por cada uno de los dos autores son: Metodología (Arnandis y Serrano), Trabajo de campo (Arnandis), Análisis de los datos (Arnandis y Serrano), Elaboración de figuras y tablas (Arnandis y Serrano), Redacción y revisión (Arnandis y Serrano).

REFERENCIAS

Arnstein, S. (1969). A ladder of citizen participation. *JAIP Journal of the American Institute of Planners, 35(*4), 216–224. https://doi.org/10.1080/01944366908977225

Badawy, M., Abd El-Aziz, A.A., Idress, A.M., Henfy, H., & Hassam, S. (2016) A survey on exploring key performance indicators. *Future Computing and Informatics Journal, 1*(1–2), 47–52. https://doi.org/10.1016/j.fcij.2016.04.001

Beaumont, N., & Dredge, D. (2010) Local tourism governance: a comparison of three network approaches. *Journal of Sustainable Tourism, 18*(1) 7-28. https://doi.org/10.1080/09669580903215139 Beritelli, P., Buffa, F., & Martini, U. (2015). The coordinating DMO or coordinators in the DMO? An alternative perspective with the help of network analysis. *Tourism Review, 70*(1), *24–42.* http://dx.doi.org/10.1108/TR-04-2014-0018

Bodin, O., & Crona, B.I. (2009). The Role of Social Networks in Natural Resource Governance: What Relational Patterns Make a Difference? *Glob. Environ. Chang, 19*, 366–374. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.05.002

Borgatti, S. P., Jones, C., & Everett, M. G. (1998). Network measures of social capital. *Connections, 21*(2), 27-36.

Bourdieu, P. (1986). The Forms of Capital. In J.G. Richards (Ed.) *Handbook of Theory and Research for the Sociology of Education* (pp. 241-258). Greenwood Press.

Buciega, A. (2009). El capital social como recurso de desarrollo. In J. Noguera, M.D. Pitarch, & J. Esparcia (Coord.) *Gestión y promoción del desarrollo local* (pp-67-96). Publicacions, de la Universitat de València.

Cacciutto, M. (2018). Implementación de programas de gestión asociada en entornos locales: el caso de Centros comerciales a cielo abierto en la ciudad del Mar de Plata. *Análisis de las percepciones de su población objetivo, Turismo y Sociedad*, *23*, 41-58. https://doi.org/10.18601/01207555.n23.03

Cadger, K., Quaicoo, A.K., Dawoe, E., & Isaac, M.E. (2016). Development Interventions and Agriculture Adaptation: A Social Network Analysis of Farmer Knowledge Transfer in Ghana. *Agriculture, 6,* 32. https://doi.org/10.3390/agriculture6030032

Carrington, P., Scott, J., & Wasserman, S. (2005). *Models and methods in social network analysis*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511811395

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.06

Coleman, J. (1982). *Systems of trust. A rough theoretical framework*. *Angew. Soz., 10*, 277–299.

Coleman, J. (1990). *Foundations of social theory*. Belknap Press of Harvard University Press.

Comisión de las Comunidades Europeas (2001). *La Gobernanza Europea. Un libro blanco.* https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex%3A52001DC0428

Comisión de las Comunidades Europeas (2004). *Libro Verde. Sobre la colaboración público- privada y el derecho comunitario en materia de contratación pública y concesiones*. COM (2004) 427 final.

Del Chiappa, G., & Presenza, A. (2013). The use of network analysis to assess relationships among stakeholders within a tourism destination: an empirical investigation on Coast Smeralda-Gallura, Italy. *Tourism Analysis, 18*(1), 1-13 https://doi.org/10.3727/108354213X13613720283520

Díaz Rocca, L.H., & Zielenski, S. (2022). Community-based tourism, social capital and governance of post- conflict rural tourism destinations: the case of Minca, Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Tourism Management Perspectives, 43*, https://doi.org/10.1016/j.tmp.2022.100985

Durston, J. (2000). *¿Qué es el capital social comunitario?* Cepal. División de Desarrollo Social, Serie políticas sociales**, (**38), 42.

Esparcia, J. (2017). Capital social y desarrollo territorial: Redes sociales y liderazgos en las nuevas dinámicas rurales en España. [Thesis, Universitat Autònoma de Barcelona]. https://www.tdx.cat/handle/10803/457367#page=1

Esparcia, J., Escribano, J., Sánchez, D., & Rubio, P. (2014). Leadership and power: an approach from social networks in rural areas in Spain. In *Social Networks and Local Development*, 1st European Conference on Social Networks, Barcelona, July 1st-4th.

Esparcia, J., Escribano, J., & Buciega, A. (2015). A perspective of LEADER method in Spain based on the analysis of local action groups. In L. Granberg, K. Andersson, & I. Kovach (Eds.), *Evaluating the European Approach to Rural Development* (pp.33-51). Grass-roots Experiences of the LEADER Programme. Ashgate Publisher.

Esparcia, J., Escribano, J., & Serrano, J. (2015b). From development to power relations and territorial governance: Increasing the leadership role of LEADER Local Action Groups in Spain. *Journal of Rural Studies*., (42), 29–42 https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2015.09.005

Esparcia, J., & Serrano, J. (2016). Analysing social networks in rural development: a gender approach, *International Review of Social Research, 6*(4), 206-220. https://doi.org/10.1515/irsr-2016-0023

Esparcia, J., Escribano, J., & Serrano, J. (2016). Una aproximación al enfoque del capital social y a su contribución al estudio de los procesos de desarrollo local. *Investigaciones Regionales*, (34), 49–71.

Farinós Dasi, J. (2008) Gobernanza Territorial para el desarrollo sostenible: estado de la cuestión y agenda. *Boletín de la A.G.E*, (46), 11 – 32.

Falk, I., & Kilpatrick, S. (2002). What is social capital? A study of interaction in a rural community. *Sociologia ruralis, 40*(1), 87-110. https://doi.org/10.1111/1467-9523.00133

Federación Española de Municipios y Provincias FEMP. (2008). *Modelos de Gestión Turística Local. FEMP.*

Fukuyama, F. (2001). Social capital, civil society and development. *Third World Quarterly*, *22*(1), 7-20. https://doi.org/10.108/01436590020022547

Gava, O., Vanni, F., Schwarz, G., Guisepelli, E., Vincent, A., Prazan, J., Weisshaidinger, R., Frick, R., Hrabalová, A., Carolus, J., Iragui Yoldi, U., Pyysiäinen, J., Smyrniotopoulou, A., Vlahos, G., Balázs, K., János Szilágyi, A., Jegelevičius, G., Mikšytė, E., Zilans, A., Frățilă, M., Röös, E., Miller, D., & Povellato, A., (2025). Governance networks for agroecology transitions in rural Europe. *Journal of Rural Studies, 114*. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2024.103482

Ghorbani, M., & Azadi, H. A (2021). *Social-Relational Approach for Analyzing Trust and Collaboration Networks as Preconditions for Rangeland Co-Management. Rangeland Ecology & Management*, *75*, 170–184. https://doi.org/10.1016/j.rama.2020.10.008

Gimeno Feliu, J.M. 2021. *Los retos del futuro de la contratación pública: los ODS y la experiencia de la pandemia*. Observatorio de la Contratación Pública. https://www.obcp.es/opiniones/los-retos-de-futuro-de-la-contratacion-publica-los-ods-y-la-experiencia-de-la-pandemia

Hall, M. (2011) A typology of governance and its implications for tourism policy analysis. *Journal of Sustainable Tourism, 19*(4-5), 437–457. https://doi.org/10.1080/09669582.2011.570346

Hanneman, R., & Riddle, M. (2005). *Introduction to social network methods.* Universidad de California.

Haro González, A. (2014) La gobernanza de los convenios de colaboración en España: la gestión participativa del turismo frente la jerarquización de la acción social. *Ara*, *4*(1), 27–36. https://doi.org/10.1344/ara.v4i1.19037

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.06

Hernández, E., Camacho, R., Silván, A., Rojas-Martín, F., & Stan, L. (2018). *Gobernanza participativa local. Construyendo un nuevo marco de relación con la ciudadanía.* Federación Española de Municipios y Provincias. http://femp.femp.es/files/3580-1936-fichero/GOBERNANZA%20PARTICIPATIVA%20LOCAL.pdf

Klijn, E-H., & Koppenjan, J. (2016). *Governance networks in the public sector*. Routledge.

Ledesma González, O. (2021). Redes de gobernanza y complejidad de la planificación territorial. *Cuadernos Geográficos*, *60*(2), 91–104. https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v60i2.15619

Ledesma González, O. (2023). Análisis de redes de gobernanza en destinos turísticos: una aplicación práctica. *Boletín de la Asociación Española de Geografía*, (97), 1-39. https://doi.org/10.21138/bage.3367

Ledesma, O., Merinero, R., & Pulido, J.L. (2022). Actor network and development of cultural tourist destination. In C. Ribeiro de Almeida, J. Martins, A. Gonçalves, S. Quinteiro, & M. Gasparini (Eds.) *Handbook of Research on Cultural Tourism and Sustainability*, IGI Global, 209-230. https://doi.org/10.4018/978-1-7998-9217-5

Lee, J., Árnason, A., Nightingale, A., & Shucksmith, M. (2005). Networking. social capital and identities in European rural development. *Sociología Rural*, (45), 269–283. https://doi.org/10.1111/j.1467-9523.2005.00305.x

Lin, N. (2001). *Social Capital. A Theory of Social Structure and Action.* Cambridge University Press, Structural Analysis in the Social Sciences

López-Roldán, P., & Alcaide, V. (2011). El capital social y las redes personales en el estudio de las trayectorias laborales. *Redes. Revista hispana para el análisis de redes sociales*, (20), 51-80. https://doi.org/10.5565/rev/redes.409

López, J. M., & López, L. M. (2004). Evolución y perspectivas del enfoque interdisciplinario en el estudio del turismo. *Estudios Turísticos,* (160), 31-44.

Lozares, C., & Sala, M. (2010). Capital social, cohesión social y uso de la lengua. *REDES*, (20), 204–231. https://doi.org/10.5565/rev/redes.413

Lozares, C., López Roldán, P., Verd, J. M., Martí, J., & Molina, J. L. (2011). Cohesión, Vinculación e Integración sociales en el marco del Capital Social. *REDES. Revista hispana para el análisis de redes sociales*, (20), 1-28. https://doi.org/10.5565/rev/redes.407

Lozares, C., & Verd, J.M. (2011). De la Homofilia a la Cohesión social y viceversa. *REDES*. *Revista hispana para el análisis de redes sociales*, (20), 29–50. https://doi.org/10.5565/rev/redes.408

Lubbers, M., Molina, J.L., Brandes, U., Ávila, J., & Mccarty, C. (2010). Longitudinal analysis of personal networks. The case of Argentinean migrants in Spain. *Soc. Netw., 32*, 91–104. https://doi.org/10.1016/j.socnet.2009.05.001

Marqués, P., & Muñoz, M. (2014). Capítulo I. Análisis de redes sociales. Definición y conceptos básicos. In M. del Fresno, P. Marqués & D. Paunero, *Conectados por redes sociales Introducción al análisis de redes sociales y casos de estudio* (pp.21-55). Editorial UOC.

Martínez Valle, A. (2016) *Vino y sociedad en la meseta de Requena – Utiel en época ibérica.* [Tesis doctoral]. https://rua.ua.es/dspace/

Merinero, R., & Ledesma, O. (2022). Patrimonio, territorio y turismo: una perspectiva desde el Análisis de Redes Sociales (ARS). *Architecture, City and Environment*., *14* (50). https://doi.org/10.5821/ace.17.50.11018

Merinero, R., & Pulido, J.I. (2016). Analysing relationships in tourism: a review. *Tourism Management, 54,* 122-130. https://doi.org/10.1016/j.tourman.2015.10.010

Moghfeli, Z., Ghorbani, M., Reza, M., Amin, M., Azadi, H., & Scheffran, J. (2022). Social capital and farmers' leadership in Iranian rural communities: Application of social network analysis. *J. Environ. Plan. Manag*. *66*, 977–1001. https://doi.org/10.1080/09640568.2021.2008329

Molina, J.L. (2001). *El análisis de redes sociales.* Bellaterra.123.

Naderi, A., Nasrolahi Vosta, L., Ebrahimi, A., & Jalilvand, M.R. (2019). The contributions of social entrepreneurship and transformational leadership to performance: Insights from rural tourism in Iran. *Int. J. Sociol. Soc. Policy*, *39*, 719–737. https://doi.org/10.1108/IJSSP-06-2019-0124

Organización Mundial del Turismo (2004). *Cooperación y asociaciones en turismo: Una perspectiva mundial*. OMT.

Park, D., Nunkii, R., & Yoon, Y. (2015). Rural residents' attitude to tourism and the moderating effects of social capital, *Tourism Geographies: an international journal of tourism space, place and evironment*, *17*(1), 112-123. https://doi.org/10.1080/14616688.2014.959993

Piqueras Haba, J., & Sanchís Deusa, C, (1986) La población y el poblamiento en la comarca de Requena – Utiel. *Cuadernos de Geografía*, (39-40), 331–344.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.06

Podda, A. (2016). Meccanismi di costruzione e valutazione del capitale sociale attraverso la Social Network Analysis. Il ruolo dei Gruppi di Azione Locale (GAL). *Sociol. Del Lav.*, *143*, 127–146. https://doi.org/10.3280/SL2016-143008

Portes, A. (1998) Social capital. its origins and applications in modern sociology. *Annual Review of Sociology, 24*, 1–24. https://doi.org/10.1146/annurev.soc.24.1.1

Presenza, A., & Cipollina, M. (2010). Analysing tourism stakeholders networks. *Tourism Review, 65*(4), 17–30. http://dx.doi.org/10.1108/16605371011093845

Preston, J.P., & Barnes, K.E. (2017). Successful Leadership in Rural Schools: Cultivating Collaboration. *Rural Education*, *38*, 6–15. https://doi.org/10.35608/ruraled.v38i1.231

Provan, K., & Kenis, P. (2007). Modes of network governance: Structure, management, and effectiveness. *Journal of Public Administration Research and Theory, 18*(2), 229–252. https://doi.org/10.1093/jopart/mum015

Pulido - Fernández, M., & Pulido - Fernández, J. I. (2014), ¿Existe gobernanza en la actual gestión de los destinos turísticos? Estudio de caso. *Pasos: Revista de turismo y patrimonio Cultural, 12*(4), 68 –705. https://doi.org/10.25145/j.pasos.2014.12.050

Pulido, J.I., & Merinero, R. (2018). Destinations relational Dynamic and Tourism Development. *Journal of Destinations Marketing and Management*, *7*, 140-152. https://doi.org/10.1016/j.jdmm.2016.09.008

Putnam, R. (2000). *Bowling alone. The collapse and revival of American community*. Simon and Schuster. https://doi.org/10.1145/358916.361990

Ramírez, O., Cruz, G., & Serrano, R. (2019). Turismo y capital social: vacíos y oportunidades de investigación, *Turismo y Sociedad*, (24), 25-49. https://doi.org/10.18601/01207555.n24.02

Ray, C. (2009). Neo-endogenous rural development in the EU. In P. Cloke, T. Marsden, & P. Mooney (Eds.) *The Handbook of Rural Studies* (pp. 278-291). SAGE. https://doi.org/10.4135/9781848608016.n19

Reina-Usuga, L., Camino, F., Gomez-Casero, G., & Jara Alba, C.A. (2024). Rural tourism initiatives and their relationship to collaborative governance and perceived value: A review of recent research and trends. *Journal of Destination Marketing & Management, 34*. https://doi.org/10.1016/j.jdmm.2024.100926

Requena, F. (1996). Redes sociales y cuestionarios. *CIS, Cuadernos metodológicos,* (18), 57.

Sanz, L. (2014). Análisis de redes sociales. o cómo representar las estructuras sociales subyacentes. *Apunt. Cienc. Y Tecnol.*, (7), 21–29. https://doi.org/10.4067/S0250-71612015000300002

Saz-Gil, M.I., & Gómez-Quintero, J.D. (2015). Una aproximación a la cuantificación y caracterización del capital social: una variable relevante en el desarrollo de la provincia de Teruel, España. *EURE (Santiago), 41*(123), 29-51.

Segittur (2016). *Gobernanza en un destino turístico inteligente: juntos, más inteligentes*. https://www.segittur.es/blog/destinos-turisticos-inteligentes/gobernanza-destino-turistico-inteligente-juntos-mas-inteligentes/

Serafí, J., Agost, M. R., & Fuertes, A. M. (2010*). Estudio del capital social a partir de redes sociales y su contribución al desarrollo socioeconómico. el colectivo de inmigrantes rumanos en la provincia de Castellón*. CeiMigra (Cuadernos de investigaciones).

Serrano, J., Arnandis, R., & Pitarch, M.D. (2020). Análisis bibliométrico de las relaciones entre capital social, redes sociales y turismo. In Farinós, J. *et al.* (Eds.) *Desafíos y oportunidades de un mundo en transición: Una interpretación desde la Geografía* (pp. 359-374). Servei de Publicacions de la Universitat de València y Tiran lo Blanch.

Serrano, J.J., & Esparcia, J. (2023). Diagnosis of Rural Development Processes Based on the Stock of Social Capital and Social Networks: Approach from E-I Index. *Land* 2023, *12*(7), 850. https://doi.org/10.3390/land12040850

Shortall, S. (2008). Are rural development programmes socially inclusive? Social inclusion, civic engagement, participation, and social capital. Exploring the differences. *Journal of Rural Studies, 24*, 450–457. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2008.01.001

Sorensen, E., & Torfing, J. (Eds.) (2007). *Theories of Democratic Networks Governance*. Palgrave Macmillan. https://doi.org/10.1057/9780230625006

Teilmann, K. (2012). Measuring social capital accumulation in rural development. *Journal Rural Studies*, *28,* 458–465. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2012.10.002

Valeri, M., & Baggio, R. (2021). Social network analysis: organizational implications in tourism management. *International Journal of Organizational Analysis, 9*(2), 342-353. https://doi.org/10.1108/IJOA-12-2019-1971

Van der Zee, E., & Vanneste, D. (2015). Tourism networks unravelled; A review of the literature on networks in tourism management studies*. Tourism Management Perspectives, 15,* 46–56*.* http://dx.doi.org/10.1016/j.tmp.2015.03.006

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.06

Wasserman, S., & Faust, K. (2013). *Análisis de Redes Sociales. Métodos y Aplicaciones*. Centro de Investigaciones Sociológicas.

Wasserman, S., & Galaskiewicz, J. (1994). *Advances in Social Networks Analysis*. SAGE Publications.

Woolcock, M. (1998). Social capital and economic development. Toward a theoretical synthesis and policy framework. *Theory and Society*, (27), 151-208. https://doi.org/10.1023/A:1006884930135

Woolcock, M. (2000). Managing risk, shocks, and opportunity in developing economies. The role of social capital. *World Bank*, *1,* 20–22.

Woolcock, M., & Narayan, D. (2000). Social Capital. Implications for Development Theory, Research and Policy, *World Bank Research Observer, 15*(2), 225-249. https://doi.org/10.1093/wbro/15.2.225

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.06

ANEXO I

Bloque 1: datos de clasificación

1.1. Nombre y apellidos
1.2. Nivel de formación
1.3. Tipología de su puesto de trabajo actual
1.4. Relación con el territorio de la Mancomunidad del Interior Tierra del Vino (MITV)
1.5. Conocimientos sobre la realidad demográfica, económica, de infraestructuras, servicios públicos, etc. sobre el territorio que abarca MITV
1.6. Mi actividad profesional está relacionada con el turismo
1.7. Mi entorno profesional está relacionado con el turismo

Bloque 2: Valoración del conocimiento sobre la gestión turística de la MITV

2.1. La estrategia turística actual llevada a cabo por la MITV en el territorio persigue unos objetivos claros y coherentes
2.2. La estrategia turística actual llevada a cabo por la MITV es comunicada a los actores implicados en el territorio
2.3. La MITV informa adecuadamente a los actores turísticos presentes en el territorio de las actuaciones que se llevan a cabo en materia turística y de su evolución
2.4. La MITV se caracterizar por ser una entidad abierta que fomenta la participación de actores turísticos del territorio para la mejora de la toma de decisiones
2.5. Puedo afirmar que poseo un conocimiento adecuado sobre la actividad turística en el territorio de la MITV
2.6. ¿Qué cuestiones, en relación con la gestión del turismo desde el ámbito público, considera usted esenciales para su éxito?
2.7. ¿En qué grado considera que estas cuestiones están presentes en la estrategia turística llevada a cabo por la MITV?

Bloque 3: Red de contactos

3.1. Indíqueme, en su opinión, qué personas (con nombre, apellido y cargo) son importantes (relevantes) para el desarrollo turístico de la MITV
3.2. De las personas anteriormente citadas por usted, indíqueme tres con las que tiene mayor confianza. Por ejemplo, si tuviera una dificultad profesional ¿a quién acudiría?
3.3. Indique para cada una de las personas que le voy a nombrar a continuación el grado de confianza
3.4. A menudo, profesionales, vecindario, empresariado y/o políticos se han dirigido a mí para pedirme consejo, ayuda u opinión sobre cuestiones profesionales

Bloque 4: Implicación previa en procesos participativos

4.1. ¿Cuál es su opinión sobre la apertura de las administraciones públicas a la participación de actores de diferente naturaleza (públicos, privados, civiles) en los asuntos públicos?
4.2. ¿Ha participado en procesos públicos y abiertos para mejorar cuestiones de interés general en su territorio (jornadas, talleres, seminarios, asambleas cívicas, presentaciones de planes, etc.)?
4.3. ¿Qué aspectos considera usted que deberían cambiar para implicarle en este tipo de estructuras de participación?

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.06

Bloque 5: Sobre la estructura

5.1. Indíqueme su grado de acuerdo sobre la idoneidad de crear un órgano de participación dentro de la MITV para tratar asuntos que afecten al desarrollo turístico.
5.2. Las personas que formen parte de esta estructura participativa deben ser elegidas por su conocimiento sobre el turismo y por su capacidad de movilizar a otras personas entidades.
5.3. Las personas que formen parte de esta estructura participativa no deben estar condicionadas por los procesos electorales (ser elegidas por cargos públicos)
5.4. El período de pertenencia a esta estructura participativa debe ser itinerante en el tiempo
5.5. Las decisiones que se tomen en esta estructura de participación para el desarrollo turístico deben ser vinculantes para la MITV
5.6. Las personas que formen parte de esta estructura participativa deben tener una compensación por su labor
5.7. ¿Qué tipo de compensación esperaría usted?

Bloque 6: Motivación personal

6.1. Considero que podría aportar propuestas y/o evaluar actuaciones relacionadas con el turismo del territorio de la MITV
6.2. Estaría interesado/a en formar parte de una estructura de participación para el desarrollo turístico de la MITV
6.3. En caso de tener inconvenientes ¿cuáles son para no poder formar parte de un equipo participativo de desarrollo turístico para la MITV?
6.4. ¿Qué aspectos propiciarían su compromiso para participar en este equipo de desarrollo turístico?
6.5. Si decidiera formar parte de esta estructura participativa ¿en qué medida considera necesaria la presencia física de las personas integrantes del equipo?
6.6. ¿En qué medida utiliza aplicaciones web o móvil para comunicarse con otras personas (Skype, zoom, whatsapp video,etc)?

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.06

Revista de Estudios Andaluces (REA) | Núm. 50, julio (2025) | e-ISSN: 2340-2776
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50 | © Editorial Universidad de Sevilla 2025
https://editorial.us.es/es/revistas/revista-de-estudios-andaluces
https://revistascientificas.us.es/index.php/REA
CC BY-NC-SA 4.0.

Spatial analysis of CO_2 emissions and their relationship with economic activity in the states of Mexico

Análisis espacial de las emisiones de CO_2 y su relación con la actividad económica en los estados de México

Abril Yuriko Herrera-Ríos
yurikoherrera@uas.edu.mx 0000-0001-9301-9285
Facultad de Ciencias Económicas y Sociales, Universidad Autónoma de Sinaloa, Ciudad Universitaria, Blvd. Universitarios, Avenida de las Américas, Unidad 3, s/n. 80010 Culiacán - Sinaloa, México.

INFO ARTÍCULO

Received: 20/01/2025
Revised: 10/03/2025
Accepted: 05/04/2025

KEYWORDS

Spatial econometrics
CO_2 emissions
Spatial error model

PALABRAS CLAVE

Econometría espacial
Emisiones de CO_2
Modelo de error espacial

ABSTRACT

The present study uses a spatial econometric model to analyze the relationship between carbon dioxide emissions, economic activity, and the state population in Mexico. Official data from 2022 were used, integrating financial, demographic and spatial variables. The results highlight that the Gross State Domestic Product and the population positively and significantly impact emissions. In addition, relevant spatial patterns were identified, highlighting the need to consider economic, demographic, and spatial factors in formulating public policies. This approach allows us to understand the regional interdependence in generating emissions and proposes strategies to design more effective environmental policies. It is concluded that mitigation policies must consider both economic dynamics and spatial interactions to maximize their effectiveness.

RESUMEN

El presente estudio analiza la relación entre las emisiones de dióxido de carbono, la actividad económica y la población estatal en México, utilizando un modelo econométrico espacial. Se emplearon datos oficiales del año 2022, integrando variables económicas, demográficas y espaciales. Los resultados destacan que el Producto Interno Bruto Estatal y la población tienen un impacto positivo y significativo en las emisiones. Además, se identificaron patrones espaciales relevantes, donde las emisiones de una entidad están influenciadas por las de sus vecinas. Este enfoque permite entender la interdependencia regional en la generación de emisiones y propone estrategias para diseñar políticas ambientales más efectivas. Se concluye que las políticas de mitigación deben considerar tanto las dinámicas económicas como las interacciones espaciales para maximizar su efectividad.

DOI: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.07
Formato de cita / Citation: Herrera-Ríos, A.Y. (2025). Spatial analysis of CO_2 emissions and their relationship with economic activity in the states of Mexico. *Revista de Estudios Andaluces,*(50), 136-152. https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.07
Correspondencia autora: yurikoherrera@uas.edu.mx (Abril Yuriko Herrera-Ríos)

1. INTRODUCTION

Climate change represents one of the greatest global challenges of the 21st century, with significant impacts on natural and socioeconomic systems. Greenhouse gas (GHG) emissions, particularly carbon dioxide (CO_2), are recognized as major contributors to global warming. Global CO_2 emissions from human activity reached 36.3 gigatonnes in 2021, according to data from the Global Carbon Project (Friedlingstein *et al.*, 2022). This level of emissions reflects a post-pandemic economic recovery but also underscores the persistent dependence on fossil fuels.

At the national level, Mexico is one of the leading emitters of GHG in Latin America, with approximately 440 million tonnes of CO_2 emitted in 2021, according to the National Institute of Ecology and Climate Change (INECC, for its acronym in Spanish) (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2022). These emissions are closely linked to economic activity, as sectors such as transport, electric power generation and the manufacturing industry are responsible for a substantial part of the national total. Furthermore, the emissions pattern in Mexico presents significant geographic heterogeneity, reflecting the differences in the distribution of economic and industrial activities between states.

At the international level, initiatives such as the Paris Agreement and the Union Nations Sustainable Development Goals (SDG) seek to mitigate GHG emissions by promoting sustainable and renewable energy strategies (UNFCCC, 2015). Developed countries, such as Germany and Sweden, have managed to decouple their economic growth from CO_2 emissions thanks to proactive policies in the energy transition and improvements in efficiency (International Energy Agency, 2021). In contrast, developing countries face significant challenges due to their dependence on conventional energy sources.

The interrelationship between economic development and CO_2 emissions poses a key dilemma for policymakers: how to foster economic growth without exacerbating environmental impact. In Mexico, this issue takes on an urgent character due to the international commitments made under the Paris Agreement, where the country pledged to reduce its total GHG emissions by 22% by 2030, taking 2013 levels as a reference (Gobierno de México, 2020). However, achieving this goal requires a detailed analysis of the underlying dynamics between economic activity and emissions and the spatial disparities in their distribution.

Although numerous studies have explored the relationship between economic growth and greenhouse gas emissions (Stern, 2004; Shahbaz *et al.*, 2013; Dong *et al.*, 2018), few have incorporated a spatial approach considering regional interactions. Recent studies using spatial econometrics and geographic modeling have highlighted the importance of spatial spillovers in emissions, showing that pollution levels in one region are influenced by neighboring economic activity and environmental policies (Zhang & Broadstock, 2020; Zhao *et al.*, 2022; You *et al.*, 2023). These interactions are particularly relevant in the case of Mexico, where the federal states are economically and geographically interconnected, generating spatial patterns of dependence that traditional models do not adequately capture. Furthermore, the impacts of climate change, such as droughts and extreme weather events, exacerbate the socioeconomic vulnerabilities of the country's poorest regions.

In the global context, countries with advanced economies have partially decoupled economic growth from CO_2 emissions thanks to transitions towards renewable energy sources and improvements in energy efficiency. For example, the European Union reduced its emissions by 34% between 1990 and 2020 despite a GDP growth of approximately 60% in the same period (European Environment Agency, 2023).

Economic growth in developing countries such as Mexico remained closely linked to increased CO_2 emissions. For instance, between 2021 and 2024, Mexico's Gross Domestic Product (GDP) grew at an average annual rate of 2.8%, while CO_2 emissions followed a similar upward trend, demonstrating a persistent coupling between economic expansion and environmental impact (Emission Index, 2021; Trading Economics, 2022; El País, 2025). Furthermore, states such as Nuevo León and the Estado de México concentrate elevated economic activity and emissions levels. In contrast, states such as Chiapas and Oaxaca show lower contributions in both indicators. This pattern aligns with research emphasizing that economic hubs exhibit higher environmental footprints due to industrial concentration and urbanization (Zhao *et al.*, 2022; You *et al.*, 2023).

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.07

This study hypothesizes that CO_2 emissions in Mexico are positively correlated with economic activity, measured through the Gross State Domestic Product (GSDP), and with the state population, as an indicator of demographic pressure. In addition, it is assumed that there are significant spatial effects, where emissions influence emissions in one state in neighboring states due to economic integration and geographic proximity.

Therefore, this study aims to analyze the spatial distribution of CO_2 emissions in relation to economic activity and population in the states of Mexico, using a spatial econometric model (Spatial Error Model, SEM). This approach allows spatial interactions between states to be captured and provides a comprehensive perspective for the design of environmental policies. In particular, the study seeks to evaluate the relationship between GDP and CO_2 emissions at the state level, analyze the role of population in CO_2 emissions, identify spatial patterns of dependence between federative states, and propose recommendations for designing environmental policies based on the model's findings.

2. THEORY

2.1. Spatial econometrics

Spatial econometrics is a specialized field that addresses the challenges inherent in analyzing georeferenced data by integrating spatial dependence and heterogeneity into econometric models (Anselin, 2013). This approach allows for modeling phenomena exhibiting spatial patterns, such as the distribution of greenhouse gas (GHG) emissions and economic activity. It offers tools to avoid biased estimates that do not consider regional interactions (Bivand & Piras, 2015).

Georeferenced data have become increasingly important in economic and environmental studies in recent decades due to their ability to capture complex spatial dynamics. The integration of georeferencing technologies, such as Geographic Information Systems (GIS) and remote sensing data, has significantly expanded the applications of spatial econometrics. According to LeSage & Pace (2009), these data provide information on geographic location and identify interaction patterns essential for understanding phenomena such as wealth distribution, trade flows, and environmental impacts.

A key component of spatial econometrics is the spatial weights matrix, which defines how regions are interconnected and is essential for capturing spatial relationships in the data. These matrices are built under different criteria, such as geographic contiguity, Euclidean distance, or the intensity of economic relationships between regions. For example, in a contiguity-based matrix, two regions are considered connected if they share a common border. In contrast, in a distance-based matrix, connections are defined according to the geographic proximity between the centers of the regions (Anselin, 2013).

The choice of the matrix type depends on the phenomenon studied and the spatial structure of the data. According to LeSage & Pace (2009), spatial weight matrices not only capture the direct influence of one region on another but also allow for the analysis of indirect effects, which arise when changes in one region influence its neighbours, and these, in turn, affect other, more distant regions. This concept is crucial in studies of CO_2 emissions, where industrial activities in a region can generate externalities that spread beyond its geographical boundaries.

Moreover, these matrices play a fundamental role in interpreting coefficients in spatial models. For example, in a Spatial Error Model (SEM), the weight matrix determines how the autocorrelation in the errors is distributed across regions. This allows for identifying patterns of spatial dependence that would otherwise be hidden in traditional models (Bivand & Piras, 2015).

In recent studies, Zhang *et al.* (2021) underline the importance of incorporating spatial econometrics to understand how changes in one region affect neighboring regions. This approach also allows for capturing economic and environmental externalities often ignored in traditional models. Research in Europe, for example, has assessed how regional development policies affect local economies, highlighting that infrastructure investments in one region can generate positive spillover effects in neighbouring regions.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.07

For instance, Bröcker *et al.* (2022), in a study on the impact of road infrastructure investments in Central and Eastern Europe, found that such investments led to significant positive spillover effects on the GDP of neighboring regions. Similarly, López-Rodríguez & Faiña (2020) examined the European Union's cohesion policy. They demonstrated that investments in transport infrastructure not only benefit the targeted regions but also enhance economic development in surrounding areas through regional spillovers. Likewise, in Latin America, spatial models have been used to analyze the spread of epidemics, migration flows, and the economic effects of natural disasters, underlining the relevance of this approach to address interdisciplinary problems (Gutiérrez *et al.*, 2018).

Recent advances in spatial econometrics have improved the ability to model complex phenomena. For example, hybrid methods combining SEM with big data analytics allow capturing spatial patterns with greater precision (Zhang *et al.*, 2021). Furthermore, integrating remote sensing and remote sensing data has expanded the applications of spatial econometrics in studies of GHG emissions and sustainable economic development (Tamura *et al.*, 2018).

In Mexico, these tools are essential to analyzing the spatial dynamics of economic activity and GHG emissions, where spatial interactions can significantly influence public policy outcomes. This approach provides a more robust perspective for designing regional strategies and mitigating the impacts of climate change.

2.2. Spatial effects on CO_2 emissions

The analysis of CO_2 emissions from a spatial perspective has gained relevance due to the interdependent nature of environmental problems. According to Zhang *et al.* (2021), significant inequalities in the distribution of emissions between regions are often determined by factors such as industrial intensity, population density, and access to clean technologies. These inequalities reflect economic disparities and differences in local governments' capacity to implement effective environmental policies. Xu & Hisano (2024) emphasize that spatial interactions between regions amplify the impacts of environmental policies and create opportunities for collaborative mitigation strategies.

For example, Tamura *et al.* (2018) highlight that regions with more significant economic development tend to generate higher emissions due to their intensive industrial activity. This is observed in countries such as China and India, where emissions have increased significantly in recent decades due to accelerated industrial growth. Conversely, states or regions with lower economic development, such as Chiapas and Oaxaca in Mexico or rural regions in Southeast Asia, have considerably lower levels of emissions, highlighting the spatial heterogeneity of the problem (De Jong *et al.*, 2000; Miettinen *et al.*, 2025).

At the international level, research such as Wang *et al.* (2020) has shown that industrial regions in Europe, particularly those located in Germany and Poland, have high levels of CO_2 emissions, but have also implemented effective strategies to mitigate these impacts through the use of clean technologies. In contrast, in sub-Saharan Africa, emissions are low due to limited industrialization, but environmental vulnerabilities are exacerbated by the lack of adequate infrastructure to adapt to climate change.

Another prominent example is the case of border regions in North America. According to studies by Hsieh *et al.* (2022), emissions in areas such as Texas and the northern region of Mexico are highly correlated due to geographical proximity and intense trade relations. These spatial interactions underscore the need to design policies that transcend administrative borders and promote international cooperation.

Moreover, recent research has explored how spatial effects on emissions vary within the same country. For example, in Brazil, studies by Silva *et al.* (2021) identified that Amazon regions, despite having low direct emissions, are affected by industrial activities in nearby regions, such as mining and deforestation, highlighting the negative externalities of economic activity.

The literature has also shown how urban development and transportation policies impact CO_2 emissions. For example, studies by Su *et al.* (2019) have shown that large metropolises, such as Tokyo and New York, generate significant direct emissions and influence peripheral regions' carbon footprints due to extended

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.07

supply chains. This finding underscores the importance of considering spatial interactions when designing emission reduction policies.

Spatial effects on CO_2 emissions reflect the interregional dynamics of economic activity and environmental policies. Understanding these relationships is essential to designing effective mitigation strategies that consider each region's specific characteristics and promote cross-border collaboration.

2.3. Relationship between economic activity and emissions

The economic literature has widely studied the relationship between economic growth and CO_2 emissions. This link, often described by the Environmental Kuznets Curve (EKC), suggests that emissions initially increase with economic growth but eventually decrease as countries reach a higher level of development and adopt cleaner technologies (Grossman & Krueger, 1995). However, this behavior is not uniform and depends on specific factors such as energy intensity, sectoral composition, and environmental policies.

According to Piaggio *et al.* (2017), Gross Domestic Product (GDP) growth is often accompanied by increased emissions, particularly in economies dependent on fossil energy sources. This relationship is more evident in developing countries, where access to clean technologies is limited, and energy infrastructure is designed to meet growing demand quickly and cheaply. For example, in countries such as India and South Africa, industrial growth has contributed significantly to rising CO_2 emissions in recent decades (Wang *et al.*, 2020).

Countries such as Sweden and Germany have reduced their absolute CO_2 emissions while maintaining sustained economic growth, demonstrating the potential of sustainability strategies. However, even in these cases, the energy transition faces costs and social acceptance challenges.

In the case of Mexico, Andersson & Karpestam (2013) identified that energy intensity and sectoral composition are critical determinants of emissions. States with a higher dependence on manufacturing, mining, and transportation sectors present higher emissions levels, while those with economies based on agriculture, tourism, and services tend to generate less CO_2. For example, states such as Nuevo León and the Estado de México concentrate a large part of the country's industrial activity and, consequently, lead GHG emissions (INECC, 2024).

The literature also highlights that urban development policies significantly impact emissions. According to a study by Su *et al.* (2019), large cities with efficient public transport infrastructure, such as Tokyo and Singapore, have managed to reduce per capita emissions, while urban areas dependent on private transport, such as growing cities in Latin America, show opposite trends.

On the other hand, recent research has explored the impact of globalization on the relationship between economic growth and emissions. Xu & Hisano (2024) point out that international trade flows have shifted emissions from developed countries to developing countries, where production costs are lower but environmental standards are more lax. This phenomenon, known as "carbon leakage," underscores the need for globally coordinated policies.

A systematic literature review by Tamura *et al.* (2020) summarizes this relationship's main factors, highlighting the importance of public policies, economic structure, and consumer preferences. These authors conclude that implementing carbon pricing policies, such as emissions taxes and carbon markets, has positively impacted reducing emissions in advanced economies. However, their application in developing countries remains limited due to economic competitiveness and social equity concerns.

Below, table 1 presents a summary of some prominent studies that discuss the relationship between economic activity and carbon dioxide emissions:

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.07

Table 1. Studies on the relationship between economic activity and CO^2 emissions.

Authors	Country/Region	Key Findings
Piaggio *et al.* (2017)	Latin America	Latin America's GDP growth correlated with higher emissions and dependence on fossil fuels.
Fosten (2019)	Advanced economies	Partial decoupling between economic growth and emissions thanks to clean energy.
Su *et al.* (2019).	Global cities	Public transport infrastructure is a key to reducing per capita emissions.
Andersson & Karpestam (2013)	Mexico	Energy-intensive industrial sectors are the main emitters in key states.
Xu & Hisano (2024).	Global	The carbon leakage phenomenon in developing countries is due to globalization.
Tamura *et al.* (2020)	Global	Global Efficiency of carbon pricing policies in advanced economies versus challenges in developing countries.

Source: own elaboration.

The relationship between economic growth and CO_2 emissions depends on multiple factors, including the stage of economic development, the sectoral structure, and the public policies implemented. This analysis highlights the importance of adopting differentiated and contextually relevant strategies to mitigate emissions in diverse economies such as Mexico, where economic and geographic heterogeneity presents challenges and opportunities for the transition to sustainability.

2.4. SEM (Spatial Error Model) models

The Spatial Error Model (SEM) is a fundamental tool in spatial econometrics that addresses spatial autocorrelation in econometric model errors. According to Anselin & Hudak (1992), this model is especially useful when the spatial dependence is found in the error terms and not in the explanatory variables, which makes it ideal for studies where the underlying relationships are not fully observable.

The equation defines the SEM:

$$Y = X\beta + \varepsilon$$

The error equation:

$$\varepsilon = \lambda W\varepsilon + \xi$$

Where:

- Y: Dependent variable (in this case, CO_2 emissions).
- X: Matrix of explanatory variables (GDP and population).
- β: Model coefficients.
- ε: Spatial error term.
- λ: Spatial autocorrelation coefficient.
- W: Spatial weight matrix.
- ξ: Independent error term.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.07

Fan *et al.* (2016) argue that the SEM is particularly relevant in analyses where the data present an intrinsic spatial structure, as in the case of Mexico, where economic and environmental dynamics are deeply interconnected. This model allows for the identification of spatial patterns and improves the precision of estimates by correcting autocorrelation effects that can bias the results.

2.5. Recent advances in spatial econometrics

In recent years, spatial econometrics has seen significant advances that have expanded its applicability and accuracy in analyzing complex geographic phenomena. One of the main innovations has been integrating hybrid methods that combine traditional models, such as the Spatial Error Model (SEM), with big data and machine learning tools. Zhang *et al.* (2021) highlight how these techniques allow handling large volumes of georeferenced data and detecting spatial patterns with greater precision, which has been particularly useful in greenhouse gas (GHG) emission studies.

Furthermore, access to remote sensing and sensor data has transformed the applications of spatial econometrics, facilitating the analysis of environmental and socioeconomic variables with finer spatial resolutions. For example, Tamura *et al.* (2018) document how using satellite images has made it possible to identify spatial inequalities in the distribution of CO_2 emissions and critical areas for implementing environmental policies. This approach has improved the understanding of the interactions between economic activity, land use, and emissions, strengthening the empirical evidence needed to design effective interventions.

At the national level, spatial models in Mexico have advanced thanks to the availability of geospatial files provided by institutions such as INEGI, which regularly publishes updated shapefiles with sociodemographic, economic, and environmental information. This accessibility has democratized spatial econometrics, allowing more researchers and analysts to incorporate advanced techniques in their studies. Additionally, developing specialized software such as R, Python, and GeoDa has simplified the implementation of spatial models through packages and libraries that automate the creation of spatial weight matrices, parameter estimates, and diagnostic tests.

Another important advance is the growing recognition by statistical institutions of the need to generate data compatible with spatial analysis. In countries such as Spain, Canada, and Mexico, statistical offices have begun to offer databases designed for spatial studies, including unique geographic identifiers and data in formats that facilitate their integration with specialized software.

Recent findings in the literature also underline the transformative impact of spatial econometrics in public policy. For example, Xu & Hisano (2024) show how spatial models have been instrumental in assessing the effectiveness of environmental policies in interconnected regions, highlighting the importance of considering spatial externalities in decision-making. Similarly, Moutinho *et al.* (2017) point out that spatial models have made it possible to prioritize critical regions for emissions mitigation and sustainable economic development, optimizing the resources allocated to these purposes.

Advances in spatial econometrics have significantly improved the ability to analyze complex spatial phenomena. The integration of hybrid methods, the availability of high-quality georeferenced data, and the ease of use of software tools have boosted its application in diverse fields, from environmental sciences to regional economics. These developments underscore the importance of investing in analytical capabilities and spatial data generation, ensuring that future studies can address global challenges with a more rigorous and multidimensional approach.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.07

3. METHODOLOGY

3.1. Methodological approaches

This study uses a spatial econometrics approach to analyze the relationship between carbon dioxide (CO_2) emissions, economic activity, and state population in Mexico. Spatial econometrics allows for considering geographic dependencies and spatial effects that may arise between the regions analyzed. This is particularly relevant in CO_2 emissions, where economic and demographic factors may present significant spatial patterns.

The Spatial Error Model (SEM) was selected due to the dataset's characteristics: the state-level unit of analysis (32 observations) and the need to capture residual spatial dependence between states. The SEM is particularly suited to handle cases where model errors present spatial autocorrelation, allowing for a more precise fit and better interpretation of spatial effects.

3.2. Data and sources

The data used come from official sources and were selected for their relevance to the analysis:

- CO_2 emissions (2022): Calculated based on the energy consumption reported by the Ministry of Energy (SENER, for its acronym in Spanish) and the emission factor provided by the RENE calculator (https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/registro-nacional-de-emisiones-rene-17015).
- State Gross Domestic Product (GDP, 2022) Obtained from the National Institute of Statistics and Geography (INEGI).
- State population (2022): Reported by the National Population Council (CONAPO).
- Spatial data: Extracted from the Geostatistical Framework of the 2020 Population and Housing Census shapefile, published by INEGI.

The integration of economic and demographic data with spatial information was carried out using the standard geographic key (NOMGEO). Subsequently, a spatial neighborhood matrix was generated using the Queen Contiguity criterion with the spdep library in R, allowing modeling of spatial interactions between neighboring states.

3.3. Econometric model

The econometric model used in this study is the Spatial Error Model (SEM), which is specified as:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \varepsilon_i$$

$$\varepsilon_i = \lambda \Sigma_j W_{ij} \varepsilon_j + \xi_i$$

Where:

- Y_i: CO_2 emissions in state i.
- X_{1i}: Gross State Domestic Product (GDP) of state i.
- X_{2i}: Population of state i.
- β_0, β_1, β_2: Coefficients of the model to be estimated.
- ε_i: Spatial error term.
- λ: Spatial autocorrelation coefficient.
- W_{ij}: Elements of the spatial weight matrix, indicating the connection between states i and j.
- ξ_i: Independent random error term.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.07

The SEM was selected because it captures the spatial autocorrelation present in the errors, common in spatial data analysis at the state level. This allows for the adjustment of the effects of spatial dependence that could bias the results in a traditional model, achieving a more accurate representation of the underlying relationships in the data.

The SEM model is based on the following assumptions:

1. There is spatial dependence between observations, i.e., emissions in one state are influenced by emissions in neighboring states.
2. The spatial weight matrix W adequately represents the dependence structure between states.
3. The errors ξ_i are independent and normally distributed with zero mean and constant variance.

Based on previous literature, the following signs are expected for the coefficients:

- $\beta_1 > 0$: An increase in state GDP is associated with an increase in CO_2 emissions, due to increased economic and industrial activity.
- $\beta_2 > 0$: An increase in state population increases pressure on natural resources and energy consumption, resulting in higher emissions.
- $\lambda > 0$: Positive autocorrelation suggests that emissions in a state are influenced by emissions in neighboring states.

This model was implemented using R software, employing specialized packages such as 'spdep' and 'sf' for the creation of 'he spatial weight matrix and the estimation of the parameters. The model fit and the results obtained will be analyzed in the subsequent sections.

4. RESULTS

The relationship between CO_2 emissions, Gross State Domestic Product (GSDP), and state population in Mexico shows strong spatial heterogeneity. The findings indicate that both economic activity and demographics significantly influence emissions, and these patterns vary according to the socioeconomic and geographic characteristics of each federal state. The results derived from the analysis are presented below.

4.1. Spatial distribution of GSDP and emissions

The exploratory analysis of the data reflects the relationship between economic activity and CO_2 emissions. The 2022 GSDP Map (figure 1) shows a significant concentration of economic activity in the center and north of the country, with Mexico City, Nuevo León, and Jalisco as the most prominent states. These regions represent the main economic hubs in Mexico and are often associated with higher emissions generation due to their high industrial activity. In contrast, southern states such as Chiapas and Oaxaca record the lowest levels of GSDP, reflecting lower industrialization and, consequently, a reduced contribution to CO_2 emissions.

The CO_2 emissions quartile map (figure 2) complements this perspective by showing the heterogeneous distribution of emissions. The industrialized states of the center-north, such as Nuevo León and Estado de México, are in the highest emissions quartiles, while the predominantly rural states of the south, such as Chiapas and Guerrero, are located in the lowest quartiles. This pattern underlines the influence of economic sectors in the generation of emissions.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.07

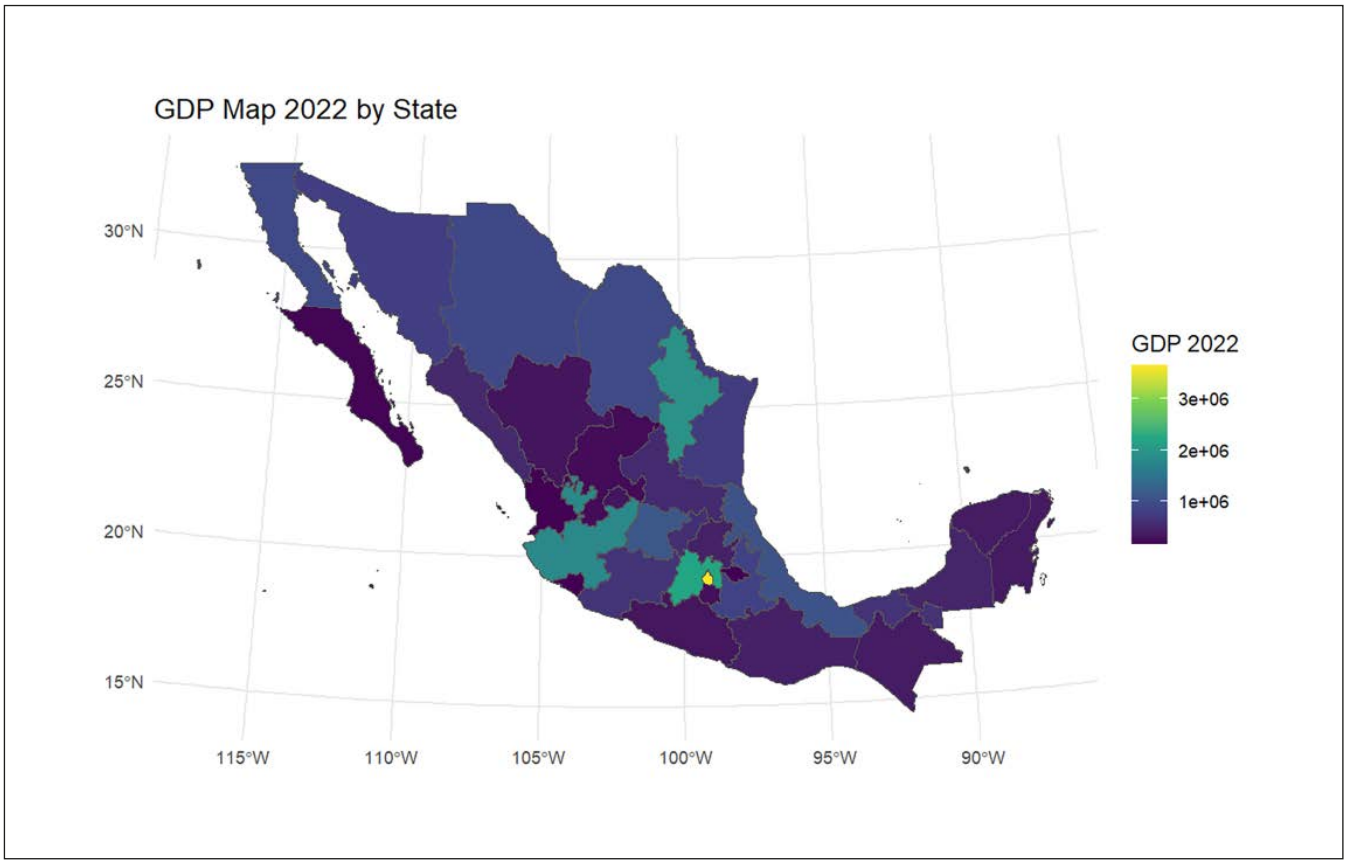


Figure 1. Map of GSDP 2022 by state. Source: own elaboration with data from INEGI.

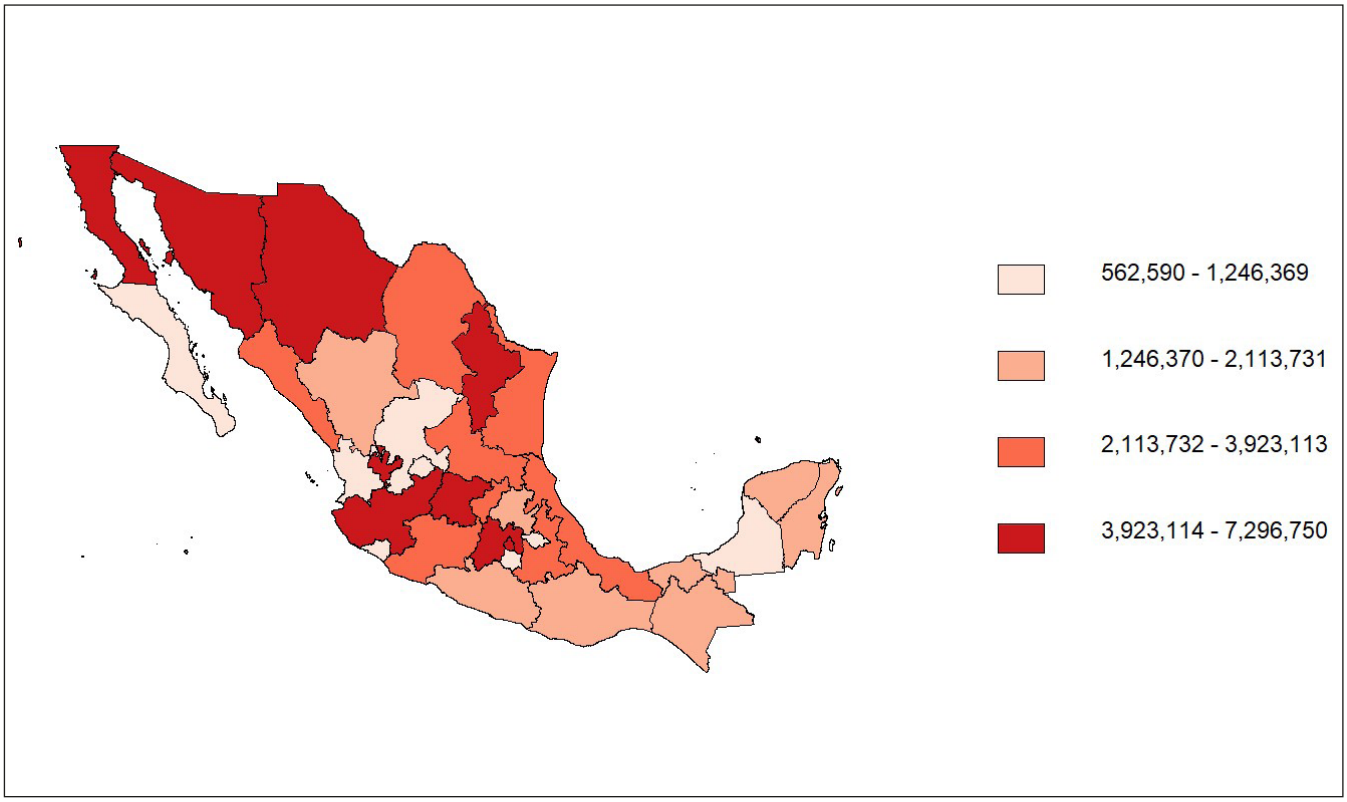


Figure 2. Emissions quartile map 2022. Source: own elaboration with data from SENER.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.07

4.2. Spatial statistics and local clusters

The global analysis of the Moran's I statistic for CO_2 emissions did not reveal a significant spatial autocorrelation (I = -0.068, p =0.61), indicating that, on average, there are no consistent spatial patterns at the national level. However, the LISA Map (figure 3) allows the identification of local clusters with high concentrations of emissions in specific regions. Clusters in the north and center of the country stand out, such as Nuevo León and Mexico City, where intense economic activity and geographic proximity generate specific spatial patterns. These clusters confirm the importance of analyzing local relationships beyond global averages.

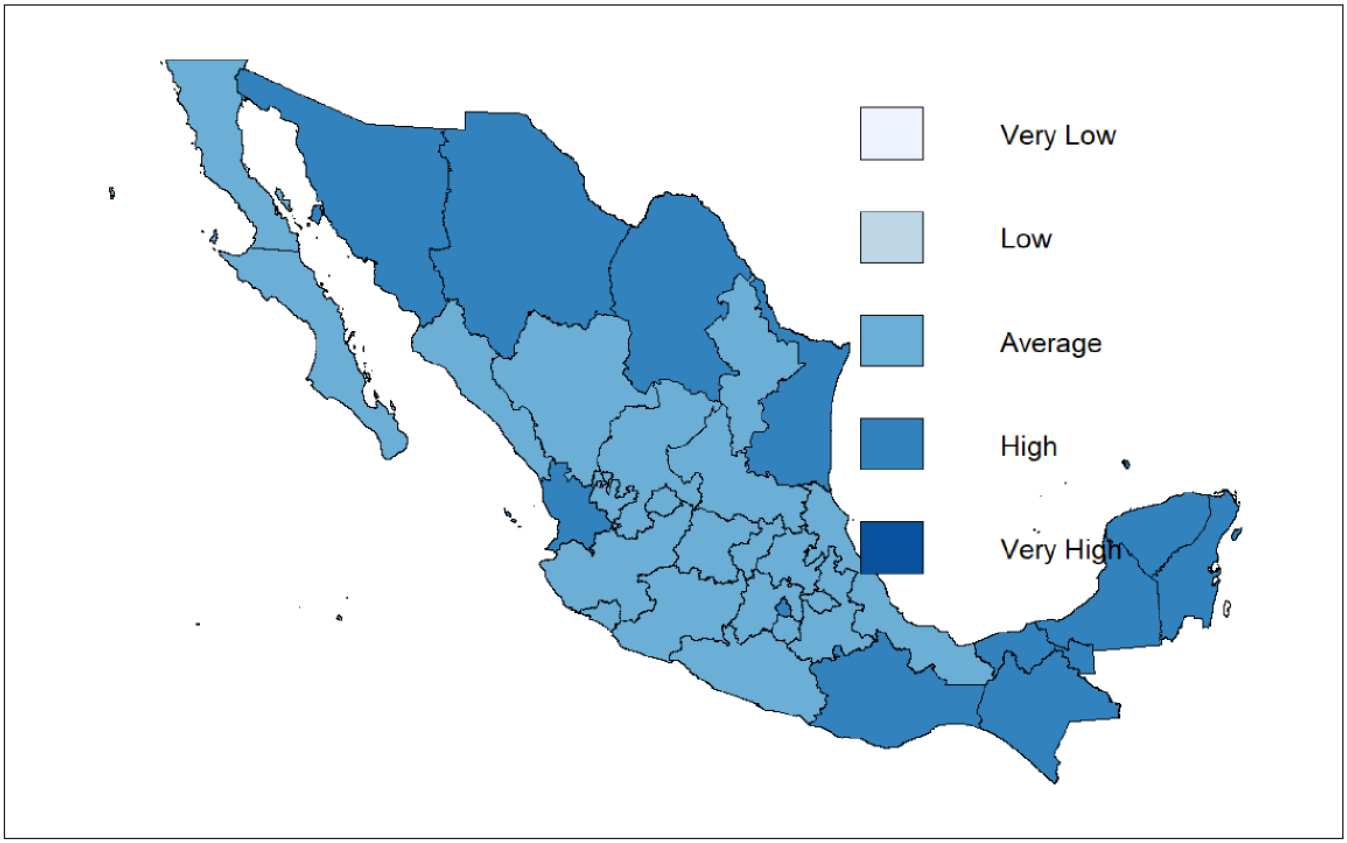


Figure 3. LISA Map for Emissions 2022. Source: own elaboration with data from SENER.

4.3. Model Residual Analysis

The SEM model residual map (figure 4) assesses the accuracy of the model by identifying differences between observed and predicted values. Significant positive residuals were observed in states such as Nuevo León, suggesting that the model underestimates emissions in these highly industrialized regions. On the other hand, southern states such as Chiapas present negative residuals, indicating an overestimation of emissions in areas with lower economic activity. These results suggest that additional variables could improve the model fit, especially in regions with greater discrepancies.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.07

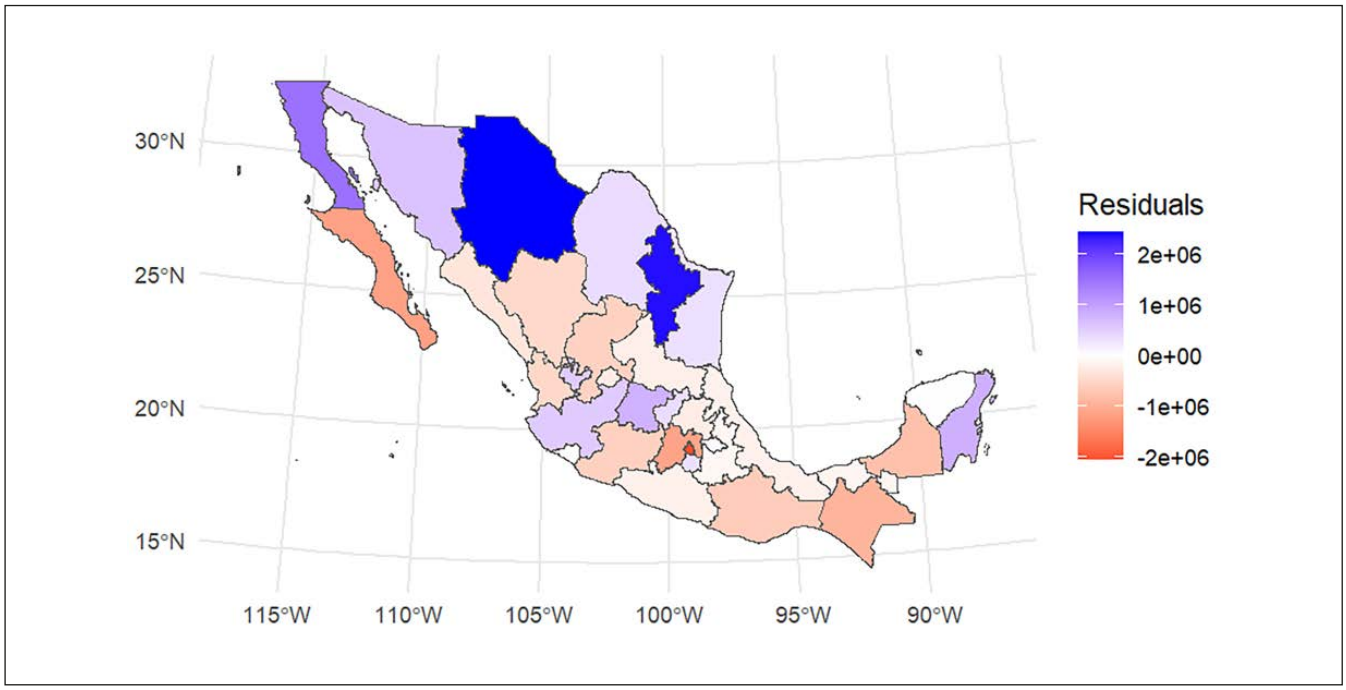


Figure 4. SEM model residual map. Source: own elaboration with data from the results of the spatial analysis.

4.4. Spatial correlation between GDP and CO_2 emissions

The spatial correlation map (figure 5) shows that states with greater economic activity tend to record higher emissions, evidencing a significant positive spatial correlation. The northern and central regions, such as Nuevo León and Mexico City, show a strong correlation between GDP and emissions. In contrast, the southern areas show a weak correlation, reflecting the limited contribution of these states to the national total of emissions.

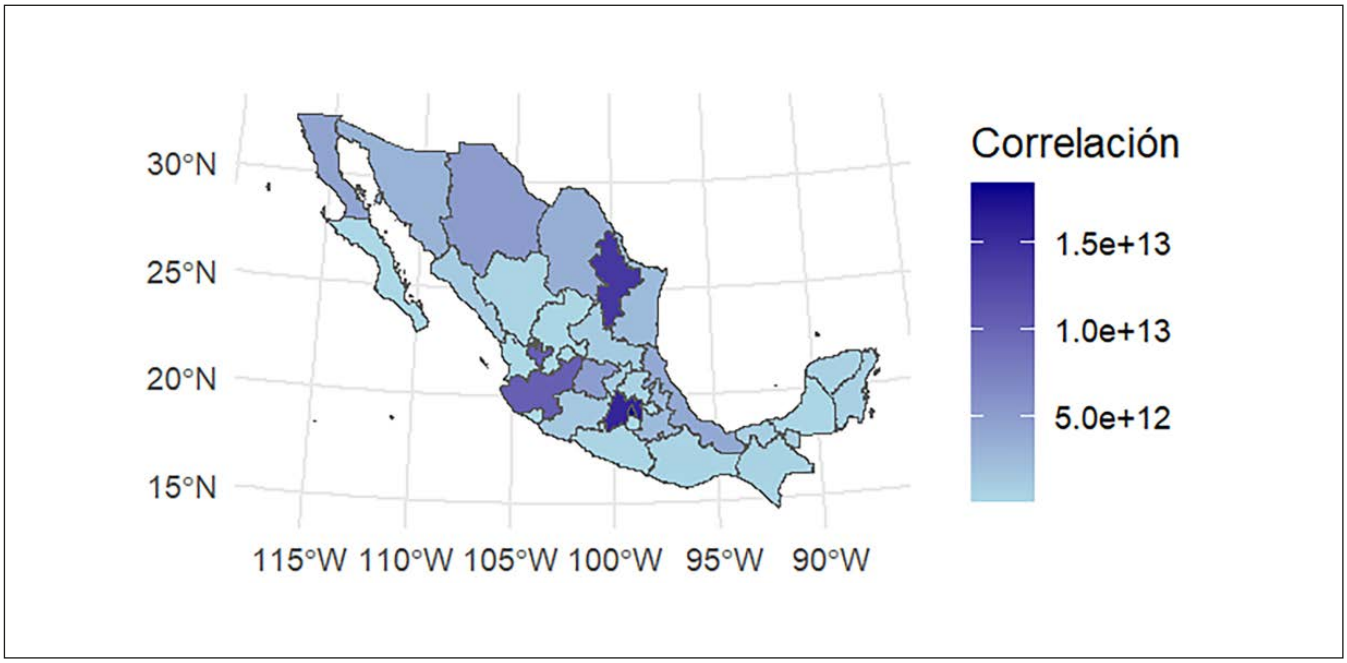


Figure 5. Spatial correlation map: GDP and Emissions 2022. Source: own elaboration with data from the results of the spatial analysis.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.07

4.5. Econometric analysis and interpretation of the coefficients

The results of the SEM, presented in table 2, highlight the importance of the selected explanatory variables. The coefficients associated with GDP (β_1 = 1.145, $p < 0.001$) and Population (β_2 = 0.322, $p < 0.001$) were positive and statistically significant, indicating that an increase in these variables translates into higher CO_2 emissions. This confirms that economic activity and population are the main drivers of emissions in Mexico. The coefficient associated with GDP suggests that states with more dynamic economies tend to generate higher emissions, while the population coefficient reflects that states with higher population density also contribute significantly, although to a lesser extent than GDP.

The spatial parameter ($\lambda = 0.593$, $p < 0.001$) confirms the presence of significant spatial effects, reflecting that emissions in one state are influenced by emissions in neighboring states. This finding supports the importance of incorporating spatial structure in econometric models to avoid bias in estimation and improve the accuracy of analysis.

These results emphasize the need to consider regional strategies to address emissions, given that policies in one state can have indirect effects on neighboring states. This integrated approach is crucial to developing effective environmental policies in a context of economic and geographic interdependence.

Table 2. Spatial Error Model (SEM) results.

Variable	Coefficient	Standard error	Z-value	P-value
Intercept	533580	423910	1.259	0.208
GDP2022	1.145	0.330	3.469	0.0005
Population2022	0.322	0.071	4.544	<0.0001
Lambda (λ)	0.593	0.155	3.828	<0.0001

Source: own elaboration with data from the results of the spatial analysis.

This analysis highlights how economic activity and population are the main drivers of CO_2 emissions in Mexico. Furthermore, the incorporation of spatial effects provides a more detailed understanding of the emission patterns, allowing a more integrated approach to the design of public policies focused on environmental sustainability.

5. DISCUSSION

The results obtained in this study highlight the relevance of considering the economic and spatial dimensions to understand CO_2 emissions at the state level in Mexico. In particular, the findings of the SEM model reinforce the idea that economic activity and population are key factors in the generation of emissions, aligning with previous studies such as those by Piaggio *et al.* (2017) and Fosten (2019), who identified a positive and significant relationship between economic growth and emissions in similar contexts. However, by incorporating spatial effects, a more comprehensive understanding is achieved, highlighting the influence of neighboring states on emission levels.

5.1. Relationship between economic activity, population and emissions

The positive and significant relationship between Gross State Domestic Product (GSDP) and CO_2 emissions confirms that states with higher levels of economic activity tend to generate more emissions, due to their high dependence on energy-intensive sectors, such as manufacturing and transportation. This finding is

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.07

consistent with previous research (Andersson & Karpestam, 2013; Tamura *et al.*, 2018) that highlights how industrialization amplifies regional disparities in emissions.

On the other hand, the coefficient associated with population reflects that states with higher population density also contribute significantly to emissions. This result is especially relevant in a country like Mexico, where urbanization and population concentration in metropolitan areas intensify the demand for energy and transportation. However, the lower relative weight of population compared to GSDP suggests that economic activity remains the main driver of emissions, highlighting the need for specific policies to reduce carbon intensity in key sectors.

5.2. Importance of spatial effects

The spatial parameter ($\lambda = 0.593$, $p < 0.001$) shows a strong spatial autocorrelation in CO_2 emissions, indicating that environmental policies designed at the state level have implications beyond their borders. This finding is consistent with studies such as Zhang *et al.* (2021) and Xu & Hisano (2024), which highlight the interdependent nature of emissions in regional contexts. In this sense, the LISA analysis identifies local clusters of high emissions concentration, such as Nuevo León and Mexico City, which require a coordinated approach to address the associated environmental and economic impacts.

On the other hand, the model residuals show discrepancies in states such as Chiapas and Nuevo León, suggesting that omitted variables, such as the type of energy matrix or the intensity of land use, could improve the model fit. These results underline the importance of expanding the analysis to include additional factors that influence emissions, particularly in regions with high levels of industrialization or economic vulnerability.

5.3. Practical and theoretical implications

From a practical perspective, this study offers analytical tools for the design of public policies that consider spatial heterogeneity and interdependencies. The findings suggest that mitigation strategies should focus on key economic sectors and priority regions, such as the industrial clusters in the north and center of the country, where emissions are significantly higher. In addition, it is essential to implement measures that foster regional cooperation, given that isolated policies can have indirect effects on neighboring states.

On a theoretical level, this study contributes to the growing body of literature that integrates spatial econometrics in the analysis of GHG emissions. By applying a SEM model, the relevance of capturing spatial effects is demonstrated to avoid biases in the estimation and improve the accuracy of the analysis. This opens the door for future studies exploring more complex dynamics, such as the relationship between investments in renewable energy and emissions patterns at the regional level.

5.4. Limitations and recommendations

Although the results are robust, there are inherent limitations to the analysis that should be considered. First, the use of cross-sectional data limits the ability to capture temporal dynamics in the relationship between economic growth and emissions. Future studies could incorporate longitudinal analyses to identify trends and assess the impact of policies implemented in different periods. Second, relevant variables such as the energy matrix, land use intensity or transport quality were not included in this model, which could influence the observed patterns.

Finally, the reliance on aggregate data at the state level does not allow capturing intraregional disparities in emissions, which could underestimate heterogeneity within states. It is therefore recommended to expand the analysis to sub-state levels, incorporating data at the municipal or metropolitan level, to obtain a more granular view of emission patterns.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.07

6. CONCLUSIONS

This study has allowed us to analyze carbon dioxide (CO_2) emissions in Mexico from a spatial perspective, relating them to economic activity and state's population. This approach has shown the relevance of spatial dynamics in the generation of emissions, highlighting the need to incorporate advanced analytical tools, such as spatial econometric models, to understand complex phenomena and their geographic distribution.

The findings underline that states with higher levels of Gross State Domestic Product (GSDP) and population tend to generate more CO_2 emissions, confirming the hypothesis raised. In particular, the coefficient associated with GSDP ($\beta_1 = 1.145$, $p < 0.001$) shows that economic activity is the main driver of emissions in Mexico. This result is consistent with the existing literature, which points to a positive correlation between economic growth and emissions in developing contexts. However, it also highlights the urgent need to move towards less carbon-intensive economic models, a significant challenge in a country where energy generation and industry still rely heavily on fossil fuels.

Meanwhile, the population coefficient ($\beta_2 = 0.322$, $p < 0.001$) reflects that states with higher population density also contribute significantly to emissions. This highlights the pressure that population concentration exerts on transport systems and energy infrastructure, especially in metropolitan areas. However, the lower relative weight of this variable compared to GDP indicates that mitigation policies should focus primarily on key economic sectors.

An innovative aspect of this study is the inclusion of spatial effects through the Spatial Error Model (SEM), which captures spatial autocorrelation in CO_2 emissions. The spatial parameter ($\lambda = 0.593$, $p < 0.001$) shows that emissions in a state are significantly influenced by emissions in neighboring states, a finding that coincides with international studies and reinforces the importance of designing public policies from a regional and coordinated perspective. This result highlights that isolated interventions in a state can generate positive or negative collateral effects in adjacent states, underlining the economic and geographic interdependence that characterizes Mexico.

The spatial analysis, complemented with tools such as Moran's I statistics and LISA maps, allowed us to identify patterns of local emission clusters. For example, regions such as Nuevo León and Mexico City show a high concentration of emissions due to their intense economic and industrial activity, while areas in the south such as Chiapas present significantly lower values. This regional contrast emphasizes the need to adapt mitigation policies to the specific characteristics of each region, recognizing the heterogeneity of economic development and resource distribution.

Despite the methodological and analytical advances of this study, it is important to recognize its limitations. The use of cross-sectional data restricts the ability to analyze temporal trends in emissions and assess the impact of environmental policies implemented over different periods. Furthermore, key variables such as the energy mix, land use intensity, and transport quality were not considered, which could influence the observed patterns. Future studies could address these limitations by using longitudinal data and incorporating additional variables to enrich the analysis.

From a practical perspective, this study provides valuable inputs for the design of environmental policies in Mexico. The findings highlight the need to foster regional cooperation and prioritize mitigation in key economic sectors, particularly in the high-emission clusters identified in the analysis. In addition, it is suggested to promote investments in clean technologies and energy efficiency, especially in industrialized regions, to reduce carbon intensity without compromising economic growth. These recommendations are essential for Mexico to meet its international commitments under the Paris Agreement and move towards sustainable development.

In conclusion, the relationship between economic activity, population and CO_2 emissions in Mexico reflects a critical challenge in the transition towards a sustainable development model. This study shows that mitigation policies must be comprehensive and regionally adapted, taking advantage of the analytical tools of spatial econometrics to maximize their effectiveness. By integrating spatial considerations into the design of environmental strategies, we can move towards a more equitable and resilient future, where economic growth is not in conflict with environmental sustainability.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.07

Acknowledgments and funding

This research was conducted as part of the project "Perspectiva dinámica de la evolución de la curva ambiental de Kuznets en Ecuador y México", registered with the Dirección General de Investigación y Posgrado (DGIP) of the Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS). The authors acknowledge the institutional support provided by UAS. However, this research did not receive any funding.

Responsibilities and conflicts of interests

The author declares that there are no conflicts of interest related to the publication of this article. If any conflict arises in the future, it will be disclosed accordingly.

REFERENCES

Andersson, F. N. G., & Karpestam, P. (2013). The environmental Kuznets curve: Determinants of the CO_2 intensity of economies in the OECD: A dynamic panel approach. *Ecological Indicators, 34*, 206–214. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.04.003

Anselin, L. (2013). *Spatial econometrics: Methods and models*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-015-7799-1

Anselin, L., & Hudak, S. (1992). Spatial econometrics in practice: A review of software options. *Regional Science and Urban Economics, 22*(3), 509–536. https://doi.org/10.1016/0166-0462(92)90042-Y

Bivand, R. S., & Piras, G. (2015). Comparing implementations of estimation methods for spatial econometrics. *Journal of Statistical Software, 63*(1), 1–36. https://doi.org/10.18637/jss.v063.i18

Bröcker, J., Korzhenevych, A., & Schürmann, C. (2022). The ripple effects of large-scale transport infrastructure investment. *Economic Modelling*, *91*, 559-573.

De Jong, B. H. J., Tipper, R., & Montoya-Gómez, G. (2000). An economic analysis of the potential for carbon sequestration by forests: Evidence from southern Mexico. *Ecological Economics, 33*(2), 313-327. https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00162-7

Dong, K., Hochman, G., Zhang, Y., Sun, R., Li, H., & Liao, H. (2018). CO_2 emissions, economic and population growth, and renewable energy: Empirical evidence across regions. *Energy Economics, 75*, 180-192. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.08.017

El País (2025, February 21). *La economía de México creció 1.2% en 2024, su peor desempeño desde 2020*. https://elpais.com/mexico/2025-02-21/la-economia-de-mexico-crecio-12-en-2024-su-peor-desempeno-desde-2020.html

Emission Index (2021). *Greenhouse Gas Emissions in Mexico*. https://www.emission-index.com/countries/mexico

European Environment Agency (2023). *Total net greenhouse gas emission trends and projections in Europe*. https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/total-greenhouse-gas-emission-trends

Fan, J., Li, R., & Wang, Y. (2016). Exploring spatial interactions: A spatial error model approach. *Regional Science and Urban Economics, 59*, 89–102. https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2016.04.002

Fosten, J. (2019). Economic growth and CO_2 emissions: Disentangling the role of energy consumption. *Energy Economics, 84*, 104548. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.104548

Friedlingstein, P., Jones, M. W., O'Sullivan, M., Andrew, R. M., Bakker, D. C. E., Hauck, J., ... & Le Quéré, C. (2022). Global Carbon Budget 2021. *Earth System Science Data, 14*(4), 1917-2005. https://doi.org/10.5194/essd-14-1917-20

Global Carbon Project. (2021). Global carbon budget 2021. https://www.globalcarbonproject.org

Gobierno de México (2020). *Actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional de México.* Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/600510/NDC_Actualizada2020.pdf

Grossman, G.M., & Krueger, A.B. (1995) Econmic Growth and the Environment. *The Quarterly Journal of Economics*, *110*(2), 353–377, https://doi.org/10.2307/2118443

Hsieh, C. H., Wu, S. C., & Chen, Y. J. (2022). Cross-border carbon emissions and economic activity in North America. *Environmental Economics and Policy Studies, 24*(3), 189–205. https://doi.org/10.1007/s10018-022-00312-4

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.07

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2021). Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero. INECC.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) (2024). *Análisis de los sectores productivos con mayor emisión de gases y compuestos de efecto invernadero*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/921220/03_2024_EmisionesPorSectoresEcon_micos_290524.pdf

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2022). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 2021*. INECC. https://www.gob.mx/inecc

International Energy Agency (IEA) (2021). *Germany 2021 Energy Policy Review.* https://www.iea.org/reports/germany-2021

International Energy Agency (IEA). (2021). *Nordic Energy Research: Sweden's Path to Fossil-Free Energy.* https://www.iea.org/reports/nordic-energy-research

LeSage, J.P., & Pace, R.K. (2009). *Introduction to spatial econometrics*. CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781420064254

López-Rodríguez, J., & Faiña, J.A. (2020). Regional spillovers of transport infrastructure investment: A territorial cohesion analysis. *Regional Studies, 54*(5), 684-696. https://doi.org/10.1080/00343404.2020.1711875

Miettinen, J., Shi, C., & Liew, S.C. (2025). Land cover distribution in the peatlands of Peninsular Malaysia, Sumatra and Borneo in 2015 with changes since 1990. *Global Ecology and Conservation, 9*, 67-78. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2016.02.004

Moutinho, V., Madaleno, M., & Robaina, M. (2017). Economic and energy efficiency indicators as a means to improve CO_2 emissions. *Sustainability, 9*(11), 1967. https://doi.org/10.3390/su9111967

Piaggio, M., Padilla, A., & López, F. (2017). Environmental Kuznets curve: A review of empirical literature. *Ecological Economics, 132*, 145–157. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.05.002

Shahbaz, M., Lean, H.H., & Shabbir, M.S. (2013). Environmental Kuznets curve hypothesis in Pakistan: Cointegration and Granger causality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 25*, 166-178. https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.04.034

Silva, J.E., Santos, P.H., & Lima, R.M. (2021). Deforestation and emissions in the Amazon: Evidence from satellite data. *Remote Sensing, 13*(4), 721. https://doi.org/10.3390/rs13040721

Stern, D.I. (2004). The rise and fall of the environmental Kuznets curve. *World Development, 32*(8), 1419-1439. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.03.004

Su, Y., Li, Z., & Yang, M. (2019). Urban transportation policies and their effect on CO_2 emissions: A comparative study. *Transportation Research Part D: Transport and Environment, 75*, 147–160. https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.09.013

Tamura, K., Yoshida, S., & Ohta, N. (2018). Spatial patterns of CO_2 emissions in industrial regions. *Journal of Cleaner Production, 256*, 120567. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120567

Tamura, T., Suganuma, M., & Nakamura, K. (2020). Industrialization and carbon emissions in developing economies. *Environmental Science & Policy, 85*, 80–90. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.03.021

Trading Economics (2022). *Mexico CO_2 Emissions*. Retrieved from https://tradingeconomics.com/mexico/co2-emissions

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (2015). *The Paris Agreement.* https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement

Wang, X., Zhao, X., & Chen, H. (2020). Industrial CO_2 emissions in emerging economies: A case study of India and South Africa. *Energy Policy, 140*, 111398. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111398

Xu, B., & Hisano, K. (2024). Spatial interaction effects in global carbon emission policies. *Global Environmental Change, 75*, 102604. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2024.102604

You, W., Zhu, H., & Yu, K. (2023). Regional disparities in carbon emissions and economic growth: Evidence from a spatial econometric approach. *Journal of Cleaner Production, 389*, 136018. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136018

You, W., Zhu, H., & Yu, K. (2023). Regional disparities in carbon emissions and economic growth: Evidence from a spatial econometric approach. *Journal of Cleaner Production, 389*, 136018. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136018

Zhang, D., & Broadstock, D.C. (2020). The causality between economic growth and emissions: A regional approach. *Applied Energy, 264*, 114687. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114687

Zhang, W., Li, Y., & Huang, J. (2021). Spatial disparities and carbon emissions: A global perspective. *Environmental Research, 199*, 111233. https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111233

Zhao, X., Liu, C., & Tan, J. (2022). Spatial spillover effects of carbon emissions and economic growth in China: A spatial econometric analysis. *Energy Economics, 112*, 106183. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106183

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.07

Revista de Estudios Andaluces (REA) | Núm. 50, julio (2025) | e-ISSN: 2340-2776
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50 | © Editorial Universidad de Sevilla 2025
https://editorial.us.es/es/revistas/revista-de-estudios-andaluces
https://revistascientificas.us.es/index.php/REA
CC BY-NC-SA 4.0.

Dynamique des paysages forestiers associés aux cultures bours dans le Haut Atlas Atlantique marocain (cas de la basse vallee de l'Oued Tamri)

Dynamics of forest landscapes associated with bours crops in Morocco's High Atlantic Atlas (case of the lower Oued Tamri valley)

Dinámica de los paisajes forestales asociados a cultivos herbáceos en el alto Atlas atlántico marroquí (caso del valle inferior del Oued Tamri)

Hicham Irifi
Hicham.irifi@usmba.ac.ma 0000-0003-4323-060X
Université Sidi Mohamed Ben Abdellah- Fès. Laboratoire Milieux naturels, Aménagement et Dynamiques Socio-spatiales (MNADSS). FLSH Sais-Fès.Faculté des Lettres et des Sciences Humaines Saïs-Fés. BP 59 Route Immouzer. 30000 Fès, Maroc.

Abdellatif Tribak
abdellatif.tribak@usmba.ac.ma 0000-0002-1564-5886
School of Geography. Sidi Mohamed Ben Abdellah University. FLSH –SAIS.BP: 59, Route Immouzer. 30000 Fès, Maroc.

INFO ARTÍCULO

Reçu: 26/02/2025
Révisé: 07/04/2025
Accepté: 10/04/2025

MOTS-CLÉS

Paysages d'Arganier et Thuya
Dynamique paysagère
Régénération naturelle
Dégradation
Basse vallée de l'Oued Tamri
Haut Atlas Atlantique
Maroc

RÉSUMÉ

Le paysage forestier de la basse vallée de l'Oued Tamri, est le fruit d'une interaction complexe entre les milieux naturels et les activités humaines, façonnée par des facteurs écologiques et anthropiques. Cette diversité est due à l'imbrication d'éléments paysagers aux caractéristiques biophysiques et socio-spatiales variées. Notre approche combine les résultats des relevés de terrain (floristiques, régénération naturelle), les enquêtes menées auprès des chefs de ménage et le traitement d'images satellitaires. En croisant ces différentes sources de données, nous espérons mieux comprendre les facteurs écologiques et socio-économiques qui influencent l'évolution des paysages au fil du temps. Nous avons choisi une approche diachronique basée sur le traitement numérique des images Landsat (1984, 2000, 2022) et la classification supervisée. Cette analyse révèle la dégradation du couvert forestier, associée principalement à de longues périodes de sécheresse récurrentes, souvent perçues comme un indicateur de changements climatiques. Ce processus dynamique est également lié à une alternance de phases d'emprise et de déprise rurales et agricoles, entraînant une dégradation ou un recul des paysages d'arganier et de thuyas, ainsi qu'une tendance de plus en plus marquée vers l'extension du matorral entre 1984 et 2022, 37 % de la superficie du couvert forestier a été perdu, ce qui se traduit par une augmentation de près de 20 % des surfaces de sol nu et des terrains cultivés.

KEYWORDS

Argan and thuya landscapes
Landscape dynamics
Natural regeneration
Degradation
Lower Oued Tamri valley
High Atlantic Atlas
Morocco

ABSTRACT

The forest landscape of the lower Oued Tamri valley, is the result of a complex interaction between natural environments and human activities, shaped by ecological and human factors. This diversity is due to the interaction of landscape elements with varied biophysical and socio-spatial characteristics. Our approach combines the results of field surveys (floristic, natural regeneration), surveys of heads of household and satellite image processing. By crossing these different sources of data, we hope to gain a better understanding of the ecological and socio-economic factors that influence the evolution of landscapes over time. We have chosen a diachronic approach based on digital processing of Landsat images (1984, 2000, 2022) and supervised classification. This analysis reveals the degradation of the forest cover, mainly associated with recurrent long periods of drought, often seen as an indicator of climate change. This dynamic process is also linked to alternating phases of rural

DOI: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.08
Formato de cita / Citation: Irifi, H., & Tribak, A. (2025). Dynamics of forest landscapes associated with bours crops in Morocco's High Atlantic Atlas (case of the lower Oued Tamri valley). *Revista de Estudios Andaluces,*(50), 153-184. https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.08
Correspondencia autores: Hicham.irifi@usmba.ac.ma (Hicham Irifi)

and agricultural encroachment and abandonment, leading to a degradation or retreat of the argan and cedar landscapes, as well as an increasingly marked trend towards the extension of the matorral. Between 1984 and 2022, 37% of the area of argan and cedar forest cover was lost, resulting in an increase of almost 20% in the area of bare soil and cultivated land.

PALABRAS CLAVE

Paisajes de argán y cedros
Dinámica del paisaje
Regeneración natural
Degradación
Valle inferior del Oued Tamri
Alto Atlas Atlántico
Marruecos

RESUMEN

El paisaje forestal del valle inferior del Oued Tamri es el resultado de una compleja interacción entre los medios naturales y las actividades humanas, moldeada por factores ecológicos y humanos. Esta diversidad se debe a la imbricación de elementos paisajísticos con características biofísicas y socioespaciales variadas. Nuestro enfoque combina los resultados de encuestas sobre el terreno (florística, regeneración natural), encuestas a los cabezas de familia y tratamiento de imágenes por satélite. Al cruzar estas distintas fuentes de datos, esperamos comprender mejor los factores ecológicos y socioeconómicos que influyen en el cambio del paisaje a lo largo del tiempo. Hemos elegido un enfoque diacrónico basado en el tratamiento digital de imágenes Landsat (1984, 2000, 2022) y la clasificación supervisada. Este análisis revela la degradación de la cubierta forestal, asociada principalmente a largos periodos recurrentes de sequía, considerados a menudo como un indicador del cambio climático. Este proceso dinámico también está vinculado a fases alternas de invasión y abandono rural y agrícola, que conducen a una degradación o retroceso de los paisajes de argán y cedros, así como a una tendencia cada vez más marcada a la extensión del matorral. Entre 1984 y 2022, se perdió un 37% de la superficie de cubierta forestal, lo que se tradujo en un aumento de casi un 20% de la superficie de suelo desnudo y tierras cultivadas.

1. INTRODUCTION

Le paysage forestier actuel résulte de l'interaction entre ses composantes physiques, biologiques et humaines (Irifi & Tribak, 2024a). Son fonctionnement repose généralement sur l'interaction de trois systèmes essentiels: un système producteur, qui illustre l'imbrication des composantes biophysiques fonctionnelles interagissant de manière dialectique pour former un paysage complexe, indissociable et en constante évolution. (Bertrand & Tricart, 1968; Poullaouec-Gonidec *et al.*, 2005; Van Der Ploeg *et al.,* 2018). En second lieu, un système utilisateur est nécessaire, représentant l'utilisation et l'exploitation du paysage. Enfin, un système visible émerge de l'interaction entre le système producteur et le système utilisateur, conférant au paysage une certaine visibilité et structurant les éléments dans l'espace. (Brossard & Wieber, 1984). En effet, le paysage forestier résulte de la combinaison de nombreux facteurs biotiques et abiotiques, influencés dans une large mesure par l'intervention anthropique (Bertrand, 1978; Bertrand & Tricart, 1968; Brossard & Wieber, 1984; Burel & Baudry, 1999; Irifi & Tribak, 2024a). Selon (Burel & Baudry, 1999), «ces facteurs écologiques et anthropiques ont joué un rôle primordial dans la diversité biogéographique de ce paysage».

Il s'agit de paysages forestiers fortement influencés par l'intervention humaine, ce qui en fait des complexes paysagers en perpétuelle évolution (Bertrand, 1978; Irifi, 2023). En effet, l'analyse des paysages forestiers repose sur une approche paysagère qui met en lumière l'interaction de ces trois systèmes, leur dynamique spatio-temporelle, ainsi que les facteurs qui influencent cette dynamique (Dérioz, 2009; Irifi, 2023; Martensen *et al.*, 2017; Meng *et al.*, 2019). Les tendances évolutives de cette unité paysagère révèlent une dégradation progressive, tant en termes de superficie que de densité, depuis les années 1980. Les processus de régénération semblent nettement plus limités, tant sur le plan écologique que spatial (Irifi *et al.*, 2017). L'étude de terrain et l'analyse diachronique de la dynamique paysagère révèlent une dégradation du paysage, attribuable à la fois aux conditions naturelles et aux influences anthropiques in situ. L'étude du paysage forestier dans la basse vallée de l'oued Tamri a fait l'objet à de nombreuses publications (Adnane & Belkacem, 2013; Amzil & Abou, 2014; Faouzi, 2011, 2013; Irifi *et al.*, 2017; Irifi *et al.*, 2020; Irifi & Tribak, 2024; Wahidi *et al.*, 2015), de thèses et mémoires (Aouragh, 2012; El Maâna, 1994; El Wahidi, 2013; Fennane, 1982; Irifi, 2023) et des rapports d'aménagement forestier de l'Agence des Eaux et Forêts réalisés en 2002 sur la forêt d'Ain Tamaloukt, et l'étude pour l'élaboration d'un plan d'aménagement et de gestion concerté du site Tamri CapGhir, Préfecture d'Agadir Ida Ou Tanane sur une superficie de 14000 ha en 2016.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/IESTSCIENTIA.2025.i01.08

Les arganeraies et tétraclinaies de la basse vallée de l'Oued Tamri, au sein du Haut Atlas atlantique, ont connu une profonde transformation depuis le début du XXe siècle, déséquilibrant à la fois l'environnement et la communauté rurale d'Ait Amer (El Wahidi, 2013; Irifi *et al.*, 2017). La colonisation a bouleversé l'organisation sociale traditionnelle, notamment en remplaçant les systèmes locaux de gestion (comme la Jâmaa) par des structures modernes, entraînant une perte d'autonomie en matière de la gestion des ressources forestières (Auclair, 1999). Ces ressources forestières se composent de terrains à arganiers et à thuyas, associés à des espèces arbustives et buissonnantes, destinés à un usage agrosylvopastoral et gérés selon un système ancestral de mise en défens appelé l'*Agdal* (Auclair, 1999). En effet, ce paysage de matorral est considéré comme le pilier du système de production et d'exploitation traditionnels de la région. L'objectif du présent article est l'analyse de la dynamique paysagère de l'unité forestière à arganier et thuya associés aux cultures bours dans la basse vallée de l'oued Tamri. Dans cette optique, nous avons d'abord entamé une étude de terrain à travers la conduite de relevés floristiques et la création de fiches de régénération naturelle. Ensuite, nous avons procédé à une analyse diachronique qui repose sur le traitement numérique des images Landsat (1984, 2000, 2022). La dégradation constatée du couvert forestier est principalement causée par des périodes prolongées de sécheresse et de l'emprise humaine sur les versants (Irifi, 2023).

2. ZONE D'ETUDE

La basse vallée de Tamri, située au cœur du Haut Atlas Atlantique, se distingue par une mosaïque de paysages contrastés. Dominée par des reliefs montagneux au sud-est et des plateaux dans le reste de la zone, cette diversité est probablement liée à des variations lithologiques et écologiques (El Ouahidi, 2008; Irifi *et al.*, 2020; Weisrock, 1980). Cette diversité a façonné les formes du relief et influencé les processus d'érosion. Cette région qui s'étend sur une superficie de 682,8 km^2, présente une topographie variée et relativement douce avec des altitudes allant de 20 à 700 mètres. L'ensemble de ces caractéristiques topographiques est déterminant pour la diversité spatiale des précipitations, de l'hydrologie et des différentes utilisations du sol. La variation de la pluviométrie se fait généralement de l'amont vers l'aval et du Sud-Est vers le Nord-Ouest (El Ouahidi, 2008; Irifi, 2023). Les pluies diminuent des sommets des crêtes vers les fonds de vallées et vers les zones déprimées qui connaissent une aridité très marquée, surtout vers la basse vallée de Tamri (entre 242-284 mm) (El Ouahidi, 2008).

La situation géographique, ainsi que les caractéristiques géomorphologiques et bioclimatiques de la zone d'étude, contribuent à la création d'un paysage forestier marqué par la présence d'espèces floristiques variées provenant de différentes régions (méditerranéennes, sahariennes, macaronésiennes et tropicales) (Irifi, 2023). Ce paysage forestier se distingue par une multitude de potentialités, mais il fait également face à de nombreuses contraintes d'origine naturelle ou anthropique, telles que la dominance de longues périodes de sécheresse, le dépérissement et la mortalité des espèces, le faible taux de régénération naturelle, la pression pastorale, etc. (Irifi & Tribak, 2024a). La diversité des écosystèmes, la variabilité spatiale des éléments paysagers et les traces de l'exploitation humaine confèrent au paysage forestier de la région un caractère hétérogène marqué (Carvalho *et al.*, 2020). Un modèle paysager agro-sylvo-pastoral original du centre-ouest marocain s'est développé autour de l'arbre (l'arganier), de l'orge et de la chèvre (Faouzi, 2011; Irifi, 2023). Il exprime un fort syncrétisme entre l'homme et l'environnement physique depuis des périodes lointaines (Irifi, 2023). Les forêts d'arganiers et de Tetraclinis articulata dans cette zone présentent des conditions climatiques plus ou moins adoucis, avec des températures moyennes plus faibles, par rapport aux régions adjacentes telles que la plaine du Souss, le couloir d'Argana et les plateaux des Haha au Nord (Irifi *et al.*, 2020).

Les contours spatiaux de cette unité forestière sont déterminés sur la carte des unités paysagères du bassin, en se basant sur trois critères principaux: l'état des lieux de la densité du couvert forestier, puis, un critère botanique et écologique met en évidence l'association de deux espèces ligneuses caractéristiques de ces hauteurs montagneuses du Haut Atlas Atlantique qui sont l'arganier et le thuya. Enfin, nous avons pris en compte la présence de cultures bours associées à ces espèces forestières. Il s'agit d'un paysage

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/IESTSCIENTIA.2025.i01.08

forestier mi-chemin entre l'unité forestière à arganiers moyennement denses, qui fait partie de l'étage inframéditerranéen, et l'unité forestière à thuyas dominants, qui appartient à l'étage thermoméditerranéen (Irifi, 2023) (figure 1). La configuration de ces paysages forestiers est due à un ensemble de facteurs: les contraintes environnementales et anthropiques, ainsi que les perturbations des processus écologiques. Chacun de ces facteurs influence le paysage à une échelle spatio-temporelle qui lui est propre. Le relief, la topographie, l'exposition des versants, la lithologie et la nature des sols ont contribué à la diversité écologique et paysagère.

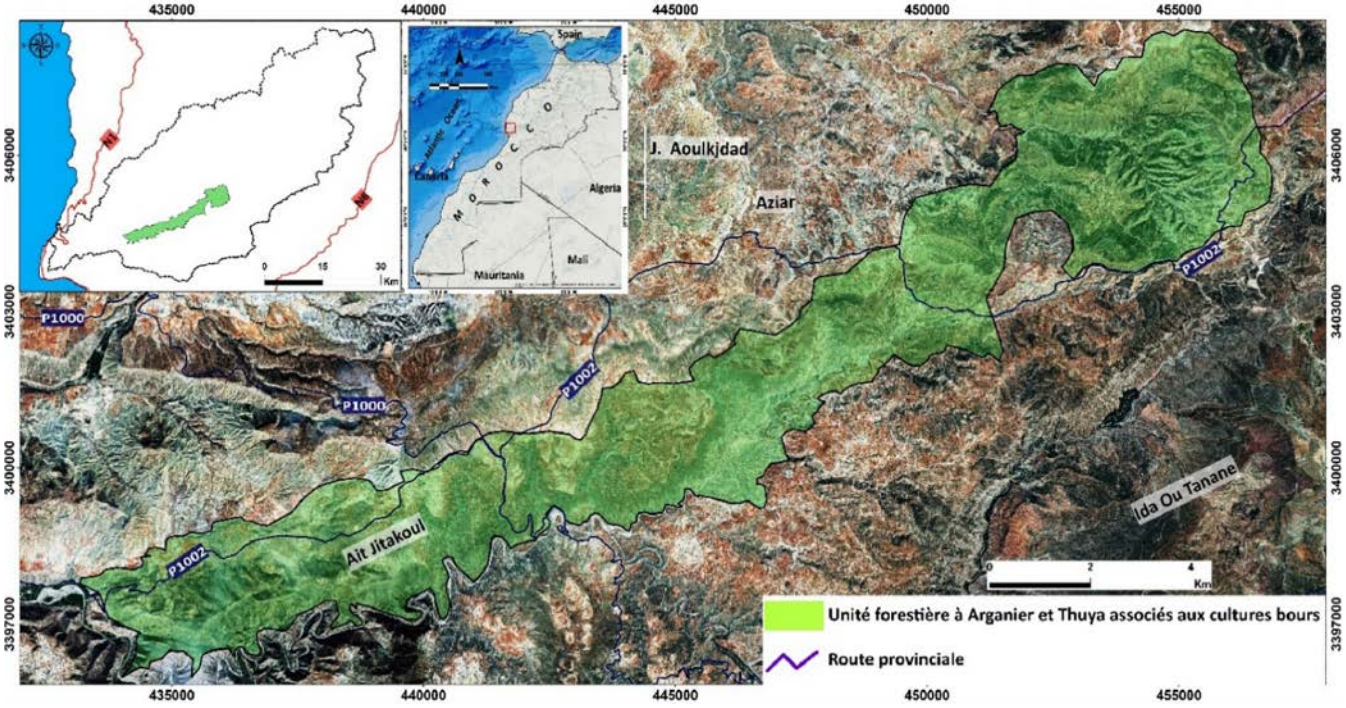


Figure 1. Cartes des limites spatiales et dynamiques de l'unité paysagères forestière à arganier et thuya associés aux cultures bours. Source: travail personnel et Landsat 8 OLI-Tirs, 08/2022, 30m .

3. MATERIEL ET METHODE

3.1. Méthodologie de travail et sources de données

Cette étude, basée sur une approche paysagère, analyse l'évolution du paysage forestier d'une portion de la forêt d'Ait Khmiss, définie comme une unité paysagère à arganier et thuya avec cultures bours dans la basse vallée de l'oued Tamri (Irifi, 2023). Nous avons commencé par une description de ses structures et caractéristiques géographiques (Irifi *et al.*, 2020). L'analyse de leur dynamique spatio-temporelle a été réalisée à l'aide d'images satellitaires Landsat 5, 7 et 8 (prises en 1984, 2000 et 2022) sous le logiciel ArcGIS (tableau 1). Des données de terrain ont permis de valider les résultats du traitement numérique et de l'échantillonnage de l'occupation du sol. Des relevés floristiques par placettes circulaires ont complété l'étude en évaluant la régénération naturelle des arganiers et des thuyas (Irifi & Tribak, 2024a). L'évolution quantitative du paysage forestier a été évaluée à partir d'images Landsat (résolution de 30 mètres) d'octobre 1984, juin 2000 et août 2022. Après correction géométrique et conversion en projection Lambert conforme conique, les paramètres géométriques ont pu être calculés. L'approche paysagère a conduit à la délimitation de trois unités paysagères homogènes au sein du paysage forestier étudié (Irifi, 2023; Legouy, 2012). Cette délimitation repose sur un diagnostic paysager de cette portion de la forêt d'Ait Khemiss, corroboré par des observations de terrain. Ces unités résultent de la combinaison de divers éléments constitutifs du paysage

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/IESTSCIENTIA.2025.i01.08

(Bourget & Dû-Blayo, 2010; Irifi *et al.*, 2020; Legouy, 2012; Roche, 2007). Identifiables visuellement sur le terrain et sur les images satellitaires, ces éléments ont été regroupés en classes par interprétation visuelle des images sous ArcGIS (Bourget & Dû-Blayo, 2010). Pour l'analyse diachronique, les mêmes classes ont été utilisées lors du traitement numérique des trois images satellitaires, en appliquant une classification supervisée (figure 2).

La classification par l'algorithme « *maximum de vraisemblance* », basée sur un échantillonnage (zones d'apprentissage) et une distribution gaussienne (Jensen, 2005), s'est avérée la plus efficace pour distinguer les classes thématiques: couvert forestier de thuya et d'arganier, couvert d'arganier associé aux cultures bours, et affleurements marneux à faible couvert forestier. Ces classes, ainsi que quatre classes de densité du paysage forestier, ont servi à évaluer la dynamique d'occupation du sol et de densité forestière (Irifi, 2023). Le travail de terrain a permis de définir les zones d'apprentissage et d'obtenir les signatures spectrales (Akoguhi *et al.*, 2022). Ainsi, nous avons pris en considération le traitement d'images satellites prises durant la période estivale, de préférence des images acquises durant les mois de juin, août et octobre. Ce choix nous a permis de réduire toute confusion liée à la présence de végétation annuelle (Lucas *et al.*, 2007), mais aussi d'éviter l'analyse d'images présentant un taux élevé d'effets atmosphériques. L'interprétation des résultats a été enrichie par des photographies de paysages, des images satellites GeoEye de Google Earth et des enquêtes auprès des chefs de ménage. Les enquêtes ont été menées afin d'obtenir une analyse globale de la dynamique des différentes composantes paysagères de l'unité étudiée. Les questionnaires étaient structurés en quatre parties principales : données sociodémographiques et professionnelles des ménages, équipements, contraintes et potentialités, économie locale et rurale, et dynamiques paysagères (Annexe 1).

Tableau 1. Types de données utilisées.

Type de données	Date	Résolution	Type de traitement	Source de données
Images satellites		30 m	Composition colorée et classification supervisée	https://earthexplorer.usgs.gov
– Landsat 5 TM	1984			
– Landsat 7 ETM+	2000			
– Landsat 8 OLI-TIRS	2022			
GeoEye	2003 et 2022	3.87 km (A)	Analyse visuelle	Google Earth Pro
SAS.planete-*Satellite (Google maps)*	2022	21 m	Analyse visuelle et représentation du paysage	SAS.planete
Relevés floristiques	2021 à 2022		Echantillonnage systématiques	Mission de terrain
Photographie	2017---2022	Camera Nikon COOPLIX S3500 20m	Prise de photographie	Missions de terrain
Données climatiques	1980-2022		Analyse statistiques	Agence du Bassin Hydraulique Souss-Massa

Source: notre élaboration

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/IESTSCIENTIA.2025.i01.08

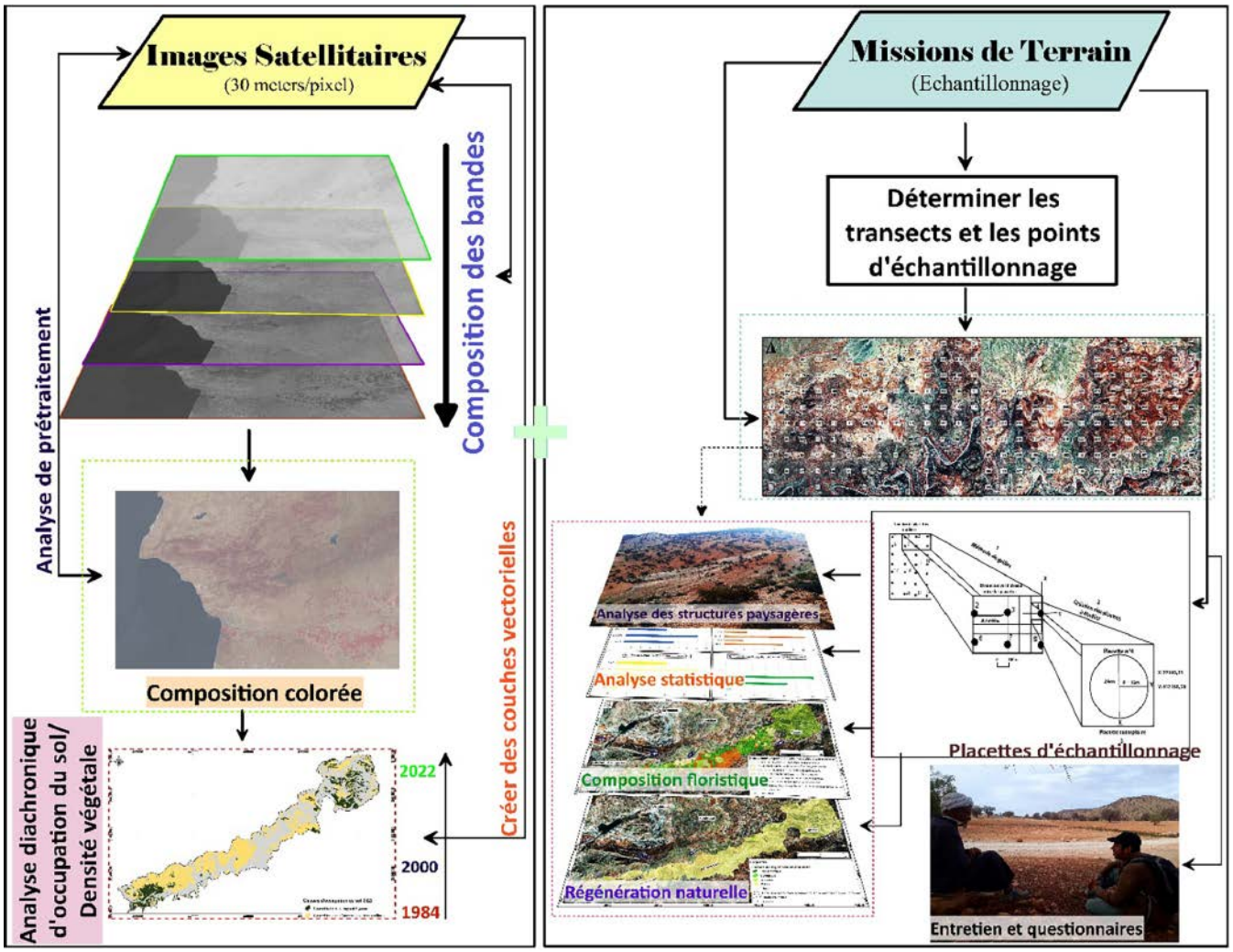


Figure 2. Organigramme de l'étude. Source: notre élaboration.

3.2. Travail de terrain

Afin d'appréhender à la fois les structures paysagères, les facteurs influençant la dynamique du paysage forestier et le phénomène de régénération naturelle des jeunes semis d'arganier et de thuya, une méthode d'échantillonnage systémique et systématique a été mise en œuvre sur le terrain (Bouchibane *et al.*, 2024; Irifi & Tribak, 2024a). Un plan d'échantillonnage et de maillage a été établi pour l'unité forestière étudiée, comprenant un réseau de 135 placettes circulaires disposées en grille, avec une distance inter-placettes de 300 mètres (figure 2) (Bouchibane *et al.*, 2024; Burel & Baudry, 1999; Irifi & Tribak, 2024a). Cette approche méthodologique a permis de réaliser des relevés floristiques et phytosociologiques, ainsi qu'une description sommaire de différentes variables écologiques et géomorphologiques pertinentes. Les missions de terrain, qui ont consisté à réaliser 135 inventaires au sein de structures paysagères floristiquement homogènes, se sont déroulées entre décembre 2021 et février 2022. Ces structures comprennent des zones de forte densité du couvert arboré, des structures de couvert arboré clair ou des espaces sylvopastoraux, ainsi que des structures caractérisées par l'association d'arganiers et de thuyas avec des cultures bours et des terrasses agricoles (Irifi, 2023).

Les fiches d'inventaire utilisées sur le terrain regroupent plusieurs types de variables. Premièrement, des variables permettant de caractériser l'état des lieux (altitude, pente, substrat rocheux, type de sol, exposition des versants) sont relevées (Assédé *et al.*, 2015; Irifi & Tribak, 2024a). Deuxièmement, des variables écologiques spécifiques à l'arganier et au thuya présents dans chaque placette sont inventoriées, telles

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/IESTSCIENTIA.2025.i01.08

que la densité du couvert arboré, la fructification, la régénération, l'état sanitaire des arbres, les pratiques d'écimage, ainsi que le taux de recouvrement de la strate arbustive (Irifi & Tribak, 2024a; Tan & Bruckert, 1992). Enfin, une section est dédiée à l'étude de la régénération naturelle des jeunes semis, avec le comptage du nombre de semis et la description de leurs caractéristiques (Baraloto, 2003; Genin *et al.*, 2017; Irifi & Tribak, 2024a; Karami *et al.*, 2017) (Annexe 2) . L'objectif principal de ce travail est de constituer une base de données statistique exploitable pour la cartographie. Les données ont été analysées statistiquement sous Excel et cartographiquement sous ArcGIS, en appliquant la méthode d'interpolation spatiale IDW pour la prédiction et la généralisation. L'IDW (Inverse Distance Weighted) approxime une valeur non échantillonnée par une moyenne pondérée des points proches échantillonnés (Ikechukwu *et al.*, 2017; Mitas & Mitasova, 2005). Conformément aux méthodes quantitatives de mesure de la végétation (Baraloto, 2003; Bormann, 1953), l'état de la régénération naturelle de l'arganier et du thuya a été évalué selon trois classes (tableau 2): faible (1-2 semis), modérée à dynamique (3-5 semis) et active (plus de 5 semis). L'étude a également examiné l'influence des conditions climatiques sur cette régénération.

Tableau 2. Classes de régénération naturelle dans la zone d'étude.

Etat de régénération naturelle	Nombres de semis	Nombre de semis/ha
Nulle	0	<20
Faible	1 à 2	20 à 39,99
Modérée	3 à 4	40 à 79,99
Dynamique	5	80 à 90
Très dynamique	Plus de 5	>90

Source: élaboration propre basée sur Mohammed, 1994.

La détermination des taxons recensés, l'analyse chorologique et la définition de la composition floristique de l'unité paysagère ont été réalisées en se référant aux travaux de (Peltier, 1982), de (Benabid, 2000), de (Valdés *et al.*, 2002), de (Aafi *et al.*, 2002, Dallahi *et al.*, 2017; Fennane, 1982, 1999; Fennane & Rejdali, 2016; Taleb & Fennane, 2019a, 2019b), et de (Irifi & Tribak, 2021, 2024a). Pour l'actualisation des données et l'identification des taxons sur le terrain, nous avons consulté le site internet concernés aux plantes caractéristiques du Centre et du Sud marocain https://www.teline.fr/ et utilisé la base de données mondiale «*PlantNET*» via une application pour smartphone. L'analyse des groupements végétaux et de la fréquence des espèces au sein de l'unité forestière à arganiers et thuya associée aux cultures bours a été menée en considérant l'abondance ou la rareté de chaque espèce par rapport à l'ensemble des relevés floristiques effectués. Cette démarche a permis de caractériser la biodiversité floristique de la zone d'étude.

4. RESULTATS

4.1. Structures paysagères forestières d'Ait Khmiss

D'un point de vue écologique, les paysages forestiers de cette unité ont fonctionné et évolué dans un climat méditerranéen, apportant toute la richesse floristique, phytogéographique et anthropique qui leur est propre (Fennane, 1982; Irifi, 2023). Le thuya de Berberie représente la troisième essence dominante en termes de superficie (675 300 ha), après l'arganier (1 076 000 ha) et le chêne vert (1 347 200 ha) (Lefhaili & Amhajar, 2020). L'arganier, espèce relique de la végétation subtropicale pré-glaciaire, constitue une curiosité biologique au sein des Sapotacées, associé à un cortège floristique principalement méditerranéen et macaronésien (Peltier, 1982; Ruas *et al.*, 2016; Zugmeyer, 2006). Il s'agit d'un paysage forestier mi-chemin entre l'unité forestière à Arganiers moyennement denses, qui fait partie de l'étage inframéditerranéen, et

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/IESTSCIENTIA.2025.i01.08

l'unité forestière à Thuyas dominants, qui appartient à l'étage thermoméditerranéen dans la basse vallée de l'oued Tamri (Irifi, 2023). Ces paysages forestiers se composent de structures diversifiées et interagissantes, façonnées sur des plateaux situés à des altitudes moyennes à élevées, variant entre 300 mètres et plus de 800 mètres. Les pentes de ces plateaux présentent des inclinaisons dépassant souvent les 75 à 100 %, partiellement recouvertes par un couvert forestier d'arganier et de thuya, bien que ce dernier soit assez dégradé et clairsemé (El Ouahidi, 2008; El Wahidi, 2013; Irifi *et al.*, 2020; Irifi & Tribak, 2024a).

Les paysages forestiers de cette unité s'organisent en structures hétérogènes selon un modèle d'usage agro-sylvo-pastoral (Faouzi, 2011, 2013; Zugmeyer, 2006). Ici, l'organisation du paysage allie une gestion traditionnelle (Agdal) et une gestion moderne (Auclair, 1999; Faouzi, 2011). «L'occupation de l'espace obéit à des règles complexes issues de la juxtaposition de trois législations: la législation forestière, qui distingue le territoire privé du territoire domanial, la loi coranique, qui définit les règles d'héritage, et le droit coutumier, qui organise la répartition des parcelles entre les usagers et leur utilisation au cours de l'année» (Faouzi, 2011). Dans l'arganeraie, la gestion des ressources naturelles s'organise autour du terroir, qui comprend des terres privées, généralement cultivées, et des terres domaniales, parfois privatisées de facto (Agdal) ou utilisées collectivement (Mouchaâ) (Bourbouze & El Aîch, 2005). La mise en culture du sous-bois est largement répandue près des douars ou en terrasses agricoles en gradins sur des pentes faibles à moyennes. Le bon fonctionnement de ce paysage est compromis par la récurrence de longues périodes de sécheresse, comme en témoignent le faible taux de régénération naturelle, la diminution croissante de la biodiversité floristique et le dépérissement accru de ces peuplements. La structure des terrains Mouchaâ, ouverts au pâturage pendant la période d'Agdal, subit une forte pression pastorale, ce qui explique la moindre biodiversité et régénération naturelle de ces zones. Les grandes superficies des champs de culture sont organisées en clairières destinées à la céréaliculture, dans lesquelles l'arganier est traditionnellement recépé (cheffir) à l'aide d'une pioche pour faire venir de nouveaux rameaux plus forts. L'arganier y est considéré comme un bien privé et régit par la loi forestière en vigueur dont les ayants droit bénéficient des droits de jouissance (Irifi, 2023).

Les dimensions de ces structures paysagères sont multiples: la dimension productive (agriculture, élevage, activité sylvicole, etc.), la dimension patrimoniale (greniers, habitat, kasbah, techniques de GCES, etc.), la dimension paysagère (vues panoramiques, visibilité, terrasses agricoles, tourisme, etc.), et la dimension écologique (multiples fonctions pour garantir un bon fonctionnement, biodiversité, stabilité des versants, habitats et géotopes, etc.). Les pratiques agro-sylvo-pastorales qui marquent ces paysages forestiers sont également nombreuses et expriment à la fois le grand syncrétisme entre l'homme et son milieu naturel et l'importante anthropisation de ces paysages (figure 3). Le ravinement affecte ces plateaux, dont les versants se sont approfondis et élargis, créant ainsi des pentes raides et aérant le paysage (Irifi & Tribak, 2024b). Cette configuration en pente raide mais régulière est principalement due au fait que les ravins favorisent l'érosion et le dégagement des formations marneuses de l'Hauterivien inférieur et supérieur, tout en formant des versants lacérés et assez dépourvus de végétation (Tribak, 1998; Tribak *et al.*, 2009). Ils s'achèvent dans l'oued Tannkert par des versants très raides colonisés par une végétation arborescente faiblement dense de thuya et d'arganier.

Les conditions écologiques, biophysiques et anthropiques permettent généralement de distinguer de multiples structures paysagères fonctionnelles et dynamiques, comme le montre la figure ci-dessus (figure 3). On y trouve des structures forestières de densités variables, destinées à la sylvopastoralité. On y trouve également des structures forestières de différents degrés de dégradation, en fonction de l'emprise humaine sur ces versants, et à usage agro-sylvo-pastoral. À proximité des douars, sur des terrains relativement étendus et faiblement pentus, abritant quelques arganiers (futaie adulte ou vieille futaie), les paysans pratiquent la culture du sous-bois par labour profond à l'aide de charrues mécaniques (Faouzi, 2013; Irifi & Tribak, 2024a; Tribak, 2001). Les petites exploitations sont destinées à l'arboriculture, dominée par l'olivier, lorsque les ressources en eau mobilisées sont suffisantes (Ziyadi, 2011). Sur les pentes faibles à moyennes, caractérisées par une densité importante de peuplements d'arganiers, les paysans ont édifié des terrasses en gradins en construisant des amas de blocs et de pierres allongées le long des versants, perpendiculairement à la pente (Tarolli *et al.*, 2014; Tribak *et al.*, 2013; Ziyadi *et al.*, 2019). Au sein des structures dominées par la Tetraclinis articulata, des terrasses agricoles anciennement abandonnées ont été reconquises par la forêt, préservant

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/IESTSCIENTIA.2025.i01.08



Figure 3. Différentes composantes paysagères et pratiques agro-sylvo-pastorales. Sources: clichés Irifi, H. 02/2022). a) Structure d'Iferd au sein de la forêt, b) Contrastes entre terrains défrichés et terrains aménagés en terrasses agricoles, c) Labourage profond du sous-bois, d) Clôture d'une partie de la forêt par les eaux et forêts, e) Arboriculture avec des demi-lunes, f) Terrasses agricoles, g) Structure d'une terrasse abandonnée au sein de la forêt, h) Panneau de site touristiques.

ainsi leurs murs de soutènement (Tribak *et al.*, 2013). Sur les versants pentus, des anciennes coupes d'arbres ont été réalisées pour obtenir de la terre à cultiver en terrasses, ce qui contribue à la dégradation de ces paysages (Irifi, 2023; Tribak, 2001). Afin de restaurer et de conserver ce qui reste, les aménageurs forestiers mettent en place des zones de mise en défens, où l'on ne peut plus pâturer, sur de grandes superficies de la forêt. Aussi, pour minimiser l'impact de la sécheresse sur l'approvisionnement en eau, les villageois ont construit des mares à ciel ouvert appelées Iferd et des matfias afin d'assurer des ressources en eau pour l'abreuvement des troupeaux (figure 3) (Irifi, 2023; Sabir *et al.*, 2017, 2020).

4.2. Richesse floristique et typologie des formations végétales de l'unité forestière

L'inventaire des plantes a permis de recenser un total de 23 espèces dans cette unité forestière. Ces espèces s'organisent en 21 genres et 12 ordres appartenant à 16 familles botaniques. Le tableau 3 présente en détail les 16 familles identifiées dans la zone d'étude et les espèces qui leur sont associées. Les familles les plus importantes recensées dans cette unité paysagère sont les Fabaceae et les Lamiaceae (13 %), suivies des Solanaceae, des Asparagaceae et des Anacardiaceae (9 %). Les 11 autres familles sont représentées par une seule espèce chacune (4 %). Les Fabaceae sont représentées par des espèces telles que *Ononis natrix, Genista tricuspidata* et *Chamaecytisus albidus*. Les Lamiaceae sont quant à elles représentées par trois espèces : *Lavandula multifida*, *Lavandula dentata* et *Thymus satureioides*. Les Solanaceae regroupent deux espèces : *Lycium intrecatum*

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/IESTSCIENTIA.2025.i01.08

et *Withania frutescens* (Aafi *et al.*, 2002; Benabid, 2000; Bouchibane *et al.*, 2024; Dallahi *et al.*, 2017; Fennane & Rejdali, 2016; Irifi & Tribak, 2024a; Peltier, 1982; Taleb & Fennane, 2019b; Valdés *et al.*, 2002) (tableau 3).

La fréquence des espèces présente des taux variables (diagramme 1). Les paysages forestiers s'articulent autour de deux espèces principales : l'arganier et le thuya, mais une autre espèce fréquente est l'olivier (*Olea europaea*), avec un pourcentage de 66 % par rapport aux relevés effectués. Concernant le cortège floristique arbustif, les espèces les plus fréquentes sont représentées par Genista tricuspidata (23 %), qui est l'espèce la plus répétée dans les 31 relevés floristiques effectués. Il s'agit donc de l'espèce la plus fréquente qui accompagne à la fois l'arganier et le thuya dans cette unité forestière. Elle est suivie par Globularia alypum (12 %), qui appartient à la famille des Plantaginaceae, puis par Chamaecytisus albidus (8 %), qui appartient à la famille des Fabaceae, et par Lavandula dentata (7 %), qui appartient à la famille des Lamiaceae. Dix espèces présentent une fréquence de 1 à 3 %, ce qui les rend très rares dans cette unité. Les familles ayant des espèces représentatives dans cette unité paysagère sont les suivantes: Oleaceae, Sapotaceae, Cupressaceae et Fabaceae.

Tableau 3. Liste des familles et nombre d'espèces relevées dans l'unité forestière à arganier et thuya associés aux cultures bours.

Familles	Espèces	Genre	Ordre
Fabaceae	*Ononis Natrix*	Ononis	Fabales
	Genista tricuspidata	Genista	Fabales
	Chamaecytisus albidus	Chamaecytisus	Fabales
Sapotaceae (endi)	*Argania spinosa*	Argania	Ericales
Amaranthaceae	*Salsola vermiculata*	Salsola	Caryophyllales
Asteraceae	*Launea arborescens*	Launea	Asterales
Plantaginaceae	*Globularia alypum*	Globularia	Lamiales
Cupressaceae	*Tetraclinis articulata*	Tetraclinis	Pinales
Asphodelaceae	*Asphodelus microcarpus*	Asphodelus	Asparagales
Solanaceae	*Lycium intrecatum*	Lycium	Solanales
	Withania fretuscens	Withania	Solanales
Asparagaceae	*Asparagus albus*	Asparagus	Asparagales
	Asparagus pastoranius	Asparagus	Asparagales
Lamiaceae	*Lavandula multifida*	Lavandula	Lamiales
	Lavandula dentata	Lavandula	Lamiales
	Thymus satureioides	Ballota	Lamiales
Oleaceae	*Olea maroccana*	Olea	Lamiales
Mimosaceae	*Acacia gummifera*	Acacia	Fabales
Apiaceae	*Eryngium maritimum*	Eryngium	Apiales
Rhamnaceae	*Ziziphus lotus*	Ziziphus	Rhamnales
Apocynaceae	*Periploca laevigata*	Periploca	Gentianales
Anacardiaceae	*Rhus tripatita*	Rhus	Sapindales
	Pistacia lentiscus	Pistacia	Sapindales

Source: Missions de terrain 01/2022 .

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/IESTSCIENTIA.2025.i01.08

Dans cette unité L'arganier et thuya s'associent principalement avec différentes espèces fréquentes telles que *Genista tricuspidata, Olea europea, Pistacia lentiscus, Chamaecytisus albidus* et *Globularia alypum*, donnant naissance à des groupements végétaux tels que la carte ci-dessous le montre (Benabid, 2000; El Maâna, 1994; Irifi, 2023; Irifi *et al.*, 2017; Irifi & Tribak, 2024a; Msanda *et al.*, 2021; Ouhaddou *et al.*, 2015; Peltier, 1982) (figure. 4). Les groupements ayant une contenance importante sont respectivement: le groupement Arganier et Thuya avec Globularia alypum (2477.89 ha), puis le groupement d'Arganier et Thuya avec Olea europea (1380.29 ha), et le groupement d'Arganier et Thuya avec Genista tricuspidata (1154.57 ha). Le groupement d'Arganier et Thuya avec *Pistacia lentiscus* (182,08 ha), soit 3 % de la superficie totale (figure 4), présente la valeur la plus faible.

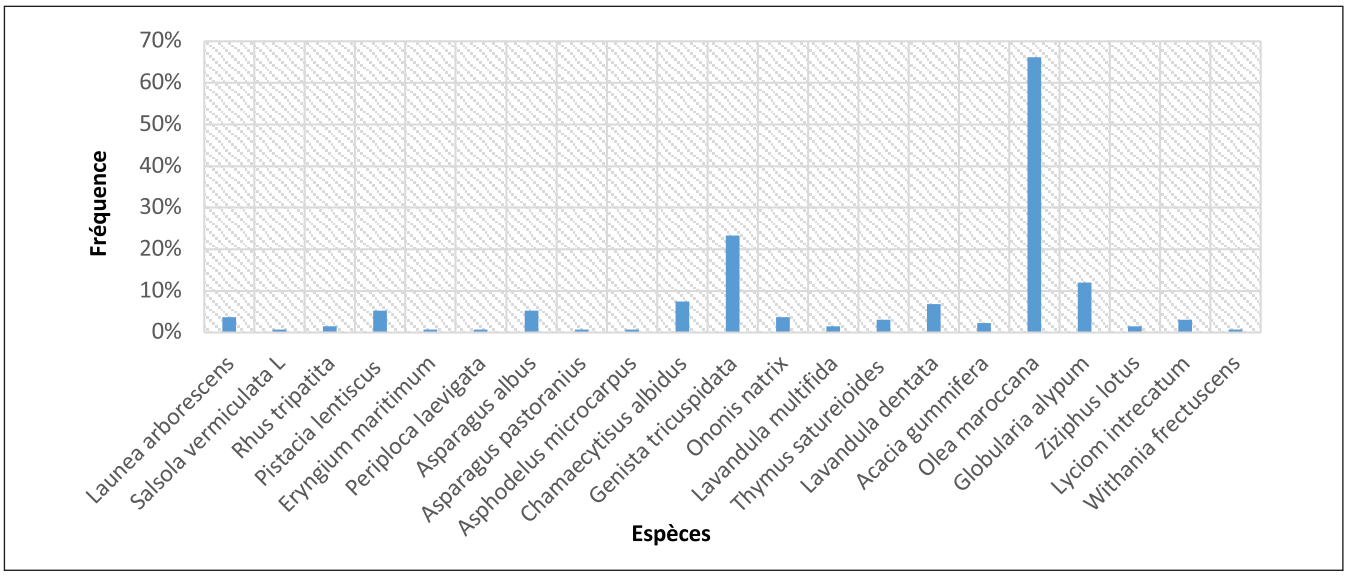


Diagramme 1 . Pourcentage des principales espèces fréquentes. Source: relevés floristiques.

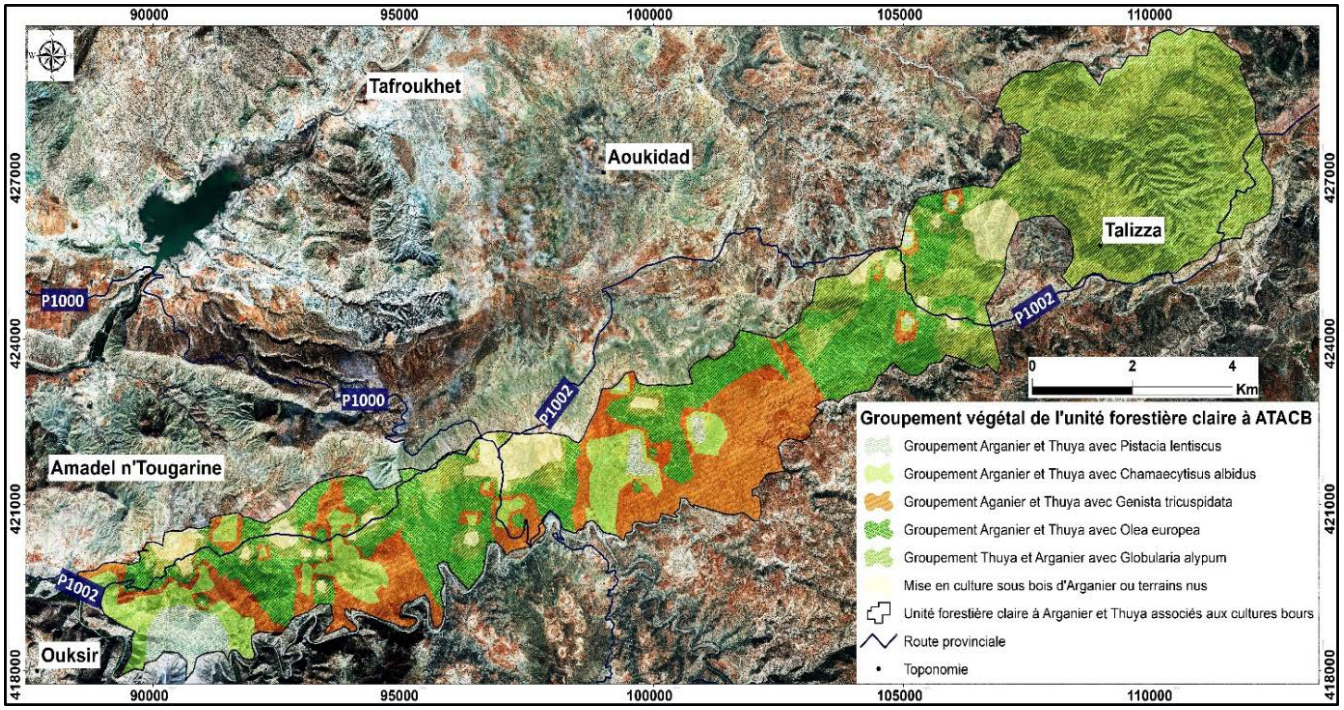


Figure 4 . Carte des groupements végétaux de l'unité forestière à Arganier et Thuya associés aux cultures bours. Source: relevés floristiques , 01/2022.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/IESTSCIENTIA.2025.i01.08

4.3. Dynamiques des structures paysagères forestières

Cette unité forestière présente des paysages fragiles avec une faible résilience. Sur le plan écologique, cette unité appartient aux forêts méditerranéennes hétérogènes, où l'on distingue des formations forestières, préforestières et pré-steppiques, dont l'évolution dépend du bioclimat et des espèces compositrices (El Maâna, 1994; Quézel & Barbéro, 1990; Taleb & Fennane, 2019a). Les paysages forestiers de cette unité illustrent un cas concret de dégradation spatiale, résultant de l'action combinée de facteurs biophysiques et anthropiques. Les résultats indiquent que cette dynamique régressive est principalement due aux activités humaines (déboisement, pratiques culturales, surpâturage, défrichement) et aux conditions climatiques, qui accentuent la désertification et le dépérissement (El Wahidi, 2013; Sivakumar, 2007; Wahidi *et al.*, 2015). Le développement progressif de la céréaliculture a entraîné des coupes anciennes dans les peuplements de thuya et d'arganier. Par conséquent, les formations forestières denses et de densité moyenne (*Mouchâa*) sont devenues des zones privilégiées pour le pâturage (Aouragh, 2012; Auclair, 1999; Bourbouze & El Aîch, 2005; Zugmeyer, 2006). De manière générale, le couvert forestier ne cesse de reculer dans l'espace et dans le temps (Irifi *et al.*, 2017).

Avec un taux de régression de 37 % depuis 1984, la superficie du paysage forestier pur est passée de 1 275,57 ha (21 % de l'unité forestière) à 990,12 ha (16 %) entre 1984 et 2000. La carte de l'année 2022 confirme également cette régression, qui représente une diminution de 181,25 ha par rapport à la période 2000-2022. Cependant, les deux autres classes ont connu une dynamique variable d'une période à l'autre en 2022. La classe des affleurements marneux sous faible couvert forestier a progressé, passant de 45 % à 49 % entre 1984 et 2022 (diagrammes 2 et 3, et figure 5). Cette dynamique variable selon les classes reflète l'influence combinée des sécheresses récurrentes et d'une forte pression anthropique (Wahidi *et al.*, 2015). La superficie du couvert forestier d'arganier et de thuya associé aux cultures bours a augmenté de 35 % (717,20 ha) entre 1984 et 2000, puis a diminué de 18 % entre 2000 et 2022. La classe des affleurements marneux sous un couvert forestier très faible présente une dynamique régressive durant la période 1984-2000, avec une baisse de 2752,53 ha en 1984 à 2324,22 ha en 2000, correspondant à une évolution de -16 % en 16 ans. Tandis que sa superficie a connu une progression assez importante de 30 %, avec une évolution de 695,10 ha. La diminution de la superficie de la classe des couvertures forestières de thuya et d'arganier, ainsi que de la classe des couvertures forestières d'arganier associées aux cultures bours durant la période 2000-2022, au profit de la classe des affleurements marneux sous un couvert forestier très faible, témoigne d'une transformation des zones boisées en paysages moins densément couverts de végétation (tableau 4).

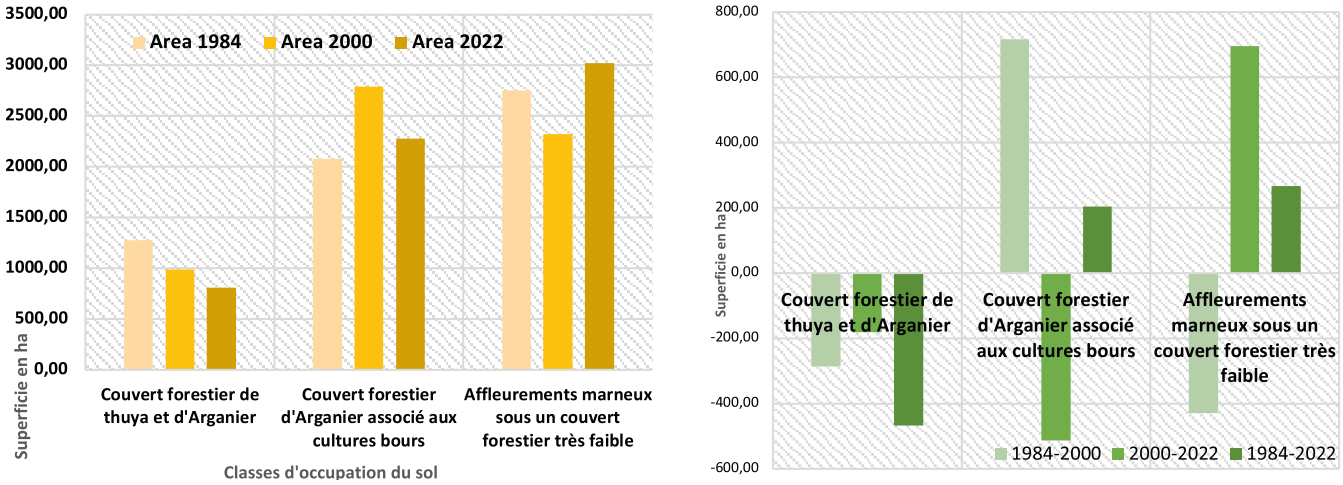


Diagramme. 2 et 3 . Evolution des superficies d'occupation du sol de l'unité forestière claire à Arganier et Thuya associés aux cultures bours. Source: elaboration personnelle basée sur le traitement d'images Landsat .

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/IESTSCIENTIA.2025.i01.08

Tableau 4. Valeurs d'évolution des classes d'occupation du sol.

Classes d'occupation du sol	Area 1984	Area 2000	Area 2022	Taux évo 84-2000	Taux évo 2000-22	Taux évo 84-22
Couvert forestier de thuya et d'Arganier	1275,57	990,12	808,87	-22%	-18%	-37%
Couvert forestier d'Arganier associé aux cultures bours	2077,26	2794,46	2280,84	35%	-18%	10%
Affleurements marneux sous un couvert forestier très faible	2752,53	2324,22	3019,32	-16%	30%	10%

Source: Elaboration personnelle basée sur le traitement d'images Landsat.

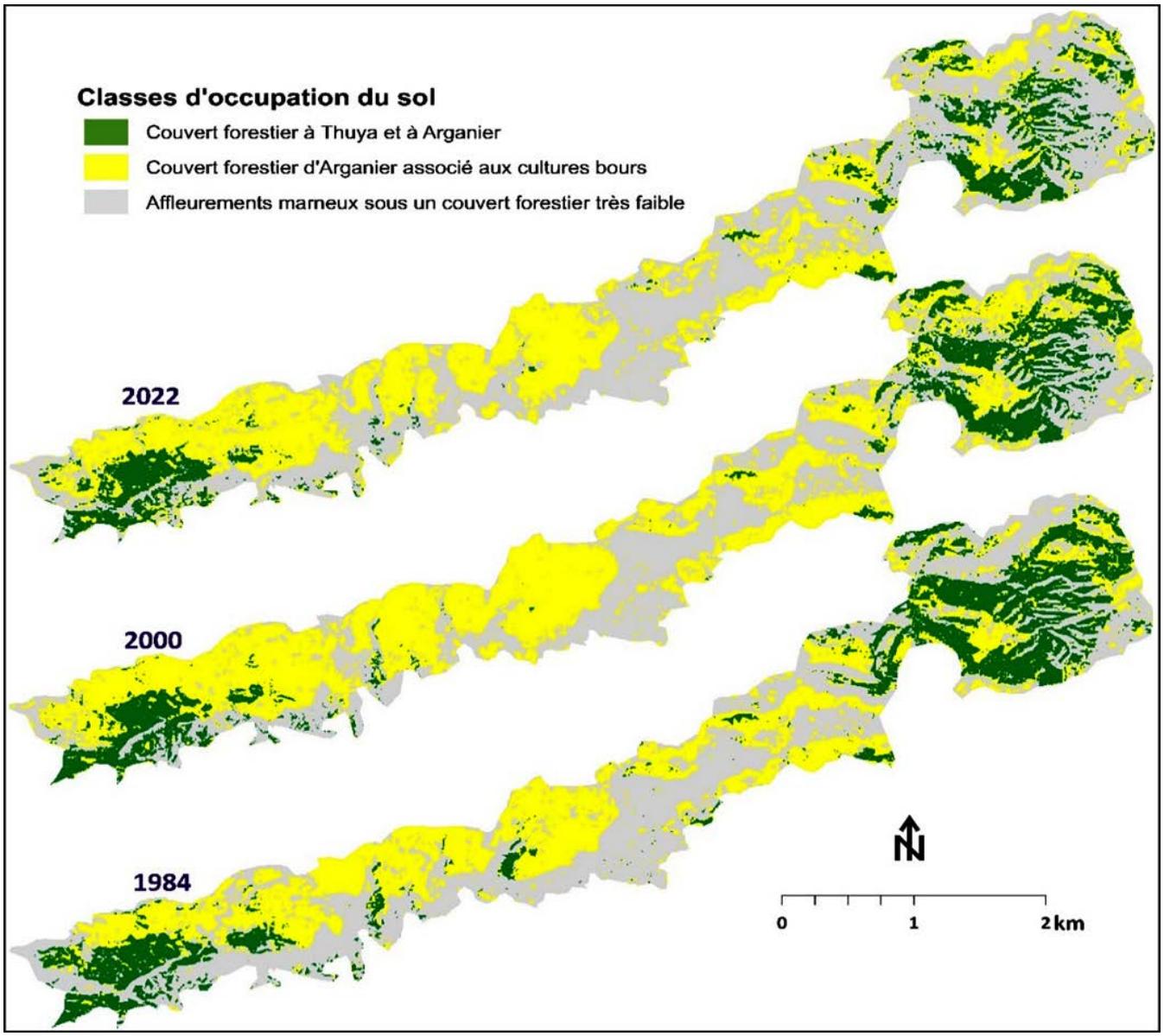


Figure 5 . Dynamique d'évolution du paysage forestier de l'unité à Arganier et Thuya associés aux cultures bours. Source: elaboration personnelle basée sur le traitement d'images Landsat .

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/IESTSCIENTIA.2025.i01.08

4.4. Dynamiques des structures de densité du couvert forestier

Les paysages forestiers de cette unité paysagère dans cette zone de montagne sont de plus en plus soumis à de fortes pressions humaines (Aouragh, 2012; Irifi, 2023). Il en résulte une tendance à l'ouverture, et par conséquent à la formation de matorrals. Les agents forestiers estiment ainsi qu'il est urgent de prendre les mesures adéquates pour inverser cette dynamique (Aouragh, 2012; Irifi & Tribak, 2024a). Les résultats de l'analyse diachronique confirment cette « formation de matorrals » des paysages forestiers, liée à une longue période de sécheresse et à l'expansion des surfaces agricoles, notamment vers le nord-est de l'unité paysagère. Entre 1984 et 2022, la forêt a perdu 307,56 ha de sa superficie (soit -5 %), tandis que les sols cultivés sous couvert forestier faible ont progressé de 605,79 ha. La classe du sol nu ou sous couvert forestier très faible a perdu 295,86 ha (soit -5 %) de la superficie totale en 38 ans. En se basant sur l'évaluation de la densité des paysages forestiers sur le terrain, 79 % des placettes d'évaluation ont été effectuées dans des zones présentant une faible à moyenne densité du couvert forestier, c'est-à-dire de 5 à 45 % de la densité du couvert arboré. La dynamique paysagère peut prendre deux formes : régressive ou progressive. Entre 1984 et 2000, la classe du couvert forestier dense a subi une régression moyennement de 47 %, correspondant à une perte de 340,22 ha sur 38 ans. Ces résultats s'accordent avec l'augmentation de la classe du couvert forestier de densité moyenne, qui a évolué de 32 % (390,07 ha) durant la même période. Elle est ainsi passée de 1 232,86 ha en 1984 à 1 622,93 ha en 2000 (diagramme 4 et tableau 4).

En revanche, la surface du sol cultivé sous couvert forestier de faible densité est assez étendue. Elle a connu une dynamique nette et croissante, passant respectivement de 23 % en 1984, 28 % en 2000 et 33 % en 2022. Cette augmentation était sûre et certaine, notamment grâce à la classe du couvert forestier moyennement dense ou à celle du sol nu ou sous couvert forestier très faible, avec un taux d'évolution de 42 % entre 1984 et 2022. La dynamique régressive de la classe du sol nu ou sous couvert forestier très faible se traduit par une certaine reconquête végétale, avec l'apparition d'arbustes tels que *Genista tricuspidata, Launea arborescens ou Lycium intrecatum*, sur ces versants, ou du fait de la transformation de quelques terrains en terres à cultiver (Aouragh, 2012; El Wahidi, 2013; Irifi, 2023; Irifi *et al.*, 2017; Wahidi *et al.*, 2015) (figure 6).

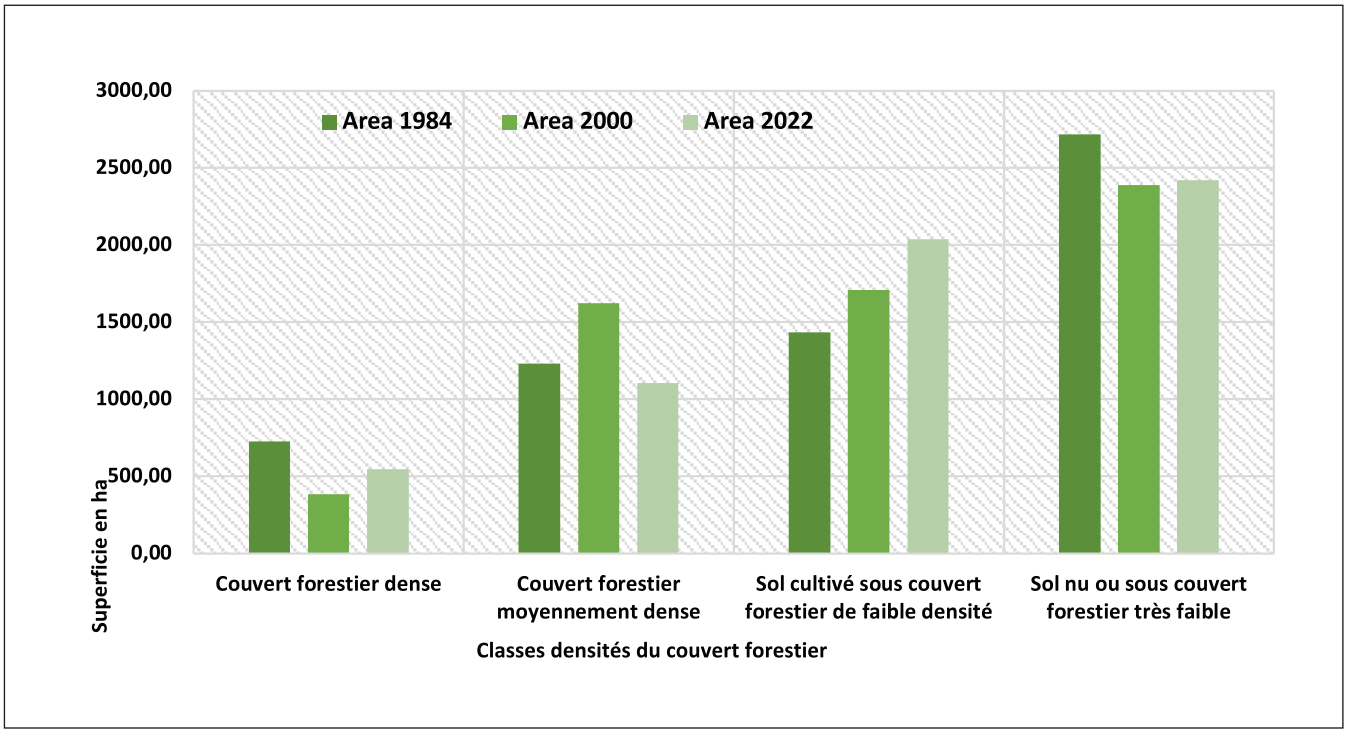


Diagramme 4. Evolution des classes de densité du couvert forestier de l'unité forestière. Source: elaboration personnelle basée sur le traitement d'images Landsat .

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/IESTSCIENTIA.2025.i01.08

Tableau 5. Valeurs d'évolution des classes de densité du couvert forestier de l'unité paysagère.

Classes de densité du couvert forestier	Area 1984	Area 2000	Area 2022	Taux évo 1984-2000	Taux évo 2000-2022	Taux évo 1984-2022
Couvert forestier dense	725.63	385.41	545.94	-47%	-42%	-25%
Couvert forestier de densité moyenne	1232.86	1622.93	1104.99	32%	-32%	-10%
Sol cultivé sous couvert forestier de faible densité	1432.28	1709.74	2038.06	19%	19%	42%
Sols nus ou sous couvert forestier très faible	2715.97	2390.44	2420.11	-12%	1%	-11%

Source: elaboration personnelle basée sur le traitement d'images Landsat.

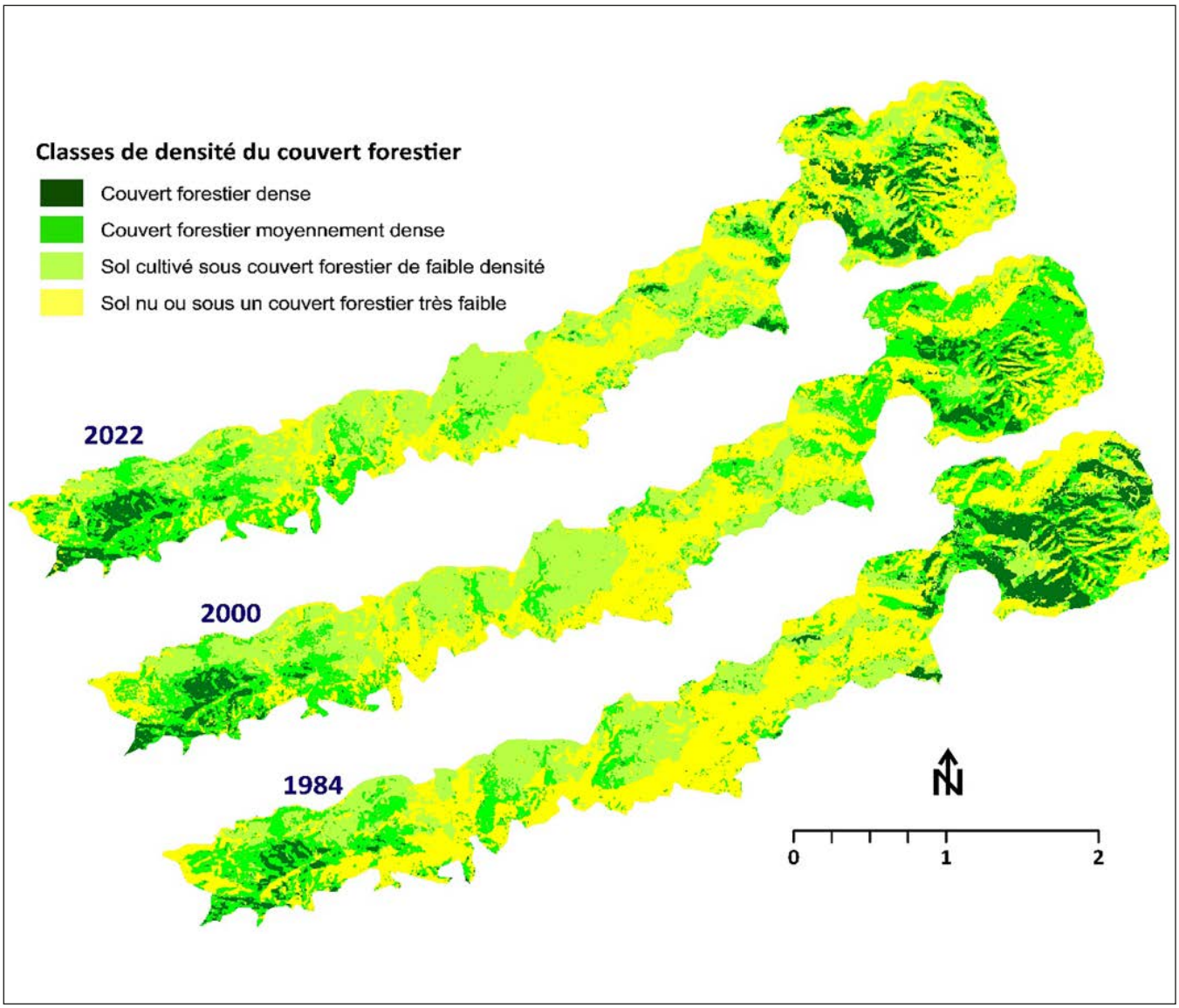


Figure 6 . Dynamique d'évolution des classes de densité du couvert forestier de l'unité à Arganier et Thuya associés aux cultures bours. Source: elaboration personnelle basée sur le traitement d'images Landsat .

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/IESTSCIENTIA.2025.i01.08

4.5. Dynamiques de régénération naturelle de l'Arganier et de Thuya

Si la régénération naturelle est aisément observable pour de nombreuses espèces arborées et arbustives, elle est compromise pour Argania spinosa, dont les jeunes semis peinent à survivre au broutage, au piétinement et aux contraintes climatiques (Baraloto, 2003; Irifi & Tribak, 2024a). La forte pression exercée sur cette unité paysagère (surpâturage, exploitation excessive des ressources ligneuses, agriculture intensive, récolte systématique des fruits), combinée à des conditions écologiques et biophysiques défavorables, explique le faible taux de régénération naturelle de l'arganier (Irifi, 2023; Irifi & Tribak, 2024a). Dix-huit jeunes arganiers et soixante-six jeunes thuyas ont été recensés. Leur morphologie est globalement similaire, avec des hauteurs et des diamètres variant de 25 cm à 1,20 m selon leur âge. De nombreux semis bénéficient de la présence de plantes nurses (Lavandula dentata, Genista tricuspidata, Pistacia lentiscus, Globularia alypum, etc.), 52 % des semis régénérés se trouvant au sein de ces plantes, 27 % sans protection et seulement 20 % à l'abri de pierres ou de blocs (Genin *et al.*, 2017; Irifi & Tribak, 2024a; Karami *et al.*, 2017). L'étude des facteurs topographiques révèle leur influence sur la régénération naturelle de l'arganier et du thuya: 27 semis ont été recensés sur des pentes faibles (inférieures à 15 %) et fortes (entre 45 % et 70 %), et 21 semis sur des pentes supérieures à 70 %, contre seulement 9 sur des pentes de 15 % à 30 %. La régénération des arganiers et des thuyas se concentre à mi-versant (65 %), puis au sommet (27 %) et au niveau du bas de versant (5 %), les talwegs et plateaux étant très peu concernés (1 %). L'accessibilité du relief apparaît donc comme un facteur déterminant pour la régénération naturelle (Assédé *et al.*, 2015; Irifi & Tribak, 2024a; Tan & Bruckert, 1992) (figure 7).

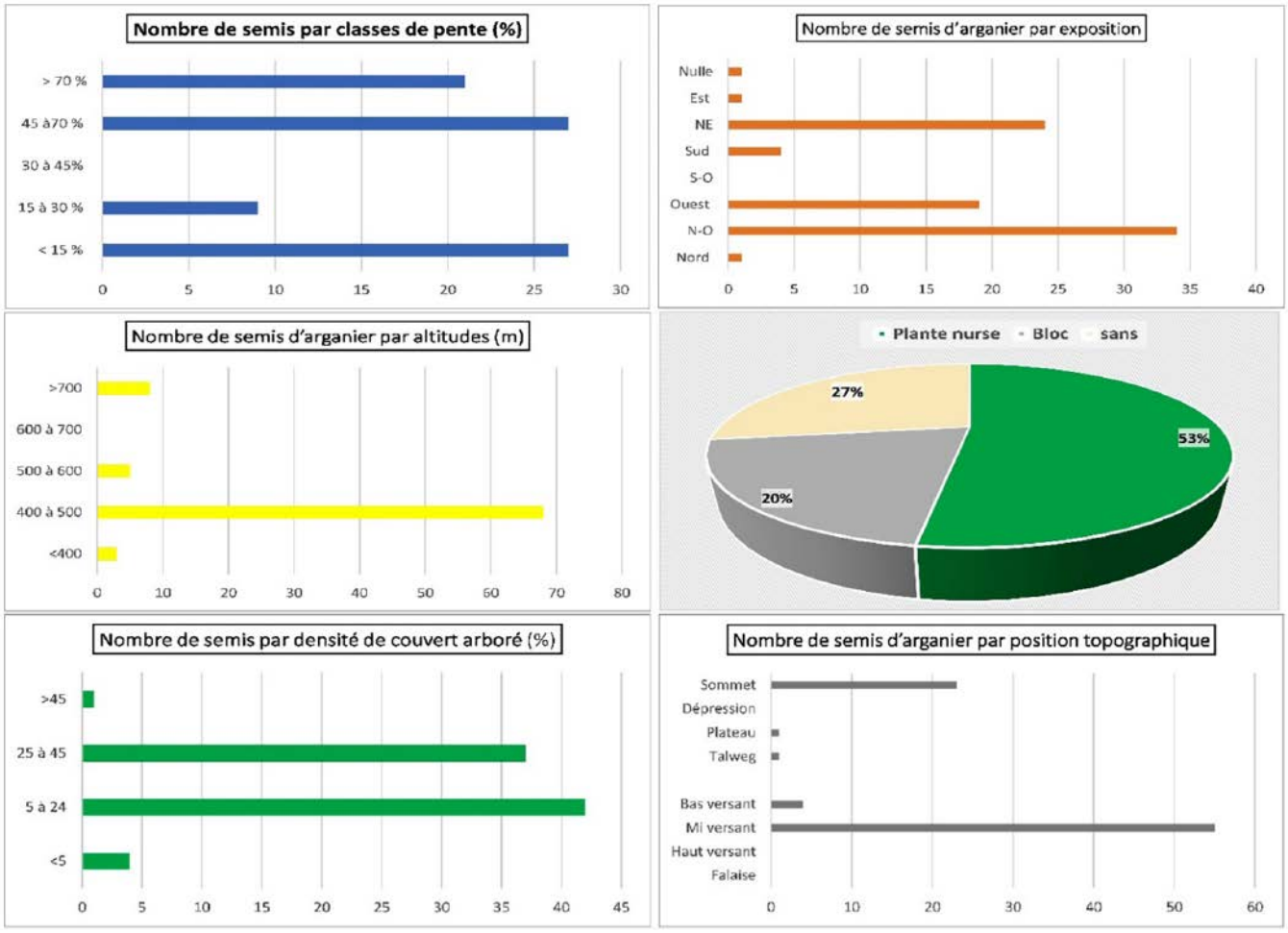


Figure 7 . Diagrammes du nombre de semis régénérés par rapport aux conditions de terrain dans l'unité à Arganier et Thuya associés aux cultures bours. Source: relevés floristiques.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/IESTSCIENTIA.2025.i01.08

L'effet géomorphologique et orographique, notamment l'exposition des versants et l'altitude, influence la régénération (Assédé *et al.*, 2015; Irifi & Tribak, 2024a). Nous avons recensé 34 semis sur les versants nord-ouest, 24 sur les nord-est et 19 sur les ouest. Les versants sud semblent moins propices à la régénération naturelle (Irifi & Tribak, 2024a). L'altitude optimale se situe entre 400 et 500 m (68 semis), suivie des altitudes supérieures à 700 m (8 semis, principalement des thuyas et quelques arganiers). Les basses altitudes inférieures à 400 m n'enregistrent que la régénération de trois jeunes semis d'arganier. Les relevés floristiques révèlent une corrélation entre régénération et densité du couvert arboré (Baraloto, 2003; Drapier, 1985; Genin *et al.*, 2017; Irifi & Tribak, 2024a; Meddour, 1992; Tan & Bruckert, 1992) : 79 semis d'arganier et de thuya ont été observés dans les zones à recouvrement moyen (5-45%), contre un seul dans les zones à recouvrement supérieur à 45% (figure 7). La carte de régénération naturelle révèle une dominance d'un état de régénération généralement faible, voire nulle, à l'exception de quelques zones à forte régénération, identifiées comme des hotspots de régénération naturelle (figure 8) (Irifi, 2023). Ces zones ne couvrent toutefois qu'un peu plus de 200 ha (+ 3 %) de la superficie totale de l'unité paysagère forestière. La plupart des jeunes arganiers se développent sur des terrasses abandonnées ou dans la zone de *Mouchaâ*, à l'écart des habitations, des cultures bours et des zones de pâturage souvent exposées à l'ouest, au nord-est et au nord-ouest. À la différence de l'unité forestière à arganiers moyennement denses, les paramètres topographiques et écologiques semblent jouer un rôle primordial dans le processus de régénération naturelle des arbres (Irifi & Tribak, 2024a).

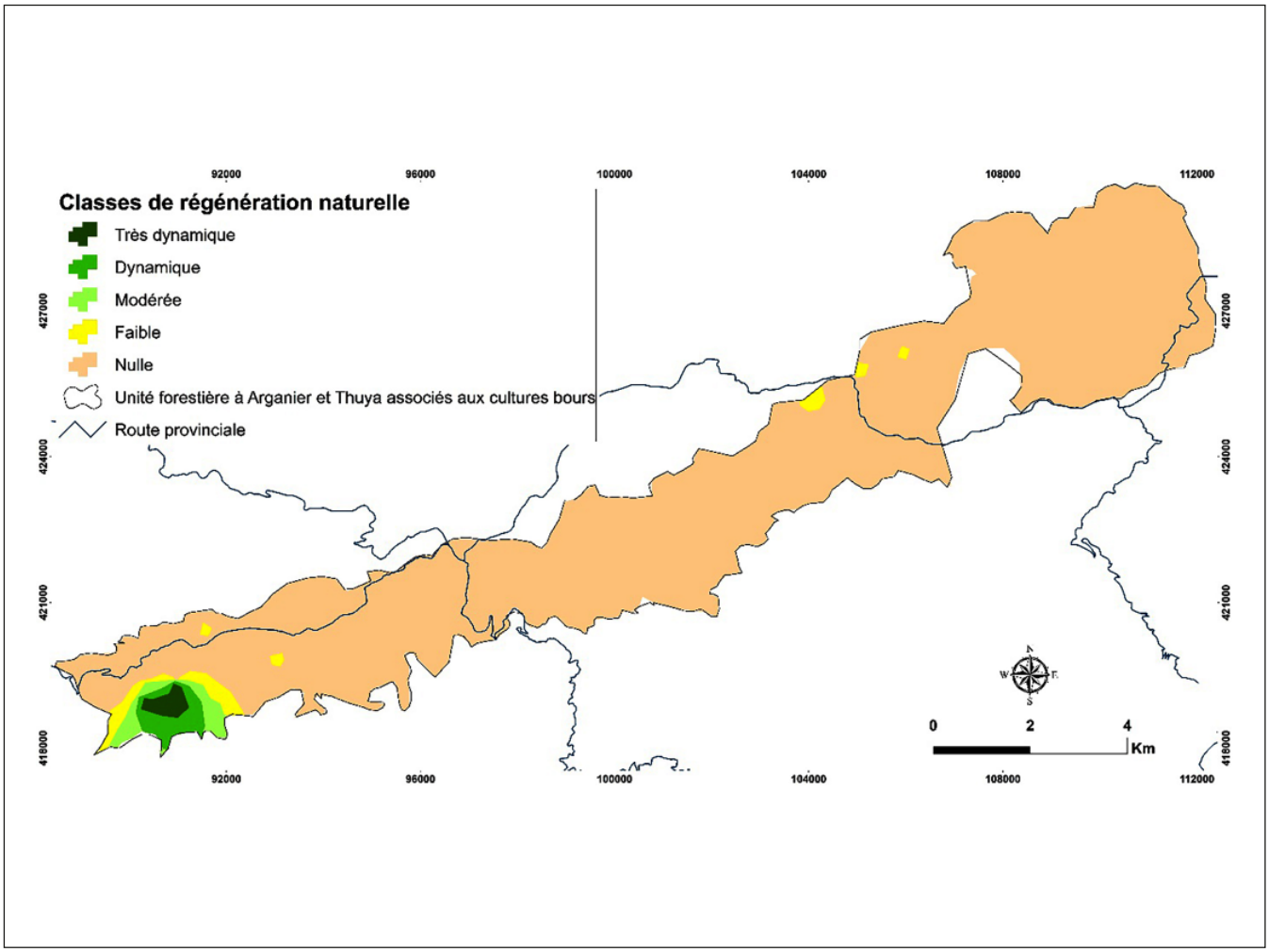


Figure 8 . Carte de régénération naturelle de l'Arganier et Thuya de l'unité forestière claire à Arganier et Thuya associés aux cultures bours. Source: relevés floristiques.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/IESTSCIENTIA.2025.i01.08

5. DISCUSSION

Cette unité paysagère forestière, fortement anthropisée, a vu d'importantes superficies converties en cultures bours (Irifi, 2023). Sa dynamique spatio-temporelle est conditionnée par les influences naturelles ainsi que par les fluctuations socio-économiques entre emprise et déprise agricoles (Aouragh, 2012; El Wahidi, 2013; Kirchhoff *et al.*, 2019, 2022; Le Polain De Waroux & Lambin, 2012; Marzolff *et al.*, 2021; Tribak, 2001). La superficie des terres cultivées est ainsi passée de 1 432,28 ha en 1984 à 2 038,06 ha en 2022, entraînant une régression du couvert forestier dense au profit des cultures, puis du pâturage après abandon. Le double phénomène d'emprise humaine et de sécheresse conduit à l'apparition de paysages dégradés et à l'affleurement des terrains marneux sous un couvert arbustif épars (Irifi, 2023). La réduction du couvert végétal est un indicateur clé de la dégradation des paysages forestiers, soulignant le rôle du stress hydrique, de la sécheresse et des fortes chaleurs (Chakhchar *et al.*, 2017; Kirchhoff *et al.*, 2019, 2022; Le Polain De Waroux & Lambin, 2012; Wahidi *et al.*, 2015). L'évolution du couvert forestier varie en fonction des périodes, des essences et du degré d'anthropisation. L'analyse, basée sur l'année de référence 1984, couvre 38 ans, divisés en deux périodes: 1984-2000 et 2000-2022. L'analyse de l'évolution des paysages forestiers de la basse vallée confirme une tendance régressive de 1980 jusqu'en 2000, légèrement atténuée entre 2000 et 2022, sans toutefois disparaître (Irifi *et al.*, 2017; Le Polain De Waroux & Lambin, 2012).

Toutes les formations de la couverture végétale de cette unité forestière ont subi et subissent encore une forte dégradation (unités supérieures denses, matorrals, couvert végétal arbustif, etc.) ; elles présentent des signes de détérioration assez sévères (El Wahidi, 2013; Irifi *et al.*, 2017). La régression superficielle, le dépérissement des arbres, la diminution des taux de recouvrement végétal et la dédensification des paysages forestiers de thuya sont tous des aspects des processus de dégradation du couvert végétal ancrés dans le temps et dans l'espace (Aouragh, 2012; El Wahidi, 2013; Irifi, 2023; Kirchhoff *et al.*, 2022; Le Polain De Waroux & Lambin, 2012). Le couvert arboré de la zone constitue l'ossature autour de laquelle s'articule l'économie rurale, notamment dans les paysages d'arganeraies en association avec la céréaliculture et l'élevage des caprins (Bourbouze & El Aîch, 2005; Faouzi, 2013). Il révèle le déséquilibre qui affecte l'ensemble du système et ses composantes (Le Polain De Waroux & Lambin, 2012). À l'issue de cette analyse, nous avons pu constater que:

1. les surfaces forestières diminuent progressivement d'une période à l'autre;
2. la densité du couvert forestier est faible à moyenne;
3. cette évolution régressive reste générale, mais présente des disparités et des dynamiques variables selon les périodes. Le recul en termes de densité semble peu alarmant dans l'ensemble, en raison de nombreuses mutations sociales et écologiques récentes dans cette zone de montagne (exode rural, déclin des activités humaines, etc.) (Irifi, 2023; Irifi *et al.*, 2017). Il révèle toutefois un déséquilibre concret du fonctionnement de ces paysages forestiers qui doit être pris en considération pour toute stratégie de protection et de restauration.

Pendant des périodes récentes, le surpâturage des troupeaux de nomades du sud marocain, combiné à la sécheresse, a causé d'importants dommages à la biomasse arborée et arbustive, limitant ainsi la régénération naturelle (Alifriqui, 2014). Cette dernière est également anéantie par le faible taux de fructification et le ramassage systématique des noix, essentiellement destiné à l'arganier (Irifi & Tribak, 2024a). Dans la forêt de Mesguina (versants sud du Haut Atlas Atlantique), les nomades, bien qu'ayant un droit de passage, s'installent plus longtemps, simulant des transits. Malgré la mise en défens (Agdal) des fruits des arganiers par les villageois entre juin et septembre, les troupeaux nomades ne respectent pas ces règles communautaires de pâturage (Alifriqui, 2014). Au sein de la basse vallée de l'oued Tamri, la gestion et la conservation des peuplements d'arganiers et de thuyas sont compromises par le surpâturage de la strate herbacée (dominée par des espèces annuelles à faible productivité et envahissantes) et par les coupes et les ébranchages pratiqués par les paysans pour obtenir du fourrage (Faouzi, 2013; Sabir *et al.*, 2017). Cette unité subit un surpâturage près des douars, lié à l'ébranchage

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/IESTSCIENTIA.2025.i01.08

du thuya et à la surexploitation du feuillage arbustif. À l'écart des douars, les peuplements denses de thuya, peu pâturés, présentent un risque accru d'incendie en raison de l'inflammabilité des espèces (IRIFI *et al.*, 2025; Irifi & Tribak, 2024a; Quézel & Barbéro, 1990; Sabir *et al.*, 2017). Il s'agit en effet de mutations socio-spatiales générales liées à des changements survenus à la fois dans la biophysique et dans l'anthropique (Aouragh, 2012; El Wahidi, 2013; Le Polain De Waroux & Lambin, 2012; Van Der Ploeg *et al.*, 2018).

Cette unité paysagère forestière illustre la fragilité et la complexité des forêts du Haut Atlas Atlantique. Soumise à de fortes pressions foncières et agrosylvopastorales, exacerbées depuis le protectorat français, elle a connu des conflits fonciers et des changements de statut des terres, opposant les ayants droit et l'administration des Eaux et Forêts (Auclair, 1999). Afin de dédensifier les peuplements forestiers denses de l'unité paysagère, les personnes enquêtées confirment le recours, à cette époque, à la détérioration des arbres par incinération ou par des coupes anarchiques. Certains versants des plateaux d'Aziar présentent des paysages forestiers fortement déséquilibrés, témoignant de la convergence entre les coupes (illicites et celles organisées par l'administration des Eaux et Forêts). Dans un contexte climatique semi-aride marqué par la sécheresse et une forte pression pastorale, les formations végétales sont exposées à un risque d'érosion hydrique active (Irifi, 2023; Kirchhoff *et al.*, 2022; Le Polain De Waroux & Lambin, 2012) (photo 1). Par conséquent, le couvert végétal continue de régresser (Irifi & Tribak, 2024a).

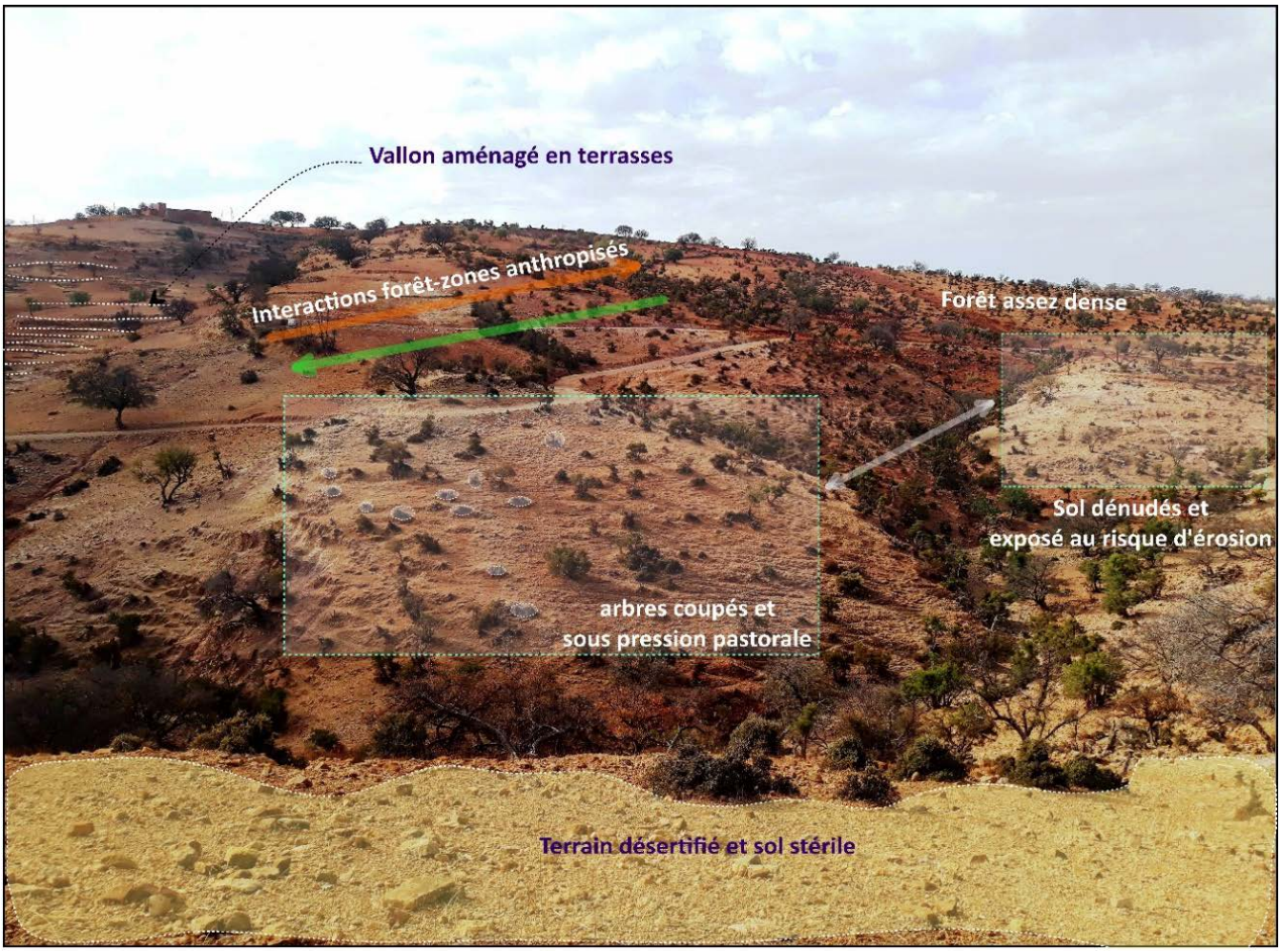


Photo 1. Dégradation des structures paysagères à Arganier et Thuya près des douars. Source: travail personnel basé sur le cliché de Irifi, H. le 06/02/2022.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/IESTSCIENTIA.2025.i01.08

Divers facteurs interactifs contribuent à expliquer ces évolutions. Dans le cas de la régression de la dynamique paysagère, c'est principalement l'impact humain qui en est responsable, entraînant une ouverture du paysage forestier. Parallèlement, la fréquence des périodes de sécheresse a accentué la diminution de la densité du paysage forestier. Selon le (diagramme 5), on constate une alternance de périodes humides et sèches entre 1967 et 2022. Les périodes humides sont souvent de courte durée, ne dépassant pas cinq à six périodes, comme en 1967/1970, 1987/1990, 1995/98, 2009/2011 et 2014/2015 avec un maximum de précipitations atteignant environ 650 mm en 1995/96 et 550 mm en 2008/2010. En revanche, les périodes sèches sont beaucoup plus fréquentes, totalisant cinq périodes longues qui se succèdent de manière assez irrégulière et s'étendent sur une moyenne de 4 à 10 ans : 1970/1980, 1982/1984, 1990/1994, 1998/2002, 2005/2007, de 2012 à 2013 et de 2016 à 2022. Il est à noter que les périodes d'extrême sécheresse, où les précipitations sont inférieures à 200 mm, se situent dans la période correspondant à la décennie des années 70/80, 1999/2007 et la dernière période 2015/2022, après la courte période humide de 2014/2015 (El Wahidi, 2013; Irifi *et al.*, 2017; Irifi & Tribak, 2024a).

Dans le cadre précis de cette période, allant de 1967 à 1980, la moyenne des précipitations s'élevait à 250 mm. Elle a débuté par des années humides (1967 à 1970), suivies d'une longue période sèche (1971 à 1980). La courbe exponentielle des totaux de pluies indique une tendance à la régression des précipitations jusqu'au milieu des années 1980, après quoi elles tendent à s'élever au-dessus de la moyenne (260 mm) depuis 1986. Les données indiquent ainsi des variations des précipitations, avec une augmentation de 113,5 mm en 1982 à 157 mm en 1983, puis à 291 mm en 1984, 134 mm en 1986, et un pic de 472 mm en 1987. Le coefficient de régression linéaire montre des valeurs positives de 0,2 et 0,3 pour les deux périodes, ce qui indique qu'il existe une forte corrélation entre la baisse ou la hausse des moyennes annuelles et la tendance des précipitations dans chaque période. Entre la décennie 1990 et le début des années 2000, nous observons une faible tendance à l'élévation de la courbe des précipitations, souvent inférieure à la moyenne (285 mm), avec une pente linéaire de R2= 0,0181. Il s'agit donc d'une décennie sèche, marquée par une période humide relativement longue de trois années consécutives (1995-1996-1997), avec des précipitations oscillant entre 643 mm en 1995 et 446,4 mm en 1997 (diagramme 6). Les deux dernières décennies présentent des moyennes de précipitations comprises entre 282 mm de 2001 à 2010 et seulement 177 mm de 2011 à 2022. Les cumuls annuels dépassent la moyenne dans trois cas (2003, 2009 et 2010), avec un pic de précipitations supérieur à 500 mm. La dernière décennie est marquée par un retour de fortes précipitations dans deux cas seulement : plus de 350 mm en 2014 et 284 mm en 2016 (diagramme 6).Ces irrégularités des précipitations et la variation de la tendance de la courbe exponentielle, tantôt vers la baisse, tantôt vers la progression, constituent la caractéristique principale des influences du climat méditerranéen (Irifi & Tribak, 2024a). La diminution des précipitations a des conséquences néfastes sur la régénération naturelle de l'ensemble du paysage forestier régional, en particulier pour les jeunes semis et les plantules, plus vulnérables au stress hydrique (Irifi & Tribak, 2024a; Le Polain De Waroux & Lambin, 2012; Martensen *et al.*, 2017; Wahidi *et al.*, 2015).

L'analyse du diagramme de la croissance de la population entre 1960 et 1971 met en évidence une tendance nette à la hausse pour l'ensemble de la région de Tamri, avec un taux d'accroissement d'environ 35 %. De 1971 à 1982, la charge démographique reste sur cette même dynamique croissante, passant de 19 146 habitants en 1971 à 23 046 habitants en 1982. En ce qui concerne la période allant de 1982 à 1994, on observe toutefois une chute significative du taux d'accroissement, d'environ -30 % par rapport aux douze années précédentes. Les années 70-80 apparaissent comme une période charnière marquée par l'exode rural et agricole. La sécheresse des années 80 a accentué ce phénomène et la déprise agricole dans de nombreux douars (Irifi *et al.*, 2017; Tribak, 2001) (diagramme 7). Le recensement général de 2004 a détecté une faible augmentation de 1 398 habitants, due essentiellement à l'augmentation du nombre de ménages. La population totale est ainsi passée à 17 433 habitants, avec un taux d'accroissement de l'ordre de 9 %.

Enfin, le recensement général de 2014 révèle une croissance démographique de la population totale, qui atteint 18 577 habitants, avec un taux d'accroissement de 7 % par rapport à 2004 (où la population était de 17 442 habitants). En comparant les chiffres de population de la commune de Tamri issus des différents recensements, on constate une baisse importante avant les années 1990, suivie d'une reprise de la croissance à partir de 2004. Les données disponibles montrent plutôt une stabilisation, voire une légère augmentation, entre 2004 et 2014. La poussée démographique post-indépendance a déséquilibré les ressources et les

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/IESTSCIENTIA.2025.i01.08

besoins, en intensifiant l'emprise humaine sur les versants et en accélérant les mouvements de migration rurale. La sécheresse des années 1970-1980, en accentuant la pénurie d'eau, constitue un facteur important de déstabilisation dans cette zone semi-aride (Tribak, 2001).

Dans la commune de Tamri, les processus de désenclavement, le développement du tourisme et l'essor du centre urbain constituent les principaux facteurs permettant de fixer la population sur son territoire et de minimiser les vagues de départ vers les centres urbains ou à l'étranger. La commune offre des alternatives économiques, améliore les infrastructures et les services (Irifi, 2023).

En examinant le niveau de résilience de ces espèces ligneuses, en se basant sur les données de terrain, les résultats obtenus par le traitement numérique des images satellitaires Landsat, ainsi que sur les observations faites sur le terrain concernant l'état de la dégradation des paysages forestiers, nous déduisons que: durant cette période, la zone d'étude a été marquée par des sécheresses accrues en fréquence et en intensité (Irifi & Tribak, 2024a). Malgré leur adaptation aux milieux arides et semi-arides, l'Arganier et le Thuya voient leur résilience compromise par ces épisodes prolongés ou extrêmes, impactant leur croissance, leur reproduction et leur régénération naturelle (Afi *et al.*, 2024; Chakhchar *et al.*, 2018).

Un tel stress hydrique menace la pérennité de ces écosystèmes et fragilise considérablement les jeunes plants (Chakhchar *et al.*, 2018). Soumise à une forte pression anthropique, notamment en raison de l'importance de l'élevage dans la basse vallée de l'Oued Tamri, la régénération de l'Arganier est fortement compromise par le pâturage intensif, en particulier celui des caprins, et ce malgré un faible niveau actuel de coupes de bois (Genin *et al.*, 2017; Irifi & Tribak, 2024a). L'association de sécheresses intensifiées par le changement climatique et de pressions humaines continues confère aux peuplements d'Arganier et de Thuya une résilience limitée (Gazol *et al.*, 2018; Soufiani *et al.*, 2023). Cet état se traduit notamment par une résistance et une capacité de récupération amoindries, une forte diminution de la densité des forêts entraînant une ouverture du paysage, ainsi qu'une régénération difficile, particulièrement marquée chez l'Arganier (Genin *et al.*, 2017; Irifi & Tribak, 2024a).

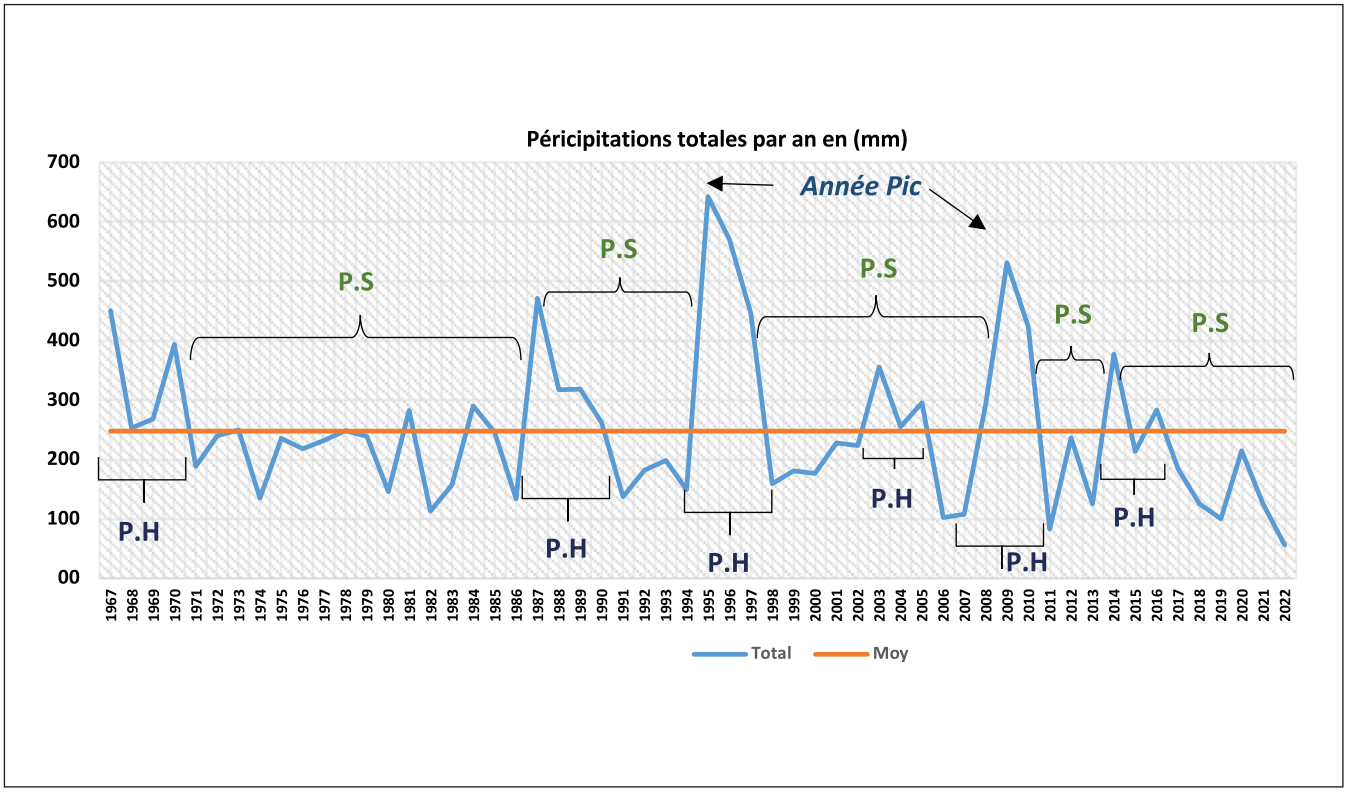


Diagramme 5. Pluviométrie annuelle à la station de Tamri par période de 1967-2022. Source: notre élaboration à partir des données de l'Agence du Bassin Hydraulique Souss-Massa. **(P.S** : périodes sèches. **P.H** : périodes humides).

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/IESTSCIENTIA.2025.i01.08

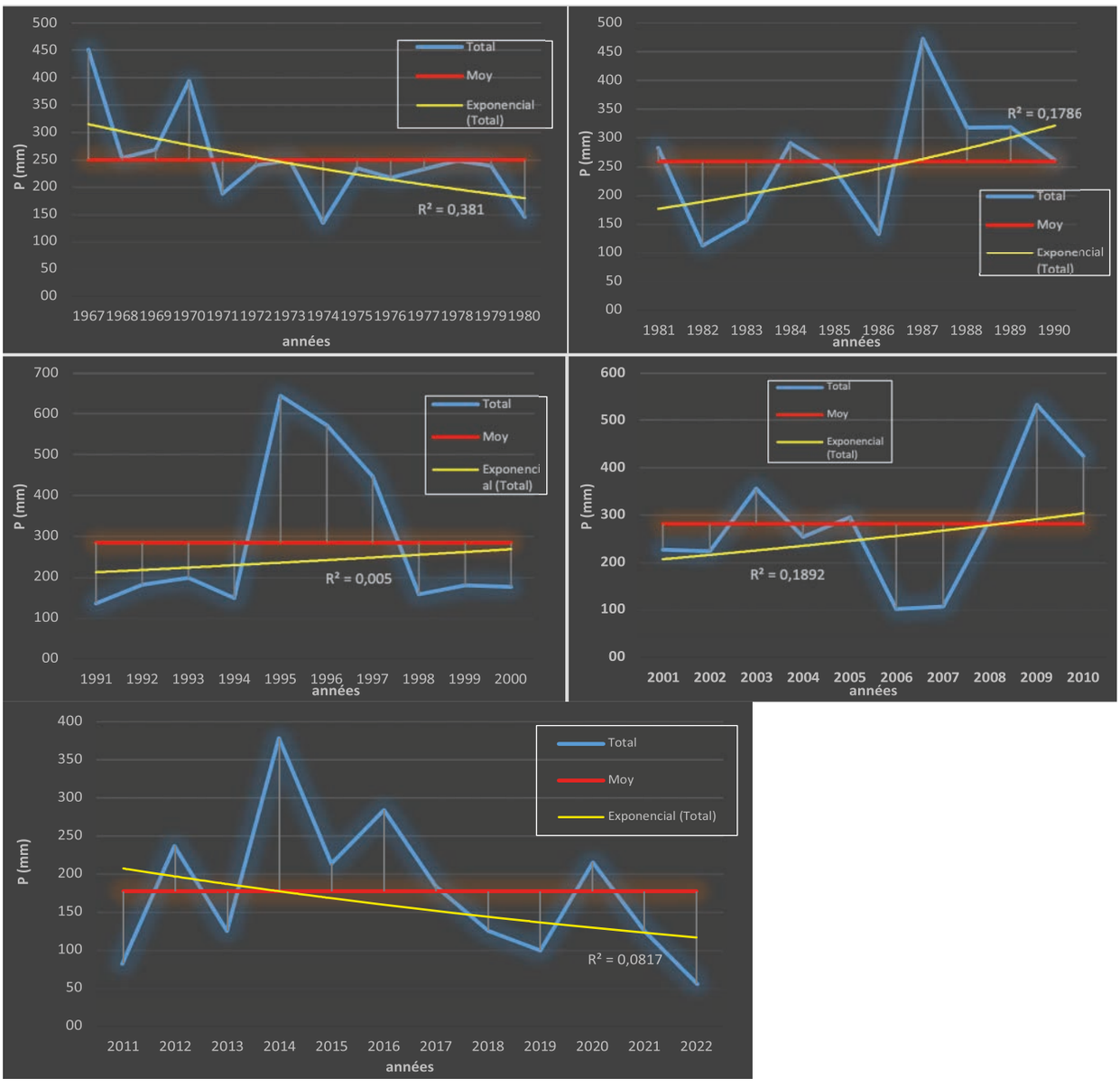


Diagramme 6. Pluviométrie annuelle à la station de Tamri par période de 1967-2022. Source: notre élaboration à partir des données de l'Agence du Bassin Hydraulique Souss-Massa.

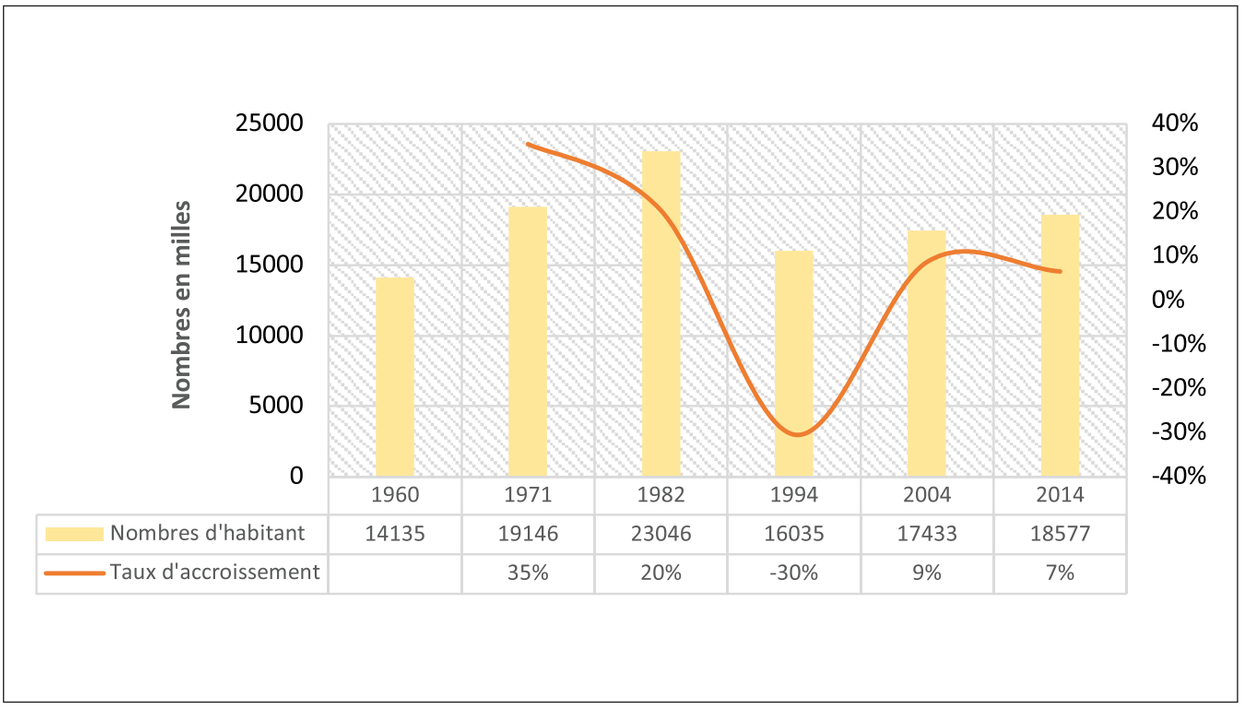


Diagramme 7 . Nombres des habitants et taux d'accroissements par recensement général des habitant et de l'habitat de Tamri. Source: notre élaboration à partir des données du Haut-Commissariat du Plan HCP.

© Editorial Universidad de Sevilla 2024 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/IESTSCIENTIA.2025.i01.08

6. CONCLUSION

Les unités paysagères forestières de la basse vallée de l'oued Tamri constituent un exemple concret de paysages fragiles à structures forestières complexes et diversifiés, typiques du Haut Atlas atlantique. Elles sont soumises à des pressions foncières et agrosylvopastorales exacerbées depuis la période du protectorat français. La période de domanialisation durant cette période et après l'indépendance a généré des conflits entre les ayants droit et l'administration des eaux et forêts concernant les terrains forestiers et agricoles, entraînant un bouleversement de leur statut foncier. L'ouverture des paysages denses d'arganier et de thuya peut être attribuée à la détérioration des arbres par l'incinération ou des coupes anarchiques, ainsi qu'à la récurrence de longues périodes de sécheresse. Les versants des plateaux de la zone d'étude sont défigurés par des paysages forestiers fortement déséquilibrés sous une forte pression pastorale.

La structure actuelle du paysage témoigne d'un déclin de l'activité agricole sur les versants dédiés au pâturage et aux terrasses agricoles. Cela représente toutefois une possibilité de reconquête pour l'espace forestier dans la zone d'étude. L'abandon actuel des terrasses agricoles par les agriculteurs et la réduction des cas de surpâturage ont probablement des effets positifs sur la reconquête végétale. Cette situation plus ou moins propice permettrait ainsi à l'arganier et au thuya de se régénérer naturellement. La combinaison de fortes pentes, d'une faible couverture végétale, de terrains friables et d'un climat rigoureux favorise une dynamique érosive accélérée et généralisée à grande échelle dans cette zone de montagne. Cette dynamique érosive entraîne une déstabilisation des versants et des masses rocheuses, menaçant les infrastructures (routes, ponts, ouvrages hydrauliques). Elle provoque également d'autres phénomènes paysagers : chutes de blocs, éboulements, envasement du barrage Moulay Abdellah, mouvements de masse, etc.

Remerciements

Au terme de ce travail, nous voulons à remercier vivement l'éditeur de la revue Revista de Estudios Andaluces (REA) pour ses efforts indéfectibles pour la publication de ce nouveau numéro. Je tiens à remercier très chaleureusement Sîd El Mekki Mustapha pour son accompagnement et son aide sur le terrain. Nous remercions également tous les examinateurs pour leur évaluation de ce travail.

Responsabilités et conflits d'intérêts

Les auteurs s'engagent à divulguer tout conflit d'intérêt existant ou potentiel en relation avec la publication de cet article. Par ailleurs, les contributions des deux auteurs concernés sont présentées comme suit :

1. Irifi Hicham a assumé les tâches de collecte des données par le travail de terrain et l'exploitation des documents (cartes, documents d'archives, images satellitaires, données numériques, bases statistiques, etc.) Il a également assuré l'élaboration des bases de données et des différentes figures ainsi que l'interprétation et la vérification des résultats sur le terrain.
2. Tribak Abdellatif a assuré la direction et la supervision des travaux, l'analyse et l'interprétation des données, la correction du manuscrit et la validation des résultats.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/IESTSCIENTIA.2025.i01.08

RÉFÉRENCES

Aafi, A., Taleb, M. S., & Fechtal, M. (2002). *Espèces remarquables de la flore du Maroc*. Centre National de la Recherche Forestière.

Adnane, L., & Belkacem, K. (2013). The Site of Biological and Ecological Interest (SBEI) of Ain Asmama : 20 Years Later, What Are Changes? *Journal of Geographic Information System*, *05*(01), 40-53. https://doi.org/10.4236/jgis.2013.51005

Afi, C., Telmoudi, M., Labbassi, S., Chabbi, N., Hallam, J., Msanda, F., & Ait Aabd, N. (2024). Assessing the Impact of Aridity on Argan Trees in Morocco : Implications for Conservation in a Changing Climate. *Resources*, *13*(10), 135. https://doi.org/10.3390/resources13100135

Akoguhi, P. N., Dibi, H. N., Godo, M. H., Adja, G. M., & Kouamé, F. K. (2022). Évaluation des méthodes de classifications dirigées (spectrale et orientée objet) sur les images satellitaires à THRS : Cas de la cartographie du tissu urbain de la commune de Cocody et d'Attécoubé (Abidjan, Côte d'Ivoire). *VertigO*, 22-3. https://doi.org/10.4000/vertigo.36548

Alifriqui, M. (2014). *Diagnostic de l'état des lieux environnemental et social et des potentialités agronomiques durables de 13 douars de la commune de Drarga.* (Synthèse des diagnostics participatifs villageois (PDD), Projet Argan GoodPlanet. 1; Mission de diagnostic territorial participatif de 13 douars de la commune de Drarga-Forêt de Mesguina, p. 212).

Amzil, A., & Abou, H. (2014). Réserve de l'Arganeraie: Atouts d'un tourisme éco-culturel Revisiter la tradition paysanne à l'ère de la mise en tourisme des espaces ruraux des Ida-ou-Tanane. *Patrimoine et Tourisme Culturel Au Maroc*, *Série Actes de Colloques 43*, 163-170. https://www.academia.edu/19809021/R%C3%A9serve_de_l_Arganeraie_Atouts_d_un_tourisme_%C3%A9co_culturel_Revisiter_la_tradition_paysanne_%C3%A0_l_%C3%A8re_de_la_mise_en_tourisme_des_espaces_ruraux_des_Ida_ou_Tanane

Aouragh, M. (2012). *Dynamique des paysages de l'arganeraie du Sud-Ouest marocain: Apport des données de télédétection et perspectives de les intégrer dans un SIG* [These de doctorat, Paris 4]. https://theses.fr/2012PA040135

Assédé, E.S.P., Azihou, F. A., Adomou, A.C., Oumorou, M., & Sinsin, B. (2015). Effet du relief sur la régénération des espèces ligneuses en zone soudanienne du Bénin. *Bois & Forets des Tropiques*, *326*(326), 15. https://doi.org/10.19182/bft2015.326.a31280

Auclair, L. (1999). Depart et d'autre de la Méditerranée, la forêt. La forêt-monde en question : recomposition du rapport des sociétés à la forêt dans les pays du Sud. *Autrepart, 9*(9), 53-62.

Baraloto, C. (2003). Régénération forestière naturelle: De la graine à la jeune tige. *Revue forestière française*, *55*(sp), 179-187. https://doi.org/10.4267/2042/5770

Benabid, A.A. (2000). *Flore et écosystèmes du Maroc: Évaluation et préservation de la biodiversité* (Ibis Press Librairie et éd. Kalila Wa Dimna). Ibis Press. Paris.

Bertrand, G. (1978). Le paysage entre la Nature et la Société. *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, *49*(2), 239-258. https://doi.org/10.3406/rgpso.1978.3552

Bertrand, G., & Tricart, J. (1968). Paysage et géographie physique globale. Esquisse méthodologique. *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, *39*(3), 249-272. https://doi.org/10.3406/rgpso.1968.4553

Bormann, F.H. (1953). The Statistical Efficiency of Sample Plot Size and Shape in Forest Ecology. *Ecology*, *34*(3), 474-487. https://doi.org/10.2307/1929720

Bouchibane, M., Zemouri, M., & Bougaham, A.F. (2024). Étude floristique et biogéographique de la forêt de Tababort (Nord-Est algérien). *Flora Mediterranea*, *34*, 263-276. https://doi.org/10.7320/FlMedit34.263

Bourbouze, A., & El Aîch, A. (2005). L'élevage caprin dans l'arganeraie: L'utilisation conflictuelle d'un espace. *Cahiers Agricultures*, *14*(5), 447-453.

Bourget, É., & Dû-Blayo, L.L. (2010). Définition d'unités paysagères par télédétection en Bretagne: Méthodes et critiques. *Norois*, *216*, 69-83. https://doi.org/10.4000/norois.3399

Brossard, T., & Wieber, J.C. (1984). Le paysage: trois définitions, un mode d'analyse et de cartographie. *L'Espace Géographique*, *13*(1), 5-12. https://doi.org/10.3406/spgeo.1984.3887

Burel, F., & Baudry, J. (1999). *Écologie du paysage : Concepts, méthodes et applications* (Edition TEC et DOC).

Carvalho, J., Magalhães, M., & Pena, S. (2020). Spatial and Temporal Variability Regarding Forest : From Tree to the Landscape. In *Spatial Variability in Environmental Science—Patterns, Processes, and Analyses [Working Title]*. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.91701

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/IESTSCIENTIA.2025.i01.08

Chakhchar, A., Haworth, M., El Modafar, C., Lauteri, M., Mattioni, C., Wahbi, S., & Centritto, M. (2017). An Assessment of Genetic Diversity and Drought Tolerance in Argan Tree (Argania spinosa) Populations: Potential for the Development of Improved Drought Tolerance. *Frontiers in Plant Science*, *8*. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00276

Chakhchar, A., Lamaoui, M., Aissam, S., Ferradous, A., Wahbi, S., El Mousadik, A., Ibnsouda-Koraichi, S., Filali-Maltouf, A., & El Modafar, C. (2018). Physiological and Biochemical Mechanisms of Drought Stress Tolerance in the Argan Tree. In *Plant Metabolites and Regulation Under Environmental Stress* (pp. 311-322). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812689-9.00015-7

Dallahi, Y., Chahhou, D., Aafi, A., & Fennane, M. (2017). The Vascular Flora of Tetraclinis Ecosystem in the Moroccan Central Plateau. *European Scientific Journal, ESJ*, *13*(33), 104. https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n33p104

Dérioz, P. (2009). L'approche paysagère : Un outil polyvalent au service de l'approche opérationnelle et interdisciplinaire des problématiques environnementales. *HAL niversit´e de N^ımes- ARPEnv - Eco-Psy.*, 23.

Drapier, J. (1985). Les difficultés de régénération naturelle du Sapin (Abies alba Mill.) dans les Vosges. Etude écologique. *Revue Forestière Française*, *1*, 45-55. https://doi.org/10.4267/2042/21785

El Maâna, B. (1994). *Contribution à l'étude et à la cartographie des types de peuplements et des groupements végétaux de la forêt d'Ain Tamaloukt dans un but d'Aménagement (Haut Atlas Occidental-Maroc).* [Thèse de doctorat], Ecole nationale forestière d'Ingénieurs de salé.

El Ouahidi, A. (2008). *Etude morphosédimentaire des héritages pléistocènes et holocènes de la basse vallée de l'oued Tamri (Maroc)* [Thèse de doctorat], Nancy 2.

El Wahidi, F. (2013). *Dynamiques des dégradations de l'arganeraie et modélisation spatiale de l'évolution forestière* [These de doctorat, UCL - Université Catholique de Louvain]. https://dial.uclouvain.be/pr/boreal/object/boreal:126158

Faouzi, H. (2011). L'Agdal dans la dynamique des systèmes agraires des arganeraies des Haha (Haut-Atlas Occidental, Maroc). *Études caribéennes*, *20*. https://doi.org/10.4000/etudescaribeennes.5569

Faouzi, H. (2013a). L'Agdal dans la dynamique des systèmes agraires des arganeraies des Haha (Haut-Atlas Occidental, Maroc). *Études caribéennes*, *20*. https://doi.org/10.4000/etudescaribeennes.5569

Fennane, M. (1982). *Analyse phytogéographique et phytoécologique des Tétraclinaies marocaines* [Thèse de doctorat], Université de droit, d'économie et des sciences d'Aix-Marseille.

Fennane, M. (1999). Observations sur la flore vasculaire endémique, rare ou menacée du Maroc. *Flora Mediterranea*, *9*, 113-124.

Fennane, M., & Rejdali, M. (2016). Aromatic and medicinal plants of Morocco : Richness, diversity and threats. *Flora Mediterranea*, *9*(38), 27-42.

Gazol, A., Camarero, J. J., Vicente-Serrano, S. M., Sánchez-Salguero, R., Gutiérrez, E., De Luis, M., Sangüesa-Barreda, G., Novak, K., Rozas, V., Tíscar, P.A., Linares, J. C., Martín-Hernández, N., Martínez Del Castillo, E., Ribas, M., García-González, I., Silla, F., Camisón, A., Génova, M., Olano, J.M., … Galván, J.D. (2018). Forest resilience to drought varies across biomes. *Global Change Biology*, *24*(5), 2143-2158. https://doi.org/10.1111/gcb.14082

Genin, M., Alifriqui, M., Fakhech, A., Hafidi, M., Ouahmane, L., & Genin, D. (2017). Back to forests in pre-Saharan Morocco? When prickly pear cultivation and traditional agropastoralism reduction promote argan tree regeneration. *Silva Fennica*, *51*(1B). https://doi.org/10.14214/sf.1618

Ikechukwu, M. N., Ebinne, E., Idorenyin, U., & Raphael, N. I. (2017). Accuracy Assessment and Comparative Analysis of IDW, Spline and Kriging in Spatial Interpolation of Landform (Topography) : An Experimental Study. *Journal of Geographic Information System*, *09*(03), 354-371. https://doi.org/10.4236/jgis.2017.93022

Irifi, H. (2023). *Dynamique des paysages de montagne : Paramètres, Impacts et Valorisation. Cas de la basse vallée de l'oued Tamri (Atlas Atlantique-Maroc).* [Thèse de doctorat], Sidi Mohamed Ben Abdellah.

Irifi, H., Abdellatif, T., & Ahmed, A. (2020). Paysages naturels dans la basse vallée de l'oued Tamri (Maroc) : Proposition de l'approche paysagère pour une valorisation touristique. *Geography Notebooks*, *3*(1), 1. https://doi.org/10.7358/gn-2020-001-irif

Irifi, H., Achour, A., & Tribak, A. (2017). Dynamique du paysage forestier de l'Arganeraie Caractéristiques, évolution et valorisation: Cas de l'Arganeraie de la forêt d'Ain Tamaloukt, Commune territoriale de Tamri, Maroc. *Arganier: Patrimoine universel porteur de richesse à conserver et à valoriser* (pp. 63-69).

Irifi, H., & Tribak, A. (2021). Diversité Floristique et Paysagère du Cours d'eau de la Basse Vallée de l'oued Tamri (Haut Atlas Atlantique, Maroc). *Geomaghreb*, *17*, Article 17. https://revues.imist.ma/index.php/Geomaghreb/article/view/36972

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/IESTSCIENTIA.2025.i01.08

Irifi, H., & Tribak, A. (2024a). Argania spinosa and Tetraclinis articulata seedling regeneration factors in the lower valley of Wadi Tamri (Morocco). *Revista de Estudios Andaluces*, (48), 133-150. https://doi.org/10.12795/rea.2024.i48.07

Irifi, H., & Tribak, A. (2024b). Dynamique des Paysages Géomorphologiques des Versants Marneux et Sous Couvert Forestier dans La Basse Vallée de l'oued Tamri (Haut Atlas Atlantique -Maroc). *Acte de congrès international sur les risques-Oujda* (pp. 160-166).

IRIFI, H., TRIBAK, A., & BENADDI, A. (2025). Post-fire forest landscape dynamics in Mediterranean Environment: The case of the Mesguina forest. Western High Atlas Mountains (Morocco). *Territoires, Environnement et Développement (TED)*, *4*(1), 83-99. https://doi.org/10.34874/IMIST.PRSM/TED-V4I1.52788

Jensen, J. R. (2005). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective* (3e, illustrée éd.). Prentice Hall.

Karami, A., Karimi, S., & Shahi, E. (2017). Assessment Capability Forest Regeneration in Different Geographical Aspects Approach Landscape Ecology. *Open Journal of Ecology*, *07*(09), 535-553. https://doi.org/10.4236/oje.2017.79036

Kirchhoff, M., Engelmann, L., Zimmermann, L. L., Seeger, M., Marzolff, I., Aït Hssaine, A., & Ries, J. B. (2019). Geomorphodynamics in Argan Woodlands, South Morocco. *Water*, *11*(10), 2193. https://doi.org/10.3390/w11102193

Kirchhoff, M., Marzolff, I., Stephan, R., Seeger, M., Aït Hssaine, A., & Ries, J. B. (2022). Monitoring dryland trees with remote sensing. Part B: Combining tree cover and plant architecture data to assess degradation and recovery of Argania spinosa woodlands of South Morocco. *Frontiers in Environmental Science*, *10*, 896703. https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.896703

Le Polain De Waroux, Y., & Lambin, E. F. (2012). Monitoring degradation in arid and semi-arid forests and woodlands : The case of the argan woodlands (Morocco). *Applied Geography*, *32*(2), 777-786. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.08.005

Lefhaili, A., & Amhajar (2020). *Forest resources assessment: Morocco country report* (p. 80). FAO.

Legouy, F. (2012). Le concept d'unité paysagère entre paysagistes et géographes : La question de l'échelle. *Actes des congrès nationaux des sociétés historiques et scientifiques, 135-4*, 69-86. https://www.persee.fr/doc/acths_1764-7355_2012_act_135_4_2286

Lucas, R., Rowlands, A., Brown, A., Keyworth, S., & Bunting, P. (2007). Rule-based classification of multi-temporal satellite imagery for habitat and agricultural land cover mapping. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *62*(3), 165-185. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2007.03.003

Martensen, A. C., Saura, S., & Fortin, M. (2017). Spatio-temporal connectivity : Assessing the amount of reachable habitat in dynamic landscapes. *Methods in Ecology and Evolution*, *8*(10), 1253-1264. https://doi.org/10.1111/2041-210X.12799

Marzolff, I., Kirchhoff, M., Stephan, R., Seeger, M., Aït Hssaïne, A., & Ries, J.B. (2021, mars 3). *Degradation or recovery of argan woodlands in South Morocco? Tree count from satellite imagery between 1967-2019 may underestimate pressures on dryland forests status*. https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-2612

Meddour, R. (1992). Régénération naturelle de Cedrus atlantica Man. Et de divers pins après incendie dans l'arboretum de Meurdja (Algérie). *Forêt Méditerranéenne*, *XIII*(4), 275-287.

Meng, Y., Liu, X., Wu, L., Liu, M., Zhang, B., & Zhao, S. (2019). Spatio-temporal variation indicators for landscape structure dynamics monitoring using dense normalized difference vegetation index time series. *Ecological Indicators*, *107*, 105607. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105607

Mitas, L., & Mitasova, H. (2005). Spatial interpolation. In *Geographical Information Systems : Principles, Techniques, Management and Applications: Vol. 1* (2nd Edition, pp. 481-492). ABRIDGED. https://www.geos.ed.ac.uk/~gisteac/gis_book_abridged/

Mohammed, Y. (1994). *Méthodes de mesure quantitatives de la végétation. Cours d'aménagement des ressources naturelles: initiation à l'étude quantitative et qualitative de la végétation*. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II.

Msanda, F., Mayad, E.H., & Furze, J.N. (2021). Floristic biodiversity, biogeographical significance, and importance of Morocco's Arganeraie Biosphere Reserve. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*(45), 64156-64165. https://doi.org/10.1007/s11356-020-11936-0

Ouhaddou, H., Boubaker, H., Msanda, F., & El Mousadik, A. (2015). An ethnobotanical study of medicinal plants of the Agadir Ida Ou Tanane province (southwest Morocco). *Journal of Applied Biosciences*, *84*(1), 7707. https://doi.org/10.4314/jab.v84i1.5

Peltier, J.P. (1982). *La végétation du bassin versant de l'oued Souss, Maroc.* [These de doctorat], Université de Grenoble.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/IESTSCIENTIA.2025.i01.08

Poullaouec-Gonidec, P., Domon, G., & Paquette, S. (Éds.). (2005). *Paysages en perspective*. Presses de l'Université de Montréal. https://doi.org/10.4000/books.pum.10567

Quézel, P., & Barbéro, M. (1990). Les forêts méditerranéennes, problèmes posés par leur signification historique, écologique et leur conservation. *Acta Botanica Malacitana*, *15*, 145-178.

Roche, A. (2007). *Les unités et structures paysagères dans les Atlas de paysages*. Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement. https://side.developpement-durable.gouv.fr/Default/doc/SYRACUSE/130132/les-unites-et-structures-paysageres-dans-les-atlas-de-paysages?_lg=fr-FR

Ruas, M.P., Ros, J., Terral, J.F., Ivorra, S., Andrianarinosy, H., Ettahiri, A. S., Fili, A., & Van Staëvel, J.P. (2016). History and archaeology of the emblematic argan tree in the medieval Anti-Atlas Mountains (Morocco). *Quaternary International*, *404*, 114-136. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.09.030

Sabir, M., El-Khoury, D.L., & Salman, M. (2020). *Field guide for hill land reclamation and water management* (FAO). FAO. https://doi.org/10.4060/ca8381en

Sabir, M., Qarro, M., Chattou, Z., & Rouchdi, M. (2017). *Evaluation de la dégradation et de bonnes pratiques de gestion durable des terres au sein et à travers leurs systèmes d'utilisation.* (Rapport de synthèse, Aide à la décision pour l'intégration et la transposition à grande échelle de la gestion durable des terres I et II; Gestion Durable de Terre).

Sivakumar, M. V. K. (2007). Interactions between climate and desertification. *Agricultural and Forest Meteorology*, *142*(2-4), 143-155. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.03.025

Soufiani, M., Chakhchar, A., Aissam, S., Ferradous, A., Douira, A., Meddich, A., & El Modafar, C. (2023). Effect of soil drought stress on leaf water status and photosynthetic apparatus in argan seedlings (*Argania spinosa*). *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology*, *157*(5), 1029-1037. https://doi.org/10.1080/11263504.2023.2238714

Taleb, M. S., & Fennane, M. (2019a). Forests and Preforests. In M.S. Taleb & M. Fennane, *Vascular Plant Communities of Morocco* (pp. 1-40). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93704-5_1

Taleb, M. S., & Fennane, M. (2019b). *Vascular Plant Communities of Morocco: Phytosociology, Ecology and Geography*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93704-5

Tan, B., & Bruckert, S. (1992). Effet des facteurs physiques de l'environnement sur les premiers stades de la régénération naturelle du sapin pectiné (Abies alba Mill) dans certaines stations du Jura. *Annales des sciences forestières*, *49*(4), 337-350. https://doi.org/10.1051/forest:19920403

Tarolli, P., Preti, F., & Romano, N. (2014). Terraced landscapes : From an old best practice to a potential hazard for soil degradation due to land abandonment. *Anthropocene*, *6*, 10-25. https://doi.org/10.1016/j.ancene.2014.03.002

Tribak, A. (1998). Fonctionnement actuel d'une ravine d'érosion dans une zone de marnes miocènes (région de Tarmast, Prérif oriental, Maroc). Modèle d'évolution et distribution saisonnière des processus. *Revue de géographie alpine*, *86*(3), 37-48. https://doi.org/10.3406/rga.1998.2890

Tribak, A. (2001). Les mutations des compagnes rifaines et leurs incidences sur les milieux : Cas de quelques communes de prérif oriental (Maroc). *AL MISBAHIA*, *Série Sciences Humaines,* (5), 53-74.

Tribak, A., Akdim, B., Laâouane, M., Julia, R., Amyay, M., Taous, A., & Obda, K. (2013). Les Terrasses Agricoles Traditionnelles dans les Motagnes Marocaines: Valorisation d'un Patrimoine en crise. *Publication de La Faculté des Lettres et des Sciences Humaines Saîs-Fès*, *26*, 29-42.

Tribak, A., El Garouani, A., & Abahrour, M. (2009). Évaluation quantitative de l'érosion hydrique sur les terrains marneux du PréRif oriental (Maroc): Cas du sous-bassin de l'oued Tlata. *Sécheresse*, *20*(4), 333-337. https://doi.org/10.1684/sec.2009.0205

Valdés, B., Rejdali, A., Achhal El Kadmiri, A., Jury, J.L., & Monteserrat, J.M. (2002). *Catalogue des plantes vasculaires du Nord du Maroc, incluant des clés d'identification: Vol. Volume I* (CSIC). Editorial CSIC - CSIC Press.

Van Der Ploeg, M. J., Baartman, J. E. M., & Robinson, D. A. (2018). Biophysical landscape interactions : Bridging disciplines and scale with connectivity. *Land Degradation & Development*, *29*(4), 1167-1175. https://doi.org/10.1002/ldr.2820

Wahidi, F., Radoux, J., Ponette, Q., & Defourny, P. (2015). Entity-Based Landscape Modelling to Assess the Impacts of Different Incentives Mechanisms on Argan Forest Dynamics. *Land*, *4*(4), 1003-1029. https://doi.org/10.3390/land4041003

Weisrock, A. (1980). *Géomorphologie et paléoenvironnement de l'Atlas Atlantique (Maroc)* [Thèse de doctorat d'Etat], Paris I.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/IESTSCIENTIA.2025.i01.08

Ziyadi, M. (2011). *Vivre dans la montagnes arides ou Subarides. L'aménagement des pentes dans l'Anti-Atlas Central et Occidental (Maroc)* [Thèse de doctorat, Nancy 2]. https://hal.science/tel-01749143/

Ziyadi, M., Dahbi, A., Aitlhaj, A., El Ouahrani, A., El Ouahidi, A., & Achtak, H. (2019). Terraced Agroforestry Systems in West Anti-Atlas (Morocco) : Incidence of Climate Change and Prospects for Sustainable Development. In P. Castro, A.M. Azul, W. Leal Filho, & U.M. Azeiteiro (Éds.). *Climate Change-Resilient Agriculture and Agroforestry* (pp. 1-19). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75004-0_1

Zugmeyer, L. (2006). *Projet de développement sylvo-pastoral de l'Arganeraie marocaine (Commune rurale de Tiout, Taroudant, Maroc)* [Mémoire de Fin d'étude]. ENGREF.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/IESTSCIENTIA.2025.i01.08

ANNEXE 1

QUESTIONNAIRE MENÉ AUPRÈS DES CHEFS DE MÉNAGES

I. Aspects sociodémographiques et professionnel du ménage

Sex		Age	Etat Matri				Lieu naissance	Niveau d'instr	Diplôme		Activité	Activité principale	Activité secondaire	Situation ds la profession	Nmbr mois Trav
F	M		C	M	V	D			oui	Non					

Niv. Instr : 0Néant/1 Presc/2Prim/3Colleg/4Lyc/ 5Sup **Stat. Activ**. : 1.employé libre/2. Salarié/ 3.Porteur de projet/ 4. Retraité/ 5. Rentier / 6.Autre

Taille ménage	Nbr. de foyers	Nbr. Scolarisés	Nbr. femme Scolarisés	Nbr. actif occupés	Nbr. actif en chômage	Nbr. migrants dans la famille	Lieu d'émigration	Nbr. Des visite. Emigrés famille/ année	Estimation de transf. D'argent

Date de résidence	Année de construction Habitat	Type d'habitat	Sup du log en M	N de Ménage du log	Matériaux de construction	Statut. Terrain Habitat	Approvisionnement	Contrainte relative à l'équipement	Vie associative

II. Equipements, Contraintes et potentialités

Alimentation en eau/existe Oui Non
Electrification/ existe Oui Non
Assainissement Oui Non
La forêt existe-t-elle ? Oui Non / conservée /dégradée/ en cours de dégradation.

	Réfrigérateur	Four à gaz ou électrique	Machine à laver	TV	Téléphone fixe	Tracteur
Oui :1 Non :2						
	Souk hebdomadaire	C. santé	Collecte déchets	Auber	Coopératives	Transport Scolaire
Oui :1 Non :2						

Etes-vous membre d'une association ? Oui Non
Etes-vous membre ou employé dans une coopérative ? Oui Non
Etes-vous membre de la Jmâa ? Oui Non
Revenu mensuel de votre ménage ? 1000-2000/ 2500-4000/ +4000 dh
Possédez-vous d'un : Puits / Metfia / Iferd / Citerne / Seguia/ terre
Quels sont les problèmes de ce douar ? Sécheresse / Inondations /Erosion / Exode / Pauvreté / Maladies/ Démographie.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/IESTSCIENTIA.2025.i01.08

III. Economie locale

Forêt/Espèces	Arganier	Caroubier	..	..
Superficie %				
Densité (faible :1, moy :2, fort				

	Cultures				Arboricultures			
Type	**Bour**		**Irriguée**		**Bour**		**Irriguée**	
Spéculations :	Melk	Loyer						
Superficie %								
	mécanisation		**Fumure organique**		**mécanisation**		**Fumure organique**	
Oui : 1 Non : 2								

Espèces	**Bovins**	**Ovins**	**Caprins**	**Equidés**	**Autre**
Effectif					

Type	**Commerces fixes**	**Commerce forains**	**Artisanat**	**Dépôts**	**Briqueteries**	**Carrières**	**...**	**...**
Nbr locaux								

182

IV. Dynamique paysagère

Tendance de l'évolution générale de l'activité agricole :	**Stable 1**	**En amélioration 2**	**En régression 3**
Les raisons par ordre de priorité			
Les suggestions			
Conditions de vie	**Stable 1**	**En amélioration 2**	**En régression 3**
Les raisons			
Suggestions			
Situ. Environnement	**Stable 1**	**En amélioration 2**	**En régression 3**

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/IESTSCIENTIA.2025.i01.08

Les raisons			
Suggestion			
	Oui	**Non**	**Pourquoi (raisons) ?**

1. Jmâa existe encore ?			(Si non).....
2. Considérez-vous que l'activité agricole dans la zone ? les Pratiques ? les Techniques de labourage ? les Métayage ou propriétés privés ? le morcellement ? les Récoltes ? sont changés ?			
3. Y-t-elles de nouvelles activités économiques qui sont apparus récemment dans le douar ?			(Si oui).....
4. Est-ce que vous avez l'intention d'acquérir encore de la terre ? à cultiver ?			
5. Est-ce que vous avez l'intention d'acquérir encore de la terre ? à construire ?			
6. Votre propre terre avez-vous l'intention de l'abandonner dans les prochaines années ?			(Si oui) (1-Pas d'eau suffisant, 2-Sécheresse, 3-Manque de moyen financiers, 4-conflits, 5-Manque de mains d'œuvre, 6-autres...) ?
7. Est-ce qu'il y avait des années pendant lesquelles vous n'avez pas pu cultiver toute votre terre pendant les dernières 10 ans ?			(si oui) Quelle année /(Pourquoi)
8. Est-ce que vous avez emprunté ou donné la terre ou une partie de celle-ci à quelqu'un d'autre pour une période limitée ou indéfinie ?			
9. Est-ce que la production agricole au cours de ces dernières décennies avait diminuée ?			
10. Au cours des dernières années, est-ce que votre ménage (ou un membre de votre ménage) a-t-il dépensé pour l'élevage du bétail ?			
11. Faite-vous déjà une collecte systématique des noies/thymus			(si oui) depuis quand ?
12. Est-ce que vous avez reçu de l'aide du service de la mise en valeur agricole pour l'achat des intrants ou matériaux agricoles ?			
13. Est-ce que le nombre des ménages qui travaillent dans le domaine non-agricole a-t-il évolué ?			
14. Est-ce que la superficie totale de terre agricole que vous avez cultivée dans les années 80/90/2000 et au cours des derniers 12 mois ?			

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/IESTSCIENTIA.2025.i01.08

ANNEXE 2

FICHE DESCRIPTIVE DES RELEVÉS FLORISTIQUES

Description de la placette			Date : / /	heure : :
Forêt :			**Placette :**	**X** **Y**
ALT (m) :	**Pentes** (%) :	**Exposition**	**Profondeur du sol (cm)** : 1 : Squelettique ( ) 2 : Peu profond ( ) 3 : Profond ( ) 4 : Rocailleux **Etat du sol** 1 : Erosion en nappe 2 : Griffures 3 : Rigoles. 4 : Ravins 5 : Ravinement 6 : Déflation 7 : Reg 8 : Erg 9 : pavage 10 : croûte de battance	
Position topographique : Replat (1) dépression (2) Haute dune (3) Inter-dune (4) Falaise (5) Versant (6) sommet (7) mi-versant (8) bas versant (9) Dépression (10) rupture de pente (11) Talweg (12) **Matériel sédimentaire :** 1 : galets 2 : gravier 3 : sables 4 : limons 5 : blocs. 6 : Grès 7 : Calcaires 8 : croûte calcaire 9 : Argiles 10 : Dolomie				
Couvert arboré : 1 : >45% 2 : 25-45% 3 : 5-24% 4 : <5% **Régime et Stade de Développement** : 1 : Semis 2 : Jeune futaie 3 : Futaie adulte 4 : Vieille futaie 5 : Jeune taillis 6 : Taillis A-V **Fructification** : 1 : nulle 2 : Présente 3 : abondante **Etat Sanitaire** (Arbres attaqués par des lichens/morts ou dépérissant) : 1 : nul 2 : présent 3 : abondants **Délits** : 1 : nuls 2 : présents 3 : abondants **Racines aérées ou perchés** : 1 : nuls 2 : présents 3 : abondants (.....) **Pratiques de contrôle :** 1 : Agdal 2 : Mouchâa 3 : Terrasses 4 : mise défens 5 : Vallons aménagés 6 : Parcelle agricole				
Régénération : *Nature de régénération : rejet (code R), drageon (code D), semis (code S) [ ] [ ] [ ]* *Degré d'acquisition : 0 : nulle 1 : faible 2 : modérée 3 : dynamique [ ] [ ] [ ]* Bois gisant : *0 : nul 1 : présent 2 : abondant [ ] [ ] [ ]* Ecimage : *0 : nul 1 : présent 2 : abondant [ ] [ ] [ ]*				
Strate arbustive : Recouvrement : % Espèces : **Strates herbacées** : Recouvrement : % Espèces :				
Régénération : 0 : nulle 1 : faible 2 : modérée 3 : dynamique	A Arbustive		H Herbacée 0 : nulle 1 : faible 2 : modérée 3 : dynamique	

N°	**H (cm)**	**Diamètre (cm)**	**Position géomorphologique**	**Plante nurse**	**Bloc ou rocher**	**Hauteur (cm)**	**Observations**
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
...							

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/IESTSCIENTIA.2025.i01.08

Revista de Estudios Andaluces (REA) | Núm. 50, julio (2025) | e-ISSN: 2340-2776
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50 | © Editorial Universidad de Sevilla 2025
https://editorial.us.es/es/revistas/revista-de-estudios-andaluces
https://revistascientificas.us.es/index.php/REA
CC BY-NC-SA 4.0.

Impact des caractéristiques hydro-morphométrique sur la reponse hydrologique du bassin versant de l'oued Adoudou (Anti-Atlas Occidental, Maroc)

Impact of hydro-morphometric characteristics on the hydrological response of the Adoudou river watershed (Western Anti-Atlas, Morocco)

Impacto de las características hidromorfométricas según el comportamiento hidrológico de la cuenca del río Adoudou (Anti-Atlas Occidental, Marruecos)

Hassan Nait-Si
hassan.nait-si@edu.uiz.ac.ma 0000-0003-3299-5447
Equipe de recherche: Géographie, Aménagement, Démographie et Développement (GEAMDD), Département de Géographie, FLSH Agadir, Université Ibn Zohr. Cité Dakhla, BP 29/8, Agadir, Maroc.

M'hamed Nmiss
mhamed.nmiss@usmba.ac.ma 0009-0001-4107-3690
Equipe de recherche: Milieux naturels, Aménagement et Dynamiques Socio-Spatiales (MNADSS). FLSH Fès-Sais, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah-Fès. BP 59, Route Immouzer. 30000 Fès, Maroc.

Mahjoub Benbih
benbihelmahjoub@gmail.com 0009-0008-5759-8097

Abdourrahmane Boukdoun
abdourrahman.boukdoun@edu.uiz.ac.ma 0009-0000-2703-1622

Abderrahmane Ouammou
a.ouammou@uiz.ac.ma 0009-0000-3579-1947

Equipe de recherche: Géographie, Aménagement, Démographie et Développement (GEAMDD), Département de Géographie, FLSH Agadir, Université Ibn Zohr. Cité Dakhla, BP 29/8, Agadir, Maroc.

INFO ARTÍCULO

Reçu: 26/11/2024
Révisé: 06/03/2025
Accepté: 31/03/2025

MOTS-CLÉS

Réponse hydrologique
Caractéristiques hydro-morphométriques
Bassin versant non jauge
Risque hydrologique
SIG

RÉSUMÉ

L'analyse hydro-morphométrique du bassin versant de l'oued Adoudou, situé dans l'Anti-Atlas occidental marocain, vise à comprendre sa réponse hydrologique, notamment face aux crues extrêmes qui caractérisent cette région aride. L'absence de données hydrométriques suffisantes, typique des bassins non jaugés, justifie une approche préliminaire basée sur l'évaluation des paramètres géométriques, topographiques et hydrographiques du bassin. L'étude s'appuie sur un Système d'Information Géographique (SIG) exploitant un Modèle Numérique de Terrain (MNT) SRTM et des cartes topographiques au 1/50 000ème. Afin de pallier les erreurs inhérentes au MNT brut, une correction hydrologique a été effectuée à partir de la digitalisation du réseau hydrographique et de la ligne de crête extraits des cartes topographiques. L'analyse quantitative s'est concentrée sur le calcul et l'interprétation d'un ensemble de paramètres clés. Les paramètres géométriques, tels que l'indice de compacité, le rapport de circularité et le rectangle équivalent, révèlent une forme allongée du bassin, dont la longueur est huit fois supérieure à sa largeur. Sur le plan topographique, la courbe hypsométrique caractérise un bassin mature, avec des pentes fortes en amont contrastant avec des pentes plus douces en aval. Cette forte déclivité du relief amont est confirmée par l'indice de pente global et la dénivelée spécifique. L'analyse hydrographique, basée sur la classification de Strahler, identifie un réseau de septième ordre. Les rapports de confluence et des longueurs, couplés aux densités de drainage et hydrographique, soulignent la forte hiérarchisation et densité du réseau, particulièrement marquée en amont. Cette disparité spatiale de la densité de drainage est corroborée par la cartographie SIG, reflétant l'influence

DOI: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09
Formato de cita / Citation: Nait-Si, H., Nmiss, M., Benbih, M., Boukdoun, A., & Ouammou, A. (2025). Impact of hydro-morphometric characteristics on the hydrological response of the Adoudou river watershed (Western Anti-Atlas, Morocco). *Revista de Estudios Andaluces,* (50), 185-217. https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09
Correspondencia autores: hassan.nait-si@edu.uiz.ac.ma (Hassan Nait-Si)

conjointe de la topographie et de la géologie. Enfin, les profils longitudinaux des cours d'eau confirment cette tendance, avec des pentes plus accentuées en amont, influencées par la structure géologique du terrain. En synthèse, la réponse hydrologique, notamment le caractère torrentiel des crues de l'oued Adoudou, est fortement conditionnée par la combinaison de facteurs topographiques (fortes pentes amont), hydrographiques (réseau dense et hiérarchisé) et géologiques (nature du substratum). Cette étude fournit une base de compréhension essentielle pour la gestion des risques hydrologiques dans ce bassin versant.

KEYWORDS

Hydrological response
Hydro-morphometric characteristics
Ungauged watershed
Hydrological risk
GIS

ABSTRACT

The hydro-morphometric analysis of the Adoudou River watershed, located in the western Anti-Atlas of Morocco, aims to understand its hydrological response, particularly in the face of extreme floods that characterize this arid region. The absence of sufficient hydrometric data, typical of ungauged basins, justifies an approach based on the basin's geometry, topography, and hydrography. The study relies on a Geographic Information System (GIS) using an SRTM Digital Elevation Model (DEM) and 1:50,000 scale topographic maps. To address inherent errors in the raw DEM, a hydrological correction was made based on the digitization of the hydrographic network and ridgeline extracted from the topographic maps. The quantitative analysis focused on the calculation and interpretation of a set of key parameters. Geometric parameters, such as the compactness index, circularity ratio, and equivalent rectangle, reveal an elongated basin shape, with a length eight times its width. Topographically, the hypsometric curve characterizes a mature basin, with steep slopes upstream contrasting with gentler slopes downstream. This steep upstream gradient is confirmed by the global slope index and specific relief. The hydrographic analysis, based on Strahler's classification, identifies a seventh-order network. The confluence and length ratios, coupled with drainage and hydrographic densities, highlight the strong hierarchy and density of the network, particularly marked upstream. This spatial disparity in drainage density is corroborated by GIS mapping, reflecting the combined influence of topography and geology. Finally, the longitudinal profiles of the streams confirm this trend, with steeper slopes upstream influenced by the geological structure of the terrain. In summary, the hydrological response, particularly the torrential nature of Adoudou River floods, is strongly conditioned by the combination of topographic factors (steep upstream slopes), hydrographic factors (dense, hierarchical network), and geological factors (nature of the substrate). This study provides an essential basis for understanding hydrological risk management in this watershed.

PALABRAS CLAVE

Respuesta hidrológica
Características hidro-morfométricas
Cuenca hidrográfica no aforada
Riesgo hidrológico
SIG

RESUMEN

El análisis hidro-morfométrico de la cuenca del río Adoudou, situada en el Anti-Atlas occidental de Marruecos, tiene como objetivo comprender su respuesta hidrológica, especialmente frente a las crecidas extremas que caracterizan esta región árida. La falta de datos hidrométricos suficientes, típica de las cuencas no aforadas, justifica un enfoque basado en la geometría, la topografía y la hidrografía de la cuenca. El estudio se apoya en un Sistema de Información Geográfica (SIG) que utiliza un Modelo Digital de Terreno (MDT) SRTM y mapas topográficos a escala 1/50 000. Para corregir los errores inherentes al MDT en bruto, se realizó una corrección hidrológica a partir de la digitalización de la red hidrográfica y de la línea divisoria de aguas extraídas de los mapas topográficos. El análisis cuantitativo se centró en el cálculo e interpretación de un conjunto de parámetros clave. Los parámetros geométricos, como el índice de compacidad, el coeficiente de circularidad y el rectángulo equivalente, revelan una forma alargada de la cuenca, cuya longitud es ocho veces mayor que su anchura. En términos topográficos, la curva hipsométrica caracteriza una cuenca madura, con pendientes pronunciadas en la parte alta, en contraste con pendientes más suaves en la parte baja. Esta fuerte pendiente en la parte alta se confirma mediante el índice de pendiente global y el desnivel específico. El análisis hidrográfico, basado en la clasificación de Strahler, identifica una red de séptimo orden. Las relaciones de confluencia y de longitudes, junto con las densidades de drenaje e hidrográfica, destacan la fuerte jerarquización y densidad de la red, especialmente en la parte alta. Esta disparidad espacial en la densidad de drenaje se corrobora con la cartografía SIG, reflejando la influencia conjunta de la topografía y la geología. Finalmente, los perfiles longitudinales de los cursos de agua confirman esta tendencia, con pendientes más acentuadas en la parte alta, influenciadas por la estructura geológica del terreno. En resumen, la respuesta hidrológica, particularmente el carácter torrencial de las crecidas del uadi Adoudou, está fuertemente condicionada por la combinación de factores topográficos (fuertes pendientes en la parte alta), hidrográficos (red densa y jerarquizada) y geológicos (naturaleza del sustrato). Este estudio proporciona una base fundamental para la gestión de los riesgos hidrológicos en esta cuenca.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09

1. INTRODUCTION

L'analyse hydro-morphométrique occupe une place centrale dans les études hydrologiques modernes, en particulier dans la gestion des risques naturels et des ressources en eau (Esper Angillieri, 2008; Rai *et al.*, 2014; Hasan *et al.*, 2017; Bashir, 2023; Mashauri *et al.*, 2023). Cette méthode, définie comme la mesure et l'analyse mathématique de la configuration géométrique, topographique et hydrographique des bassins versants, permet une évaluation quantitative des caractéristiques morphologiques et hydrographiques (Singh *et al.*, 2013; Rajasekhar *et al.*, 2020; Mani *et al.*, 2022). Une telle approche est essentielle pour comprendre la dynamique hydrologique des bassins versants, notamment dans des contextes où les données hydrologiques sont limitées ou inexistantes (Hajam *et al.*, 2013). En effet, l'analyse hydro-morphométrique s'impose comme un outil efficace pour caractériser le comportement hydrologique des bassins, en particulier leur réponse aux événements extrêmes tels que les crues soudaines et l'érosion (Romshoo *et al.*, 2012; Raja Shekar & Mathew, 2024).

Les fondements théoriques de cette discipline remontent aux travaux pionniers de Horton (1932, 1945), Strahler (1952, 1957, 1964), Miller (1953), Schumm (1956, 1963, 1968) et Roche (1963), qui ont établi les bases méthodologiques de l'analyse hydro-morphométrique. Leurs contributions ont permis de formaliser l'étude quantitative des paramètres géométriques, topographiques et hydrographiques des bassins versants. Aujourd'hui, ces méthodes sont largement appliquées dans divers contextes géographiques et climatiques, notamment pour évaluer les risques liés aux crues soudaines et à l'érosion hydrique (Romshoo *et al.*, 2012; Pande & Moharir, 2017; Abdulkareem *et al.*, 2018; Bashir, 2023; Mansour *et al.*, 2023; Dofee *et al.*, 2024). Leur utilité est particulièrement marquée dans les bassins non jaugés, où les données hydrométriques sont rares, spécialement dans les régions semi arides et arides, comme c'est le cas de l'Anti-Atlas occidental du Maroc. Dans ces régions, les bassins versants sont soumis à des conditions climatiques extrêmes, caractérisées l'irrégularité des précipitations intenses de courte durée exacerbent les risques hydrologiques (Nmiss *et al.*, 2022; Nmiss *et al.*, 2025; Naji *et al.*, 2025). Le bassin versant de l'oued Adoudou est souvent confrontées à une vulnérabilité accrue aux crues soudaines et à l'érosion hydrique, en raison de la faible capacitée d'infiltration des sols et de la forte variabilité spatio-temporelle des précipitations. Cependant, l'évaluation précise de la réponse hydrologique dans ces bassins, en particulier ceux non jaugés, reste un défi majeur pour les chercheurs en raison du manque de données hydrologiques observées (Alam *et al.*, 2021). Dans ce contexte, l'analyse hydro-morphométrique s'avère une étape préalable indispensable pour évaluer l'impact des caractéristiques géomorphologiques sur le comportement hydrologique et identifier les zones à risque.

La présente étude se focalise sur l'analyse des caractéristiques hydro-morphométriques du bassin versant de l'oued Adoudou, un bassin non jaugé situé dans une région aride. En s'appuyant sur des méthodes quantitatives et des outils d'analyse spatiale tels que les systèmes d'information géographique (SIG) et la télédétection, cette recherche vise à évaluer les paramètres géométriques, topographiques et hydrographiques du bassin. L'objectif principal est d'analyser l'influence de ces caractéristiques sur la réponse hydrologique et d'identifier les facteurs critiques qui contribuent aux risques hydrologiques dans cette région. La présente étude apporte une contribution significative à la compréhension des interactions entre les caractéristiques hydro-morphométriques et la réponse hydrologique dans les bassins non jaugés, ouvrant ainsi la voie à des applications pratiques telles que la modélisation pluie-débit, la simulation d'inondations et la gestion intégrée des risques hydrologiques.

2. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Le bassin versant de l'oued Adoudou fait partie de l'Anti-Atlas occidental, situé au Centre-Ouest du Maroc entre les parallèles 29° 15' et 29° 50' Nord. Limité au Nord et Nord-Ouest par les complexes dunaires littoraux et l'Océan Atlantique, au Sud par le massif d'Ifni et le plateau de Lakhssas et à l'Est par le massif de Kerdous. L'oued Adoudou prend sa source à partir des affluents de Kerdous au Sud-Est du bassin. Il s'écoule ensuite vers l'aval, où il reçoit plusieurs affluents en provenance des massifs montagneux anti-atlasique et de la

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09

plaine de Tiznit, avant de se déverser dans l'océan Atlantique au Nord-Ouest après un parcours de 97.3 km. Dans la plaine, deux affluents majeurs se joignent à l'oued Adoudou: l'oued Bounaâmane, qui prend naissance dans le plateau de Lakhssas, et l'oued Tamdroust, provenant de Kerdous (figure 2).

Le contexte topographique du bassin versant de l'oued Adoudou se caractérise par un relief contrasté composé par deux grandes unités différentes :

- La plaine de Tiznit se caractérise par un dénivelé sous forme de plateau étagé, s'étendant du Sud-Est, où l'altitude atteint 500 m, jusqu'au Nord-Ouest, où elle diminue progressivement jusqu'au niveau de la mer;
- Les reliefs montagneux anti-atlasique englobe trois unités orographiques constituant la partie amont du bassin. La boutonnière de Kerdous présente des altitudes variant de 1304 m au Sud-Est à 600 m au nord-ouest. Le plateau de Lakhssas dont les altitudes s'abaissent régulièrement de l'Est (Jbel Inter 1026 m) à l'Ouest (600 m). Le massif d'Ifni s'élève de 750 m au Sud à 200 m au Nord. Ces reliefs agissent comme une barrière contre les fortes influences sahariennes, protégeant ainsi la plaine de Tiznit des vents du Sud-Est (chergui). De plus, les précipitations augmentent avec l'altitude en raison de l'effet orographique (Oliva, 1972) (figure 1), ce qui contribue à alimenter l'écoulement.

Sur le plan géologique et géomorphologique, le bassin d'adoudou fait partie Nord-Ouest du craton Ouest-Africain et se compose de deux domaines géologiques et structuraux distincts. L'amont du bassin est caractérisé par une vaste structure d'anticlinaux accidentés, où affleurent des formations datant du précambrien et du cambrien, constituée par l'Adoudounien, une épaisse série carbonatée de calcaires et de dolomies, recouverte par des formations rouges silteuses et gréseuses, connues sous le nom de « Série Lie-de-vin ». Cette séquence est surmontée par des formations des calcaires supérieurs et schisto-calcaires, particulièrement épaisse et plus carbonatée par rapport au reste de l'Anti-Atlas (Choubert, 1963), composée par des calcaires Géorgiens et des schistes Acadiens (Benziane *et al.*, 1983). L'aval du bassin est caractérisé par un synclinal de schiste Acadien a remplissage Plio-Quaternaire (Ouammou, 1993), constitué par des calcaires lacustres, des conglomérats développés surtout à l'ouest de Tiznit et dans l'embouchure de l'oued Adoudou, des cônes de déjection et d'éboulis en bordure des reliefs, des dépôts alluvionnaires et un large bourrelet dunaire Moghrébien et des dunes vives bordent la côte Atlantique. Ces dernières sont encaissées entre le massif d'Ifni, le plateau de Lakhssas et la boutonnière de Kerdous (figure 3).

Du point de vue climatique, le bassin est soumis à un climat aride, caractérisé par un régime pluviométriques annuelles faibles et souvent irrégulières dans le temps et l'espace avec des moyennes annuelles faibles en aval (Station de Tiznit = 168 mm; Station de Youssef Ibn Tachfin = 146 mm) par rapport à l'amont (Station d'Amaghouz = 289 mm). La région a connu des précipitations journalières extrêmes, notamment en 1988, 1996, 2010, et 2014 (figure 4). Ces événements extrêmes ont provoqué la formation de crues importantes, entraînant des écoulements rapides et violents qui ont conduit à des inondations ainsi qu'à l'érosion des terres agricoles. L'étude de l'analyse fréquentielle de l'occurrence des pluies journalières maximales annuelles du bassin de l'oued Adoudou (Nait-Si *et al.*, 2024) révèle que les averses affectant l'amont de la zone d'étude sont significativement plus intenses que celles affectant l'aval.

Les conditions climatiques arides de la région ont une forte influence sur le couvert végétal qui est dégradé. L'aval du bassin est caractérisé par une végétation clairsemée composée d'espèces résistantes à la sécheresse telles que Euphorbia echinus, Euphorbia arborescens, Launaea arborescens, Senecio anteuphorbium et Ononis natrix. L'amont du bassin est composé par un matorral d'arganier (Argania spinosa) associes aux Euphorbes. On y trouve également: l'Euphorbia regis-jubae (photo 1) qui occupe vivement le massif d'Ifni et bénéficie parfaitement de l'influence maritime, elle est associée avec Senecio anteuphorbium; Euphorbia echinus ainsi que d'autres espèces épineuses adaptées à l'aridité, comme Ziziphus lotus et Launaea arborescens.

L'analyse de la carte d'occupation des sols (figure 5) met en évidence une concentration très importante de l'infrastructure routière, les pratique agraires et l'habitat en aval du bassin. Les activités agraires et les zones d'habitat se concentrent principalement dans les plaines alluviales au niveau des lits des oueds d'Adoudou, de Tamdroust et de Bounaâmane, en raison de la disponibilité des ressources en eau et des sols fertiles qui favorisent la mise en culture. Ces zones, jouent un rôle important dans le développement

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09

économique local, cependant elles ont un impact significatif en modifiant la réponse hydrologique du bassin en réduisant l'infiltration des eaux, favorisant ainsi la concentration d'écoulement et amplifiant le potentiel d'érosion. Comme par exemple, la zone agricole entre Zaouiya Sidi Ouaggag et Amaragh, où les canalisations d'irrigations abandonnées augmentent le risque d'érosion hydrique affectant les berges de l'oued Adoudou (photo 2). En parallèle, les infrastructures hydro-agricoles, telles que les barrages de rétention contribuent à la diminution de la vitesse d'écoulement, ce qui contribue à la genèse des zones inondables au niveau des zones à faible pente. Cela favorise le dépôt des sédiments fins qui envasent le lit de l'oued, comme le cas de la plaine inondable d'Igrar n'Sidi Abderahmane (photo 3). Par ailleurs, l'urbanisation se concentre à proximité des oueds, souvent dans le lits moyenne et majeur, augmentant la vulnérabilité face aux inondations. L'infrastructure routière, notamment les ponts de type ponceau existant dans les oueds principaux (photo 4), augmentant le risque de débordement et accentue l'érosion lors des crues soudaines.

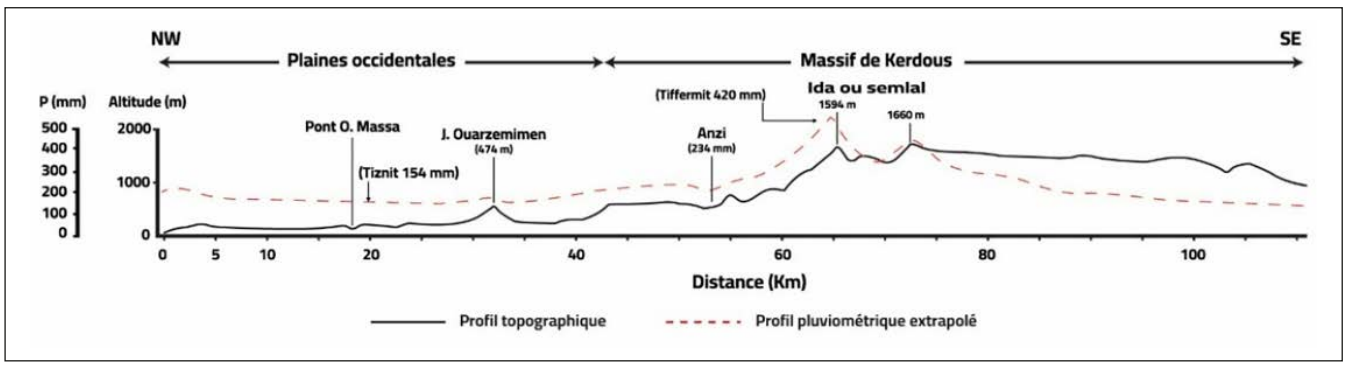


Figure 1. Profile pluviométrique d'une coupe schématique à travers l'Anti-Atlas occidental (les stations dont les noms sont entre parenthèses ne sont pas directement situées sur le profil).
Source: propre élaboration basée sur Oliva, 1972.

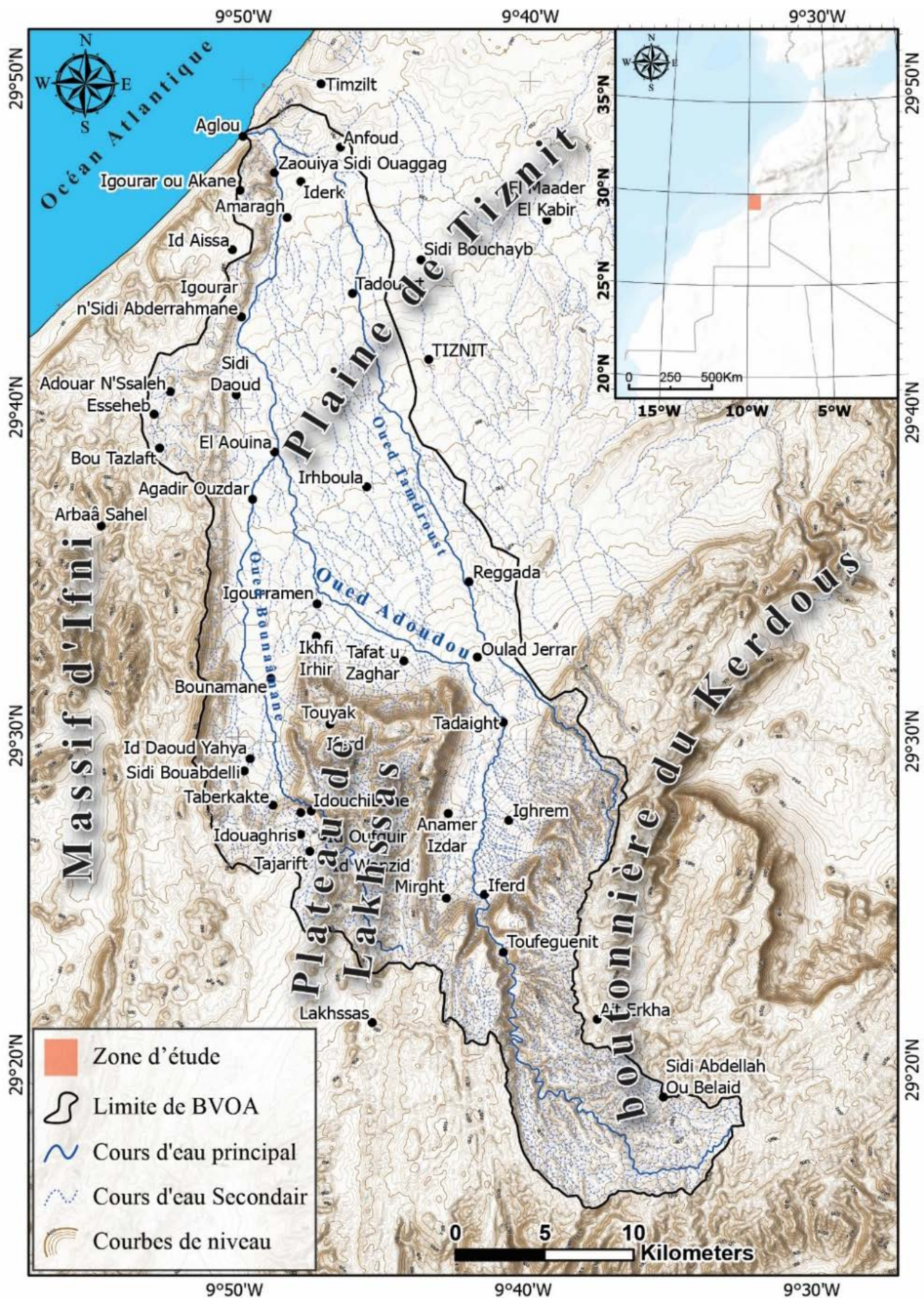


Figure 2. Situation géographique de la zone d'étude. Source: propre élaboration basée sur le modèle numérique d'élévation de terrain (30 m) et les cartes topographiques de la région.

© Editorial Universidad de Sevilla 2024 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09

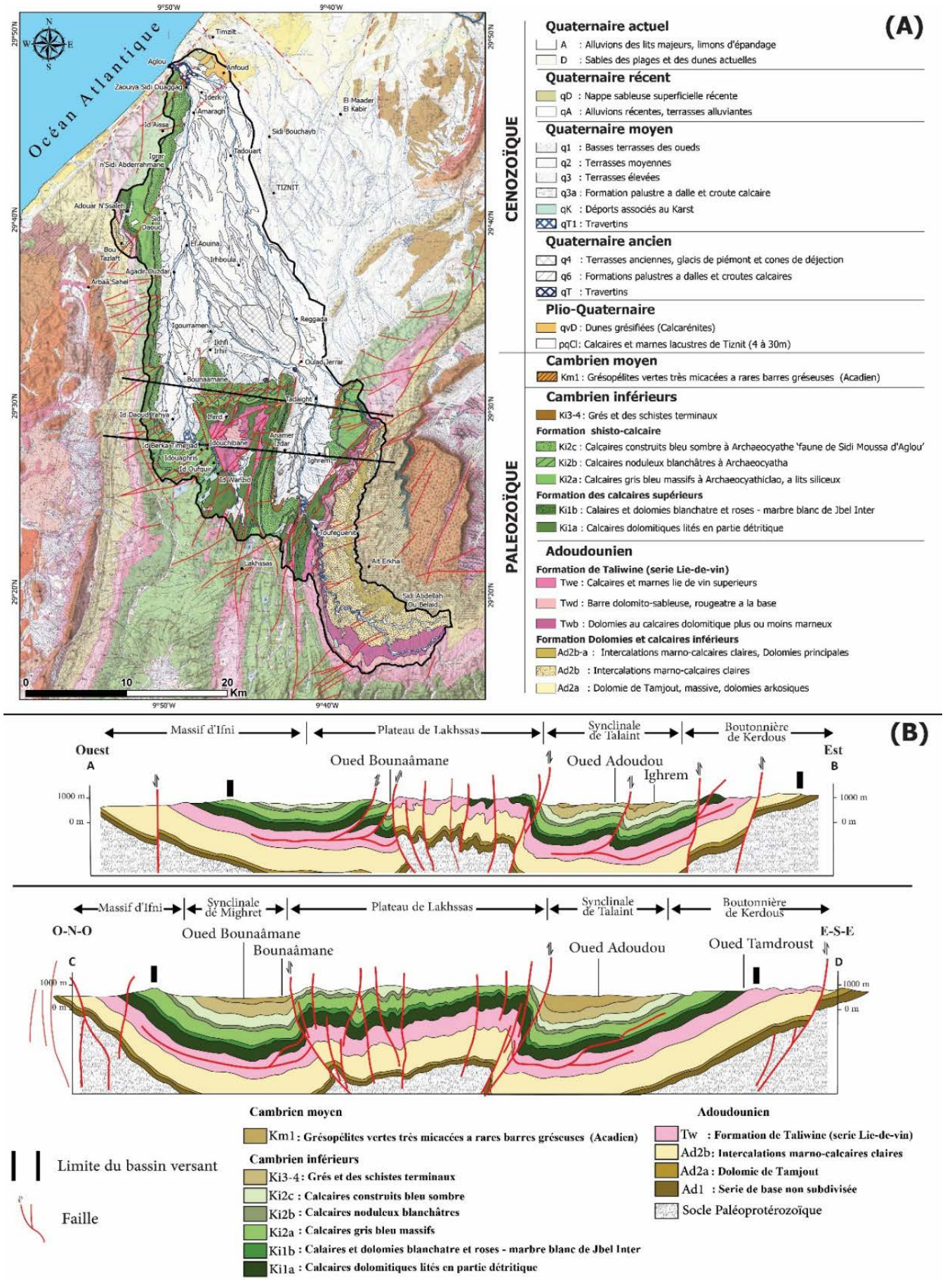


Figure 3. Contexte géologique du bassin de l'oued Adoudou: a. Carte géologique, b. Coupes géologiques. Source: propre élaboration basée sur des cartes géologiques 1:100,000 de Bou Izakarn (NH-29-IX-1) et de Tiznit (NH-29-IX-3-VIII-4).

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09



Photo 1. Association d'Euphorbia regis-jubae avec Senecio anteuphorbium sur le flanc Est du massif d'Ifni. Source: enquête de terrain, le 24 février 2023.

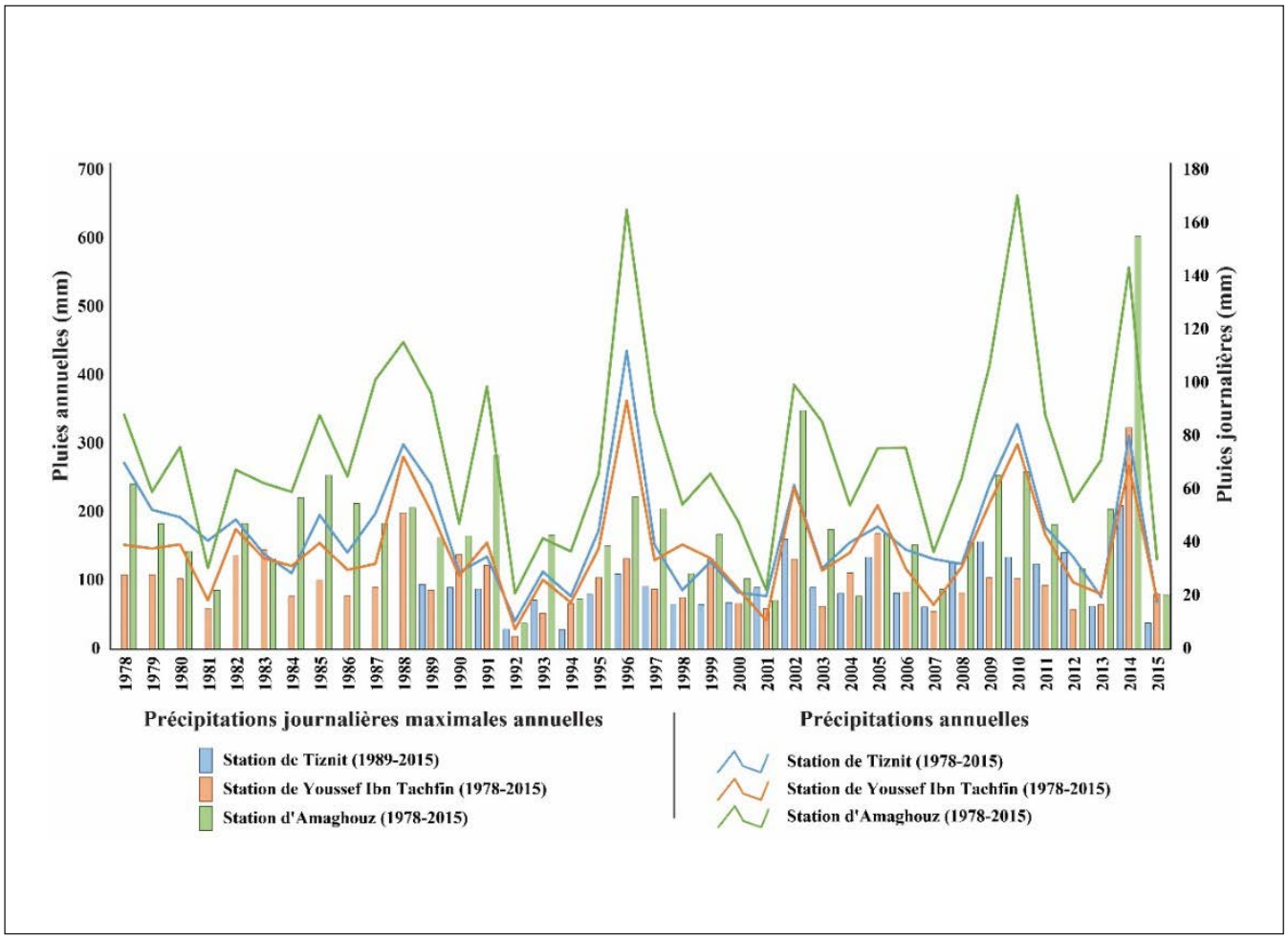


Figure 4. Variabilités des précipitations annuelles et journalières maximales annuelles. Source: propre élaboration basée sur les données des stations obtenues auprès de l'Agence du Bassin Hydraulique de Souss Massa.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09



Photo 2. Érosion en ravines observée sur les rives de l'oued Adoudou au niveau de la zone agricole de Zaouiya Sidi Ouaggag. Source: enquête de terrain, le 24 février 2023.



Photo 3. Barrage de rétention en aval de l'oued Adoudou à Igrar n'Sidi Abderahmane. Source: enquête de terrain, le 24 février 2023.



Photo 4. Pont de type ponceau en aval de l'oued Adoudou à El Aouina. Source: enquête de terrain, le 24 février 2023.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09

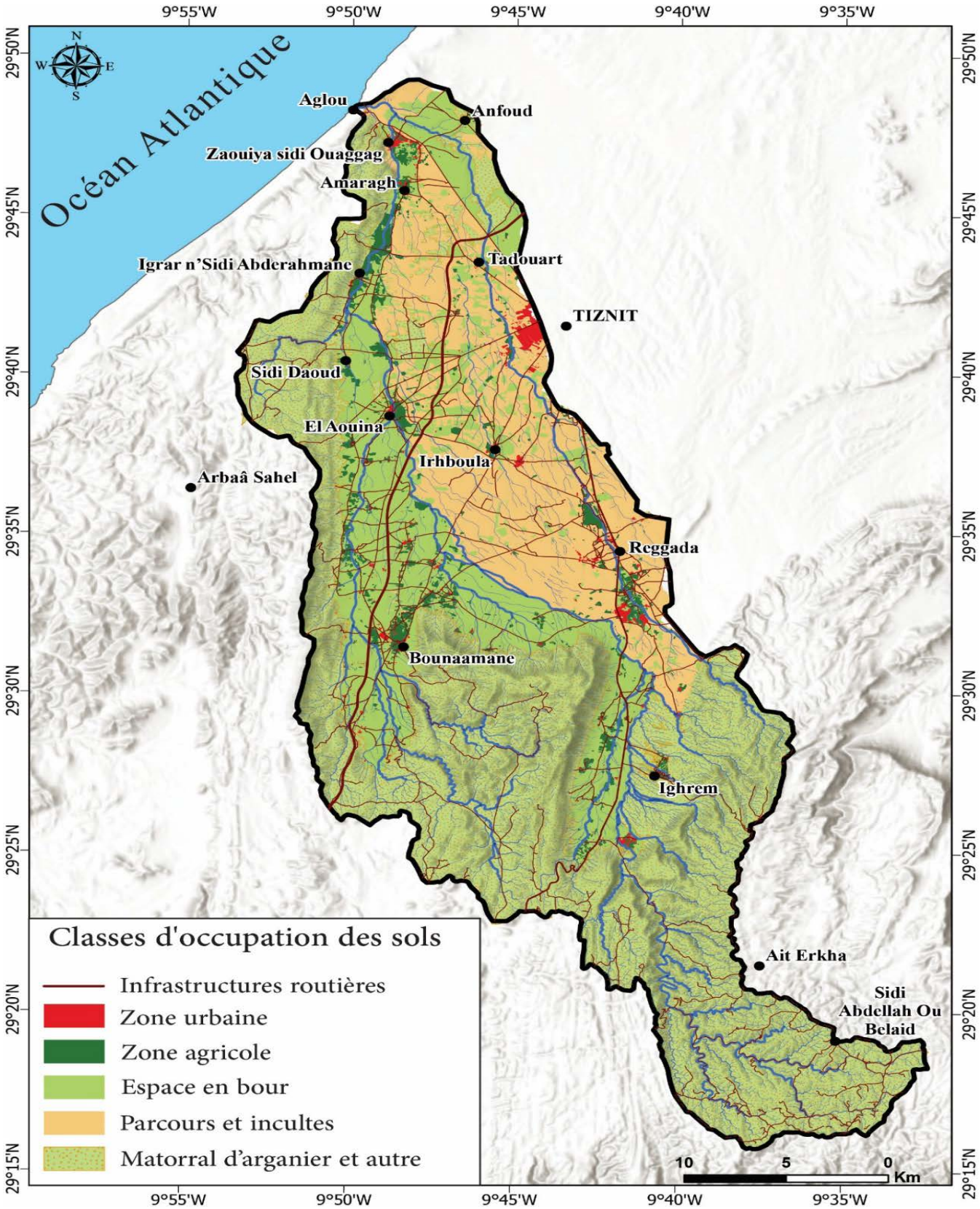


Figure 5. Carte d'occupation des sols du bassin versant de l'oued Adoudou. Source: propre élaboration basée sur les images satellitaires Spot d'une résolution de 2.5 m pour l'année 2013 fournies par le Centre Royal de Télédétection Spatiale (CRTS).

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09

3. METHODES ET MATERIELS

La méthodologie adoptée (figure 6) repose sur l'utilisation des cartes topographiques au 1/50000 et du Modèle Numérique de Terrain Shuttle Radar Topography Mission (MNT-SRTM) avec une résolution de 30 m, fourni par l'USGS (www.earthexplorer.usgs.gov). La délimitation de la ligne de crête et la digitalisation du réseau hydrographique à partir des cartes topographiques ont été réalisées, d'une part, pour assurer la qualité et la fiabilité des données dans l'identification des paramètres géométriques et hydrographiques, et, d'autre part, pour la correction hydrologique du MNT en se basant sur le réseau hydrographique numérisé à l'aide d'outils de traitement dans l'environnement ArcGIS.

L'identification des paramètres topographiques s'appuiera sur le Modèle Numérique de Terrain (MNT) corrigé, lequel intègre les corrections apportées pour prendre en compte les erreurs altimétriques ainsi que celles affectant les pixels correspondant au réseau hydrographique. Les paramètres hydro-morphométriques ont été calculés dans Microsoft Excel en utilisant plusieurs équations mathématiques introduites par des experts et chercheurs en hydraulique et en hydrologie (Gravelius, 1914; Horton, 1932 & 1945; Schumm, 1956, 1963 & 1968; Miller, 1953; Strahler, 1952, 1957 & 1964; Roche, 1963; Faniran, 1968; Bannister, 1980; Bravard & Petit, 1997).

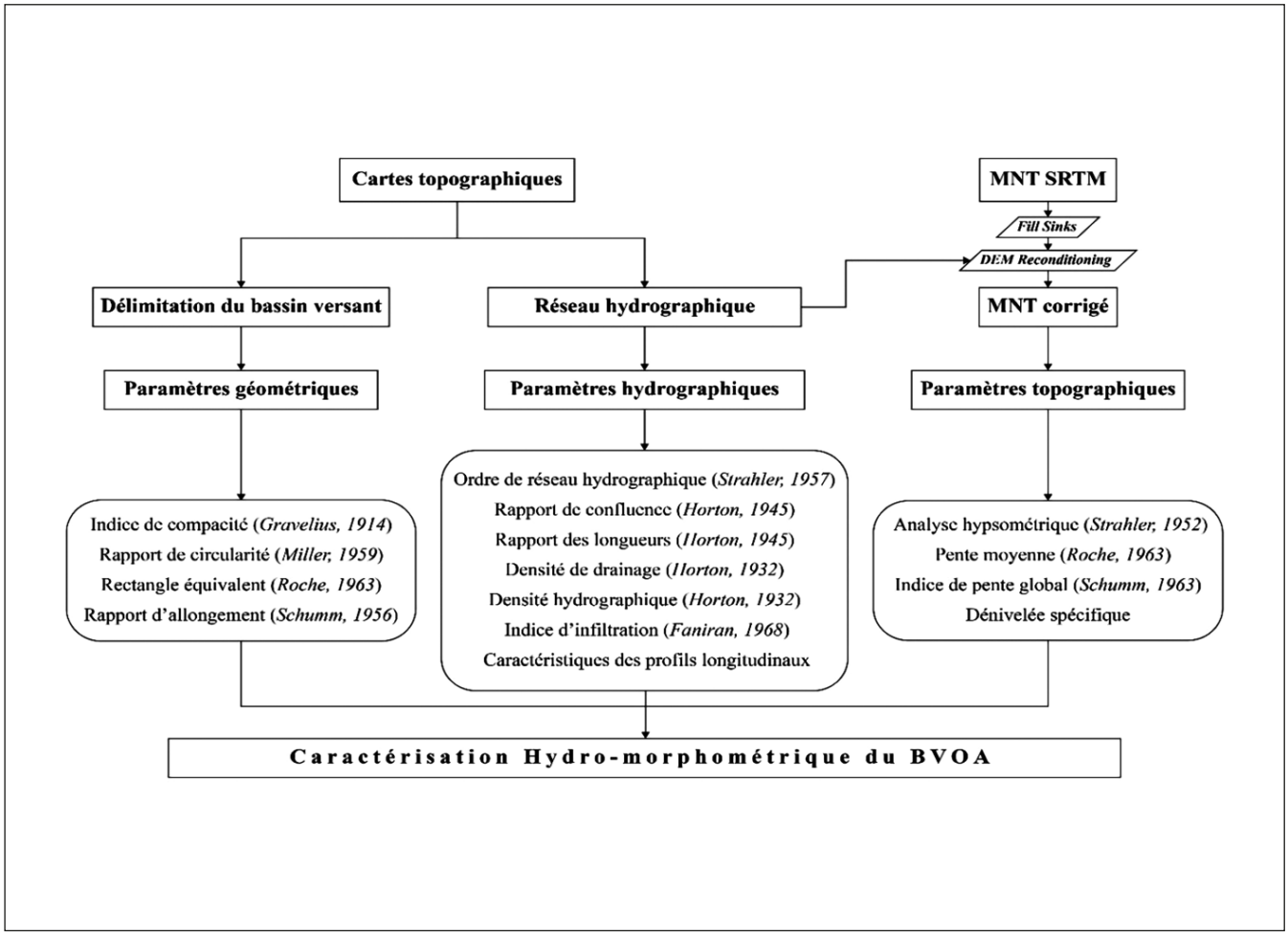


Figure 6. Processus de délimitation du bassin versant et analyse hydro-morphométrique par le logiciel ArcGIS. Source: propre élaboration.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09

3.1. Paramètres géométriques

3.1.1. Indice de compacité

Introduit par (Gravelius, 1914), cet indice permet d'avoir une idée sur la forme géométrique du bassin versant, est calculé à partir de l'équation suivante:

$$KG = P / 2\sqrt{\pi A} \approx 0.28\ P/\sqrt{A}$$

Avec A est la surface du bassin en km^2 ; et P son périmètre en km.

Pour un bassin de forme quasiment circulaire, l'indice KG est proche de 1, s'il est supérieur à 1 le bassin est donc de forme allongée. Les écoulements de surface se concentrent d'une manière plus lente vers l'exutoire dans un bassin allongé, donc une réponse hydrologique lente. Un bassin de forme très ramassée a une réponse hydrologique rapide.

3.1.2. Rapport de circularité

Il représente le rapport entre la surface du bassin et celle d'un cercle ayant le même périmètre que ce dernier (Miller, 1953). Elle s'exprime par l'équation suivante :

$$Rc = 4\pi A/P^2$$

Une valeur moins de 0.5 de Rc indique que le bassin présent une forme allongée est caractérisé par un relief fort (Magesh *et al.*, 2012), lorsque Rc s'approche de 1 cela indique que le bassin a une forme quasi circulaire et une pente relativement faible.

3.1.3. Rectangle équivalent

La notion de rectangle équivalent, constitue une transformation géométrique du bassin versant. Cette transformation préserve la superficie et le périmètre du bassin, garantissant ainsi une conservation de la répartition hypsométrique (Roche, 1963). Elle s'exprime à travers les équations suivantes:

$$Leq = 1/2.\ Kg.\ \sqrt{\pi}.A.\ (1 + \sqrt{}\ (1 - (2/\sqrt{\pi}.KG)^2)$$

$$leq = 1/2.\ Kg.\ \sqrt{\pi}.A.\ (1 - \sqrt{}\ (1 - (2/\sqrt{\pi}.KG)^2)$$

Avec Leq et leq représentent la longueur et la largeur du rectangle (Km) ; A est la surface du bassin (Km^2) ; KG est l'indice de compacité.

3.1.4. Rapport d'allongement

Il est défini comme le rapport entre le diamètre d'un cercle de même surface que le bassin D et la longueur du bassin Leq (Schumm, 1956). Il s'exprime par:

$$Re = D/Leq\ ;\ Avec :\ D = \sqrt{}(A*4/\pi)\ ;$$

$$Donc :\ Re = 1.129 * (\sqrt{}A/Leq).$$

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09

Selon (Strahler, 1964), les valeurs de Re peuvent être regroupées en quatre catégories : circulaire (1 à 0.9), ovale (0.9 à 0.8), moins allongée (0.8 à 0.7), allongé (0.7 à 0.6) et très allongée (<0.6).

3.2. Paramètres topographiques

Les caractéristiques topographiques font intervenir l'étude des reliefs et des pentes. Ces deux facteurs sont conditionnés par la tectonique et le climat. Ils sont primordiaux pour comprendre le comportement hydrologique au niveau d'un bassin versant.

3.2.1. Courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de sa tranche d'altitude, ainsi que l'allure de la courbe caractérise le cycle d'érosion du relief actuel (Strahler, 1952). La différenciation la plus nette de la courbe hypsométrique est observée en comparant la forme d'une courbe donnée à la diagonale hypsométrique (la distribution surface-altitude égale) (Bannister, 1980). La figure 7 révèle trois types de bassin:

- Bassin Jeune/Convexe: la courbe hypsométrique coupe la diagonale à plus de 70 % d'altitude;
- Bassin Mature/Concave: la courbe hypsométrique coupe la diagonale entre 23% et 35% de l'élévation disponible avec une concavité légère dans les hautes altitudes;
- Bassin vieux/concave: la courbe hypsométrique croise la diagonale en dessous de l'élévation de 23% avec une courbe plus concave dans la partie supérieure du graphique.

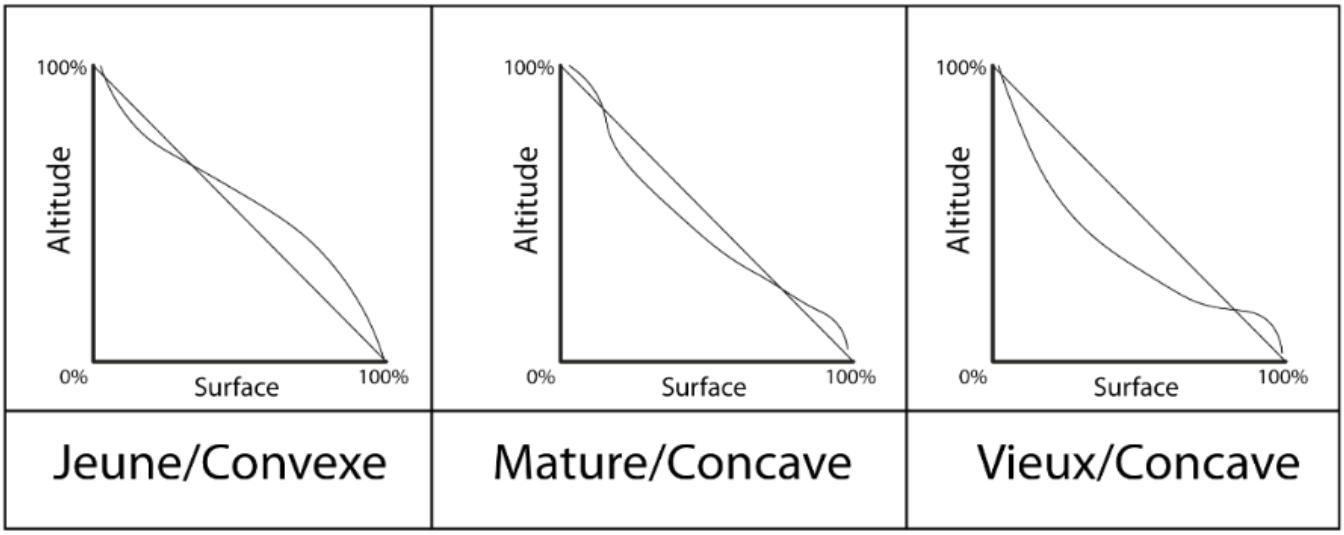


Figure 7. Hypsométries des bassins versants : jeune, mature et vieux. Source: propre élaboration basée sur Bannister, 1980.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09

3.2.2. Altitudes caractéristiques

L'altitude maximale Hmax représente le point le plus élevé du bassin, par contre l'altitude minimale Hmin considère le point le plus bas, généralement à l'exutoire. H5%, H95% et Hmédiane correspond respectivement à l'altitude au point d'intersection avec 5%, 95% et 50% de la surface cumulée de la courbe hypsométrique. L'altitude moyenne Hmoy se déduit directement par l'équation suivante:

$$Hmoy = \sum_{i=1}^{n} Ai.hi / A$$

Avec Ai est l'aire comprise entre deux courbes de niveau (Km^2) ; hi est l'altitude moyenne entre deux courbes de niveau (m); A est la surface du bassin (Km^2)

3.2.3. Pente moyenne

La pente moyenne donne une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement direct, donc une indication sur le temps de concentration. Roche (1963) a proposé l'équation ci-dessous pour déterminer la pente moyenne en utilisant le rectangle équivalent et les caractéristiques hypsométriques afin d'obtenir une valeur proche de la pente moyenne du bassin versant.

$$S = \Delta H/Leq$$

Avec S est la pente moyenne (m/km) ; ΔH (m) est la dénivelée totale du bassin Hmax - Hmin ; Leq est la longueur du rectangle équivalent (Km).

3.2.4. Indice de pente global

L'indice de pente global Ig est défini comme le rapport entre la dénivelée globale Dg (qui représente la différence entre les altitudes caractéristiques H5% et H95%) et la longueur du rectangle équivalent Leq (Roche, 1963). L'indice global de pente Ig est exprimé en m/km il permet de caractériser le relief du bassin versant.

$$Ig = Dg/Leq = (H5\% - H95\%)/Leq$$

3.2.5. Dénivelée spécifique

La dénivelée spécifique représente le produit de l'indice de pente global par la racine carrée de la superficie du bassin, donc est indépendante de l'aire du bassin et elle peut servir à comparer le relief des bassins versants de superficies différentes. Cette dernière permet de caractériser le relief suivant la classification d'ORSTOM (Triboulet *et al.*, 1996) (tableau 1).

$$Ds = Ig.\sqrt{A}$$

Avec Ds est la dénivelée spécifique exprimée en mètres ; Ig est l'indice de pente global (m/Km) ; A est la surface du bassin en Km^2.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09

Tableau 1. Classification du relief selon la dénivelée spécifique (Ds).

Type de relief	Valeur de DS
Relief faible	Ds < 50 m
Relief modéré	50 m < Ds < 100 m
Relief fort	100 m < Ds

Source: Triboulet *et al.*, 1996.

3.3. Paramètres hydrographiques

Le réseau hydrographique est défini comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement, il est l'un des caractéristiques les plus importants du bassin versant. L'évolution, la densité et la hiérarchisation du réseau hydrographique dépend de plusieurs facteurs, tels que la lithologie, la tectonique, le climat et la pente.

3.3.1. Hiérarchisation du réseau hydrographique

La hiérarchisation du réseau hydrographique est essentielle à l'analyse de son organisation et de sa capacité de drainage, il existe deux méthodes célèbres pour la classification du réseau hydrographique celles de Horton (1945) et de Strahler (1952). Dans cette étude, la classification de Strahler (1952) a été adoptée, compte tenu de sa robustesse et de son usage répandu en hydrologie, permettant par ailleurs le calcul d'autres paramètres hydrographiques.

3.3.2. Rapport de confluence

Le rapport de confluence Rc est le rapport entre un nombre de segments d'un ordre spécifié et un nombre de segments de l'ordre supérieur suivant.

$$Rc = (Nu / Nu+1)$$

Horton (1945) affirme que les rapports de confluence vont d'environ 2 pour un pays plat à faible pente, jusqu'à 3 ou 4 pour les régions montagneuses.

3.3.3. Rapport des longueurs

Le rapport des longueurs est la longueur moyenne d'un ordre (Lum) divisée sur la longueur moyenne de l'ordre inferieur (Lum-1).

$$RL = (Lum / Lum-1)$$

Ce rapport indique que la longueur moyenne des segments de cours d'eau de chacun des ordres successifs d'un bassin tend à se rapprocher d'une série géométrique directe, la longueur des cours d'eau augmente vers les ordres supérieurs (Horton, 1945).

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09

3.3.4. Densité hydrographique

Horton (1932) indique que la densité hydrographique Fs est le rapport entre la somme de nombre des cours d'eau N et la surface A du bassin, elle est représentée par l'équation suivante :

$$Fs = \sum Nu/A$$

3.3.5. Densité de drainage

Introduite par Horton (1956), elle est parmi les caractéristiques hydrographiques les plus utilisé par les hydrologues. Comme son nom indique, elle désigne la longueur des cours d'eau drainée en fonction d'une surface est exprimée en Km/Km^2, elle reflète l'influence des différents facteurs comme le relief, la pente et la perméabilité des affleurements géologiques, donc c'est un facteur déterminant la réponse hydrographique d'un bassin versant. Elle est calculée à partir de l'équation suivante :

$$Dd = \sum_1\text{^}u\ Lu / A$$

Avec Lu et la longueur des cours d'eau de l'ordre u en Km ; A est la surface du bassin versant en Km^2.

Un bassin versant bien drainer à une valeur d'environ 2.5 km/km^2, tandis qu'un bassin versant mal drainer possède une Dd plus petite que 1.5 km/km^2.

Le résultat de Dd donne une vision globale du drainage pour l'ensemble du bassin, mais il ne reflète pas la réalité, compte tenu de la grande superficie du bassin et de la diversité de ses caractéristiques lithologiques et topographiques. Pour cette raison, une carte de répartition spatiale de la densité de drainage a été créée à l'aide d'un outil SIG. La démarche du processus est expliquée dans la figure 8.

3.3.6. L'indice d'infiltration

Introduit par Faniran (1968), l'indice d'infiltration If est défini comme le produit de la densité hydrographique Fs et de la densité de drainage Dd, ainsi qu'il représente le potentiel d'infiltration d'un bassin versant, une valeur plus faible indique une infiltration plus importante et un ruissellement plus faible (Kumar & Mukherjee, 2005).

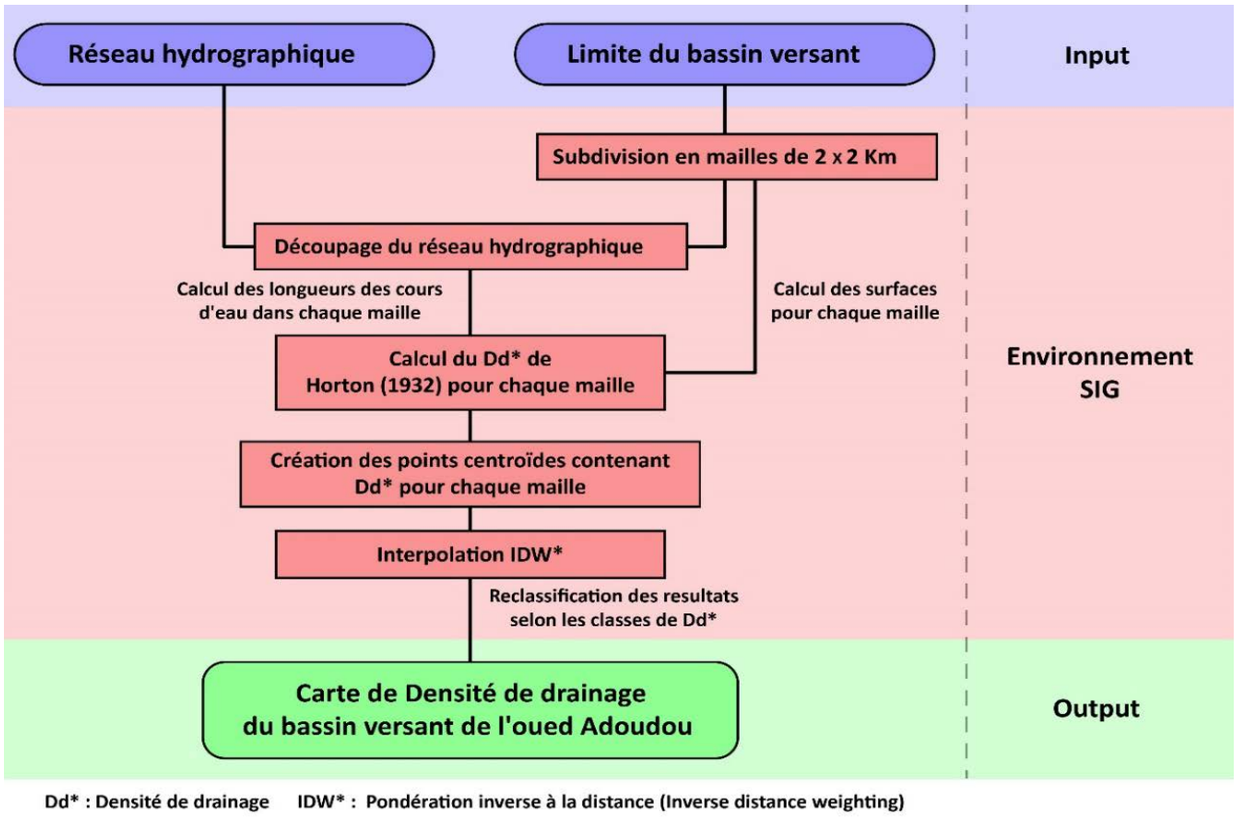


Figure 8. Processus de création de la carte de densité de drainage. Source: propre élaboration.

© Editorial Universidad de Sevilla 2024 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09

3.3.7. Profils longitudinaux et pentes moyennes

Le profil longitudinal ou bien le profil en long est un graphe indiquant la variation de l'élévation du lit d'un cours d'eau en fonction de sa distance du point le plus haute jusqu'à l'exutoire (Taous, 2005). À partir de ce graphe, plusieurs interprétations peuvent être dégagées concernant la réponse hydrologique (Lasri, 2015), en raison de sa représentation des pentes qui suivent le fond d'un cours d'eau. Une forte pente du cours d'eau, augmente la vitesse d'écoulement superficiel, alors qu'une faible pente favorise un écoulement fluvial lent ce qui donne à l'eau le temps de s'infiltrer, si le substratum le permet.

La pente moyenne d'un cours d'eau est l'une des caractéristiques déterminantes pour le calcul du temps de concentration d'un bassin versant. Elle est calculée à l'aide du profil longitudinal en utilisant l'équation ci-dessous, qui consiste à diviser la différence d`altitude entre les deux points extrêmes du profil ΔH(m) par la longueur totale du cours d'eau L (Km).

$$Pmoy = \Delta H/l$$

4. RESULTAT

4.1. Paramètres géométriques

La surface et le périmètre d'un bassin versant donnent un premier aperçu sur sa forme ainsi que la quantité d'eau qu'il peut recevoir, elles peuvent influencer sur la réponse hydrologique et donc sur l'amplitude des hydrogrammes de crues (Roche, 1963). A cet égard, plusieurs paramètres ont été calculés afin de déterminer l'influence de la taille et de la forme sur la réponse hydrologique du bassin versant de l'oued Adoudou. Notre bassin d'étude présente une surface de 834.7 Km^2 et un périmètre de 183.3 Km. Son indice de compacité de Gravelius et son rapport d'allongement sont respectivement de KG = 1.8 et Re = 0.4 indiquent que le bassin versant de l'oued Adoudou possède une forme allongée. Ainsi que le rapport de circularité a une valeur de Rc = 0.31, ce qui indique que le bassin versant présente une forme allongée et un relief fort. L'élaboration du rectangle équivalent repose sur le calcul du largeur et longueur du rectangle qui sont égale à Leq = 81.67 Km et leq = 10.22 Km, ces dimensions traduisent que la longueur du bassin est 8 fois plus grand que sa largeur. Le rectangle équivalent (figure 9) dévoile que les courbes de niveau sont assez serrées en amont du bassin (entre 500 m et 1304 m), témoignant d'une pente importante et d'un relief fort. Dans la partie avale (entre 100 m et 500 m), les courbes deviennent progressivement plus espacées en allant vers l'exutoire du bassin reflétant la diminution de la pente. Au niveau de l'exutoire (entre 0 m et 100m) les courbes deviennent assez serrées en allant vers l'Océan Atlantique (Nait-Si *et al.*, 2022).



Figure 9. Rectangle équivalent avec tranches d'altitudes (m) du bassin versant de l'oued Adoudou. Source: Nait-Si *et al.*, 2022.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09

4.2. Paramètres topographiques

La courbe hypsométrique (figure 10), tracée selon la méthode de Bannister (1980), présente une légère concavité avec une pente forte. La ligne droite coupe la diagonale entre 23 % et 35 % d'élévation, ce qui indique que le bassin versant de l'oued Adoudou est en état de maturité, cela signifie que le bassin est en équilibre en ce qui concerne les processus d'érosion et de transport au sein du système fluvial. Les altitudes caractéristiques du BVOA révèlent que l'altitude moyenne est supérieure à l'altitude médiane, avec un écart type de 56 m (tableau 2). Cela signifie que le bassin possède un relief irrégulier. Les altitudes du bassin sont élevées en amont, où prédominent les montagnes, et s'adoucissent en descendant vers l'aval. La pente moyenne de l'ensemble du bassin est élevée, atteignant 16 m/km, ce qui indique que notre bassin présente des pentes fortes. Cela influence le temps de concentration du bassin. L'indice de pente globale Ig est égal à 13,22 m/km, et la dénivelée spécifique Ds du bassin est de 382 m. Selon la classification du relief de l'ORSTOM (tableau 1), notre bassin présente un relief à caractère fort.

La répartition spatiale des pentes a été établie à partir du MNT corriger à l'aide l'outil SIG. Quatre classes des pentes ont été attribuées : Pentes faibles (P ≤ 5%) ; pentes moyenne (5% < P ≤ 15%) ; pentes fortes (15% < P ≤ 25%) et pentes très fortes (P < 25%). La carte des pentes (figure 11) révèle une distribution très particulière de l›amont vers l›aval, contrôlée à la fois par la lithologie et la tectonique. La partie Sud et Ouest du bassin est caractérisée par la prédominance des pentes très fortes et fortes (ayant respectivement 11% et 9% de la surface du bassin), qui sont typiques de la chaîne occidentale de l'Anti-Atlas, constituée par des affleurements géologiques anciens du précambrien et cambrien. Les pentes moyennes (occupent 27%) sont prédominantes au niveau du piedmont, au contact de la chaine Anti-Atlasique avec la plaine de Tiznit, sont constituées par des cônes de déjections d'âge quaternaire emboités contre le talus bordier. Quant aux pentes faibles (54% de surface), elles occupent les formations quaternaires de la plaine de Tiznit.

En générale, la répartition des pentes du BVOA est équilibrée, la partie amont du bassin est caractérisée par des pentes moyennes, forte et très forte (47% du bassin) avec des reliefs accidentés, ce qui va augmenter la vitesse d'écoulement au niveau des affluents et par conséquent des crues soudaines ce qui causera une forte érosivité du substrat géologique. En revanche, la pente devient faible en aval du bassin, ce qui réduira la vitesse d'écoulement dans les oueds, favorisant la formation des zones inondables et encourage le dépôt des sédiments transportés.

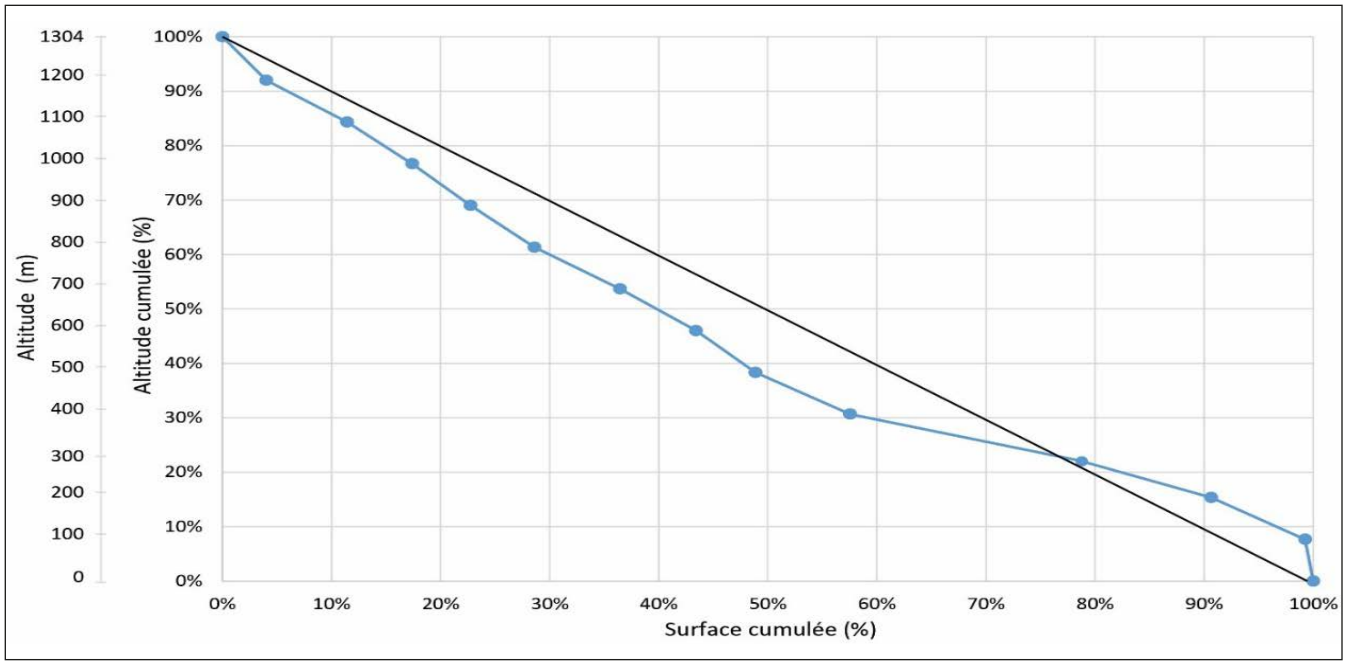


Figure 10. Courbe hypsométrique du BVOA avec la distribution surface-altitude égale selon la méthode de Bannister (1980). Source: propre élaboration.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09

Tableau 2. Altitudes caractéristiques du bassin versant de l'oued Adoudou.

H_{max}	H_{min}	$H_{5\%}$	$H_{95\%}$	$H_{médiane}$	H_{moy}
1304 m	0 m	1280 m	200 m	530 m	586 m

Source: propre élaboration.

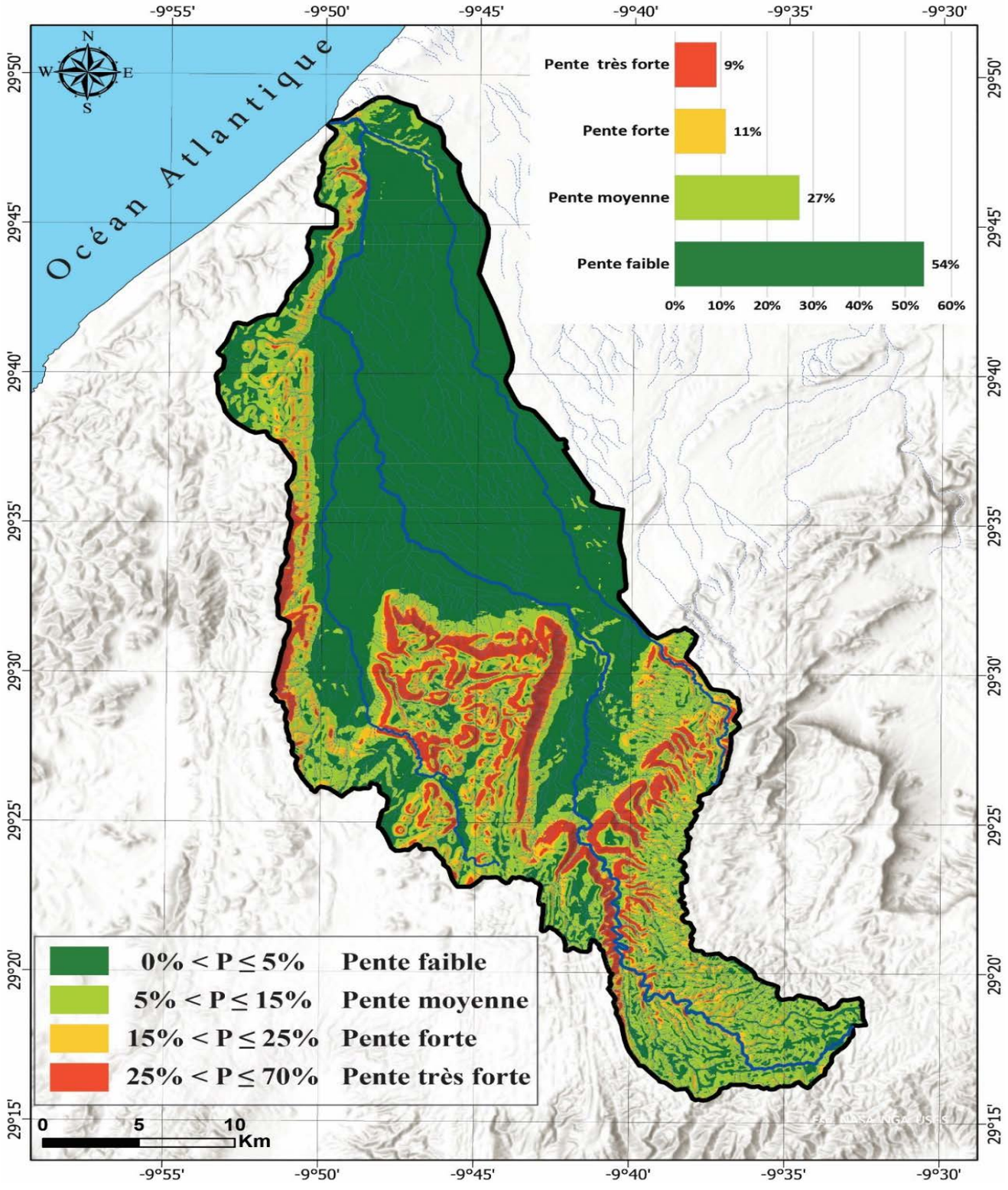


Figure 11. Carte des pentes du bassin versant de l'oued Adoudou. Source: propre élaboration basée sur le traitement du MNT à l'aide de SIG.

© Editorial Universidad de Sevilla 2024 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09

4.3. Paramètres hydrographiques

La classification de Strahler a été réalisée manuellement lors de la numérisation de chaque cours d'eau en saisissant la valeur de son ordre dans la table attributaire. Cette dernière révèle que le BVOA est désigné comme un bassin de septième ordre, avec un total de 2876 cours d'eau et d'une longueur totale de 1944.13 Km. Les cours d'eau du 1er ordre constitué la majorité des drains de la zone avec environ 78% avec une longueur totale de 1025.05 Km; 17.3% pour le 2ème ordre avec une longueur de 425.47 Km; 3.7% pour le 3ème ordre avec une longueur de 205.39 Km ; 1% pour le 4ème ordre avec une longueur de 161.42 Km; 0.17% pour le 5ème ordre avec une longueur de 63.23 Km; 0.07% pour le 6ème ordre avec une longueur de 41.18 Km et 0,03% pour le 7ème ordre avec une longueur de 22.39 Km (tableau 3).

Tableau 3. Caractéristiques du réseau hydrographique de bassin versant de l'oued Adoudou.

Ordre de Strahler	Nombres des cours d'eau	Longueurs des cours d'eau (Km)	% du nombre des cours d'eau	% des longueurs	Longueur moyenne (km)
1	2236	1025.05	77.75	52.73	0.46
2	498	425.47	17.32	21.88	0.85
3	105	205.39	3.65	10.56	1.96
4	29	161.42	1.01	8.30	5.57
5	5	63.23	0.17	3.25	12.65
6	2	41.18	0.07	2.12	20.59
7	1	22.39	0.03	1.15	22.39
Total	**2876**	**1944.13**	**100**	**100**	**64.46**

Source: propre élaboration basée sur la digitalisation du réseau hydrographique à l'aide de SIG.

La distribution spatiale du réseau hydrographique (figure 12) montre une désorganisation typique de ce dernier qui peut s'expliquer par plusieurs facteurs géologique, structurale, topographique et climatique. Deux zones géographiques peuvent être distinguées selon la densité et la typologie du réseau hydrographique sont:

- L'amont du bassin caractérisé par un réseau dense de type dendritique avec une morphologie arborescente cela due à la pente forte et la nature géologique des affleurements. Le régime d'écoulement possède un caractère torrentiel et la présence d'un grand nombre de cours d'eau signifie que la surface est en cours d'érosion ;
- À l'aval, le réseau hydrographique est moins développé du type parallèle, ainsi que la présence du systèmes endoréiques (les gens de la région les nomes 'TALAT'), ils peuvent communiquer exceptionnellement lors des grandes crues et induit un écoulement en nappe (Ouammou, 1993). Le réseau est contrôlé par des terrains géologiques du Plio-Quaternaire de forte perméabilité associe avec des pentes faibles et des pentes moyennes dans les zones de contact montagne-piémont.

Le rapport de confluence RC et le rapport d'allongement RL (tableau 4) montrent que le réseau hydrographique est très hiérarchisé, ainsi que la pente et la nature de substratum rocheux influencent sur la longueur des cours d'eau, lorsque la pente est faible et le substratum rocheux est perméable, seul un petit nombre de cours d'eau relativement longs sont formés. Par contre, un grand nombre de cours d'eau de plus petite longueur sont développés là où la pente est forte et le substratum est imperméable.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09

Tableau 4. Rapport de confluence Rc et Rapport des longueurs Rl du bassin versant de l'oued Adoudou.

Ordre u	Nu	RC	Lu	Lum	RL
1	2236	4.49	1025.05	0.46	-
2	498	4.74	425.47	0.85	1.85
3	105	3.62	205.39	1.96	2.31
4	29	5.8	161.42	5.57	2.84
5	5	2.5	63.23	12.65	2.27
6	2	2	41.18	20.59	1.63
7	1	-	22.39	22.39	1.09
	RC moy	**3.86**		**RL moy**	**2**

Source: propre élaboration.

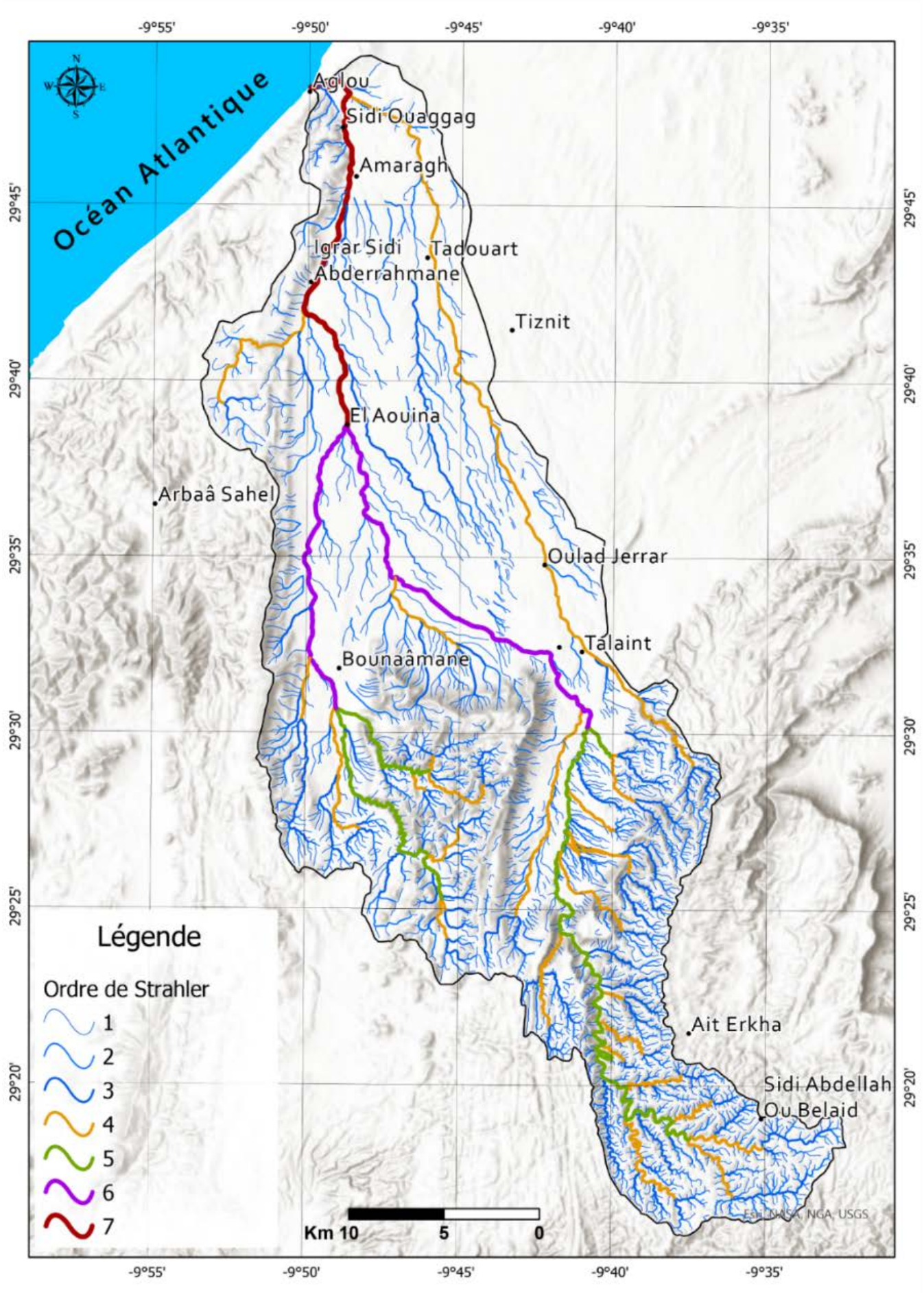


Figure 12. Hiérarchie du réseau hydrographique de BVOA selon l'ordre de Strahler. Source: propre élaboration basée sur la digitalisation du réseau hydrographiques à partir des cartes topographiques 1/50000.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09

La densité hydrographique égale a Fs = 3.45 Km-2 révèle que le bassin présente un régime d'écoulement important lors d'une averse. La densité de drainage Dd est de 2.33 Km/Km^2 ce qui signifier que le bassin dans son ensemble est bien drainé. Par la suit l'indice d'infiltration est élevé égal à 8.03 reflétant un ruissellement important et la capacité du bassin à absorber et à retenir l'eau par infiltration est faible.

La figure 13 illustre la carte de la répartition spatiale de la densité de drainage dans l'aire du bassin versant avec 5 classes comme suit : très faible (Dd ≤ 1 Km/Km^2) ; faible (1 Km/Km^2 < Dd ≤ 1.5 Km/Km^2) ; moyenne (1.5 Km/Km^2 < Dd ≤ 2 Km/Km^2) ; forte (2 Km/Km^2 < Dd ≤ 2.5 Km/Km^2) et très forte (Dd < 2.5 Km/Km^2). La partie amont du bassin se caractérise par une très forte densité de drainage, ce qui s'explique par la forte pente et un substrat semi-perméable. À l'aval, où le substrat est perméable à semi-perméable et la pente faible, la densité de drainage est généralement moyenne dans les zones drainées par l'oued Adoudou. Elle est toutefois forte au niveau des confluences, et faible dans les autres secteurs de la plaine. Les fortes et très fortes densités de drainage occupent plus que la moitié de la surface du BVOA (57%), les faibles et très faibles classes occupent 22% du bassin et la classe moyenne de la densité de drainage occupe 21%.

Les pentes moyennes des cours d'eau calculées montrent que l'oued Adoudou présente une pente moyenne de 1.3%, tandis que ses affluents, oued Bounaâmane et oued Tamdroust, présentent des pentes moyennes importantes, respectivement de 1.8% et 2% (tableau 5).

Tableau 5. Caractéristiques et pente moyenne de l'Oued Adoudou et ses affluents.

	H_{max} (m)	H_{min} (m)	L (km)	P_{moy} (m/km)	P_{moy} (%)
O. Adoudou	1300	0	97.3	13.4	1.3
O. Bounaâmane	970	254	39.7	18	1.8
O. Tamdroust	1150	64	55	20	2

Source: propre élaboration.

Les profils longitudinaux (figure 14) révèlent des formes plus ou moins concaves avec la présence de ruptures de pente. Pour l'oued Tamdroust, le profil est régulier avec une forte concavité, tandis que l'oued Adoudou et l'oued Bounaâmane présentent des profils accidentés avec des ruptures de pente brusques. Dans la partie amont du bassin, les profils longitudinaux sont caractérisés par une forte pente par rapport à l'aval, cette différenciation est due aux caractéristiques géologiques comme on a indiqué précédemment. Suite à cette observation, les profils ont été subdivisés en deux domaines : le domaine de l'Anti-Atlas occidental (Amont) ; et le domaine du plain de Tiznit (Aval). En amont, les pentes moyennes des cours d'eau sont très fortes allant de 4.2% pour l'oued Tamdroust, 2.6% pour l'oued Bounaâmane, 1.6% pour l'oued Adoudou. Par contre, en aval, elles deviennent faibles égales à 1.1% pour tous les cours d'eau (tableau 6). Cela reflète l'impact des caractéristiques géologiques et topographiques sur les cours d'eau entre les deux domaines, expliquant pourquoi le bassin versant de l'oued Adoudou est connu pour ses crues torrentielles.

La figure 15 présente les profils longitudinaux de l'oued Adoudou et de ses affluents en lien avec la géologie, dans le but de souligner l'influence de celle-ci sur les pentes des talwegs. Il convient de noter que cette illustration ne reflète ni les pendages des couches, ni leurs épaisseurs, ni la direction des failles. L'analyse du profil longitudinal de l'oued Adoudou (figure 15.a) met en évidence des variations morphologiques significatives, influencées par la géologie et la tectonique. Dans ses 3 premiers kilomètres, l'oued présente une légère concavité avant de devenir rectiligne avec une pente moyenne. Ce tronçon, long de 34 km, est affecté par plusieurs failles orientées ENE-WSW et NE-SW, ainsi que par des ruptures de pente en escalier, et est incisé dans des formations carbonatées comprenant des calcaires de l'Adoudounien et du Cambrien inférieur. Entre 34 et 37 km, à la sortie de la chaîne montagneuse, l'oued Adoudou marque une chute brutale, témoignant d'une rupture de pente importante dans les calcaires géorgiens, fossilisée par les travertins de cascade. À cet endroit, une faille majeure orientée NE-SW coïncide avec le talus bordier. Au niveau de la jonction avec la plaine, et après avoir parcouru 50 km, il s'encaisse dans les cônes de déjection et les calcaires lacustres de Tiznit avec une pente quasiment moyenne. Tout au long de son parcours, l'oued

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09

Adoudou est bien encaissé au sein les formations géologiques traversées. Cependant, avant d'atteindre le village d'Igrar n'Sidi Abderrahmane, la pente longitudinale de l'oued devient faible et le lit fluvial, auparavant encaissé, devient superficiel. Cette évolution induit une diminution de la vitesse d'écoulement, à l'origine d'une zone inondable par excellence, favorisant le dépôt des sédiments fins transportés. Ces derniers, en s'accumulant, recouvrent progressivement le lit de l'oued Adoudou, participant à la genèse d'une zone fertile pour l'agriculture (photo 5).

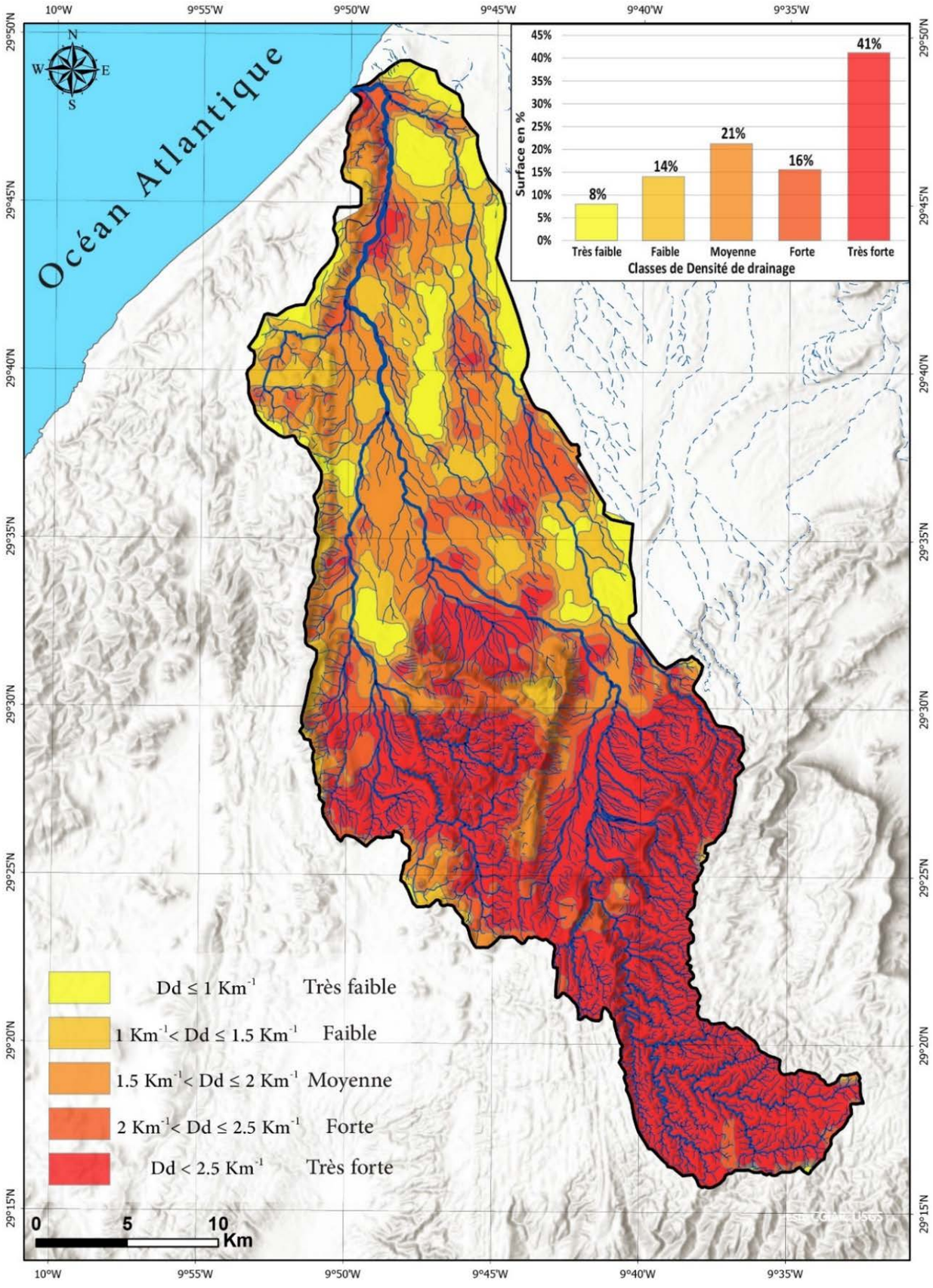


Figure 13. Carte de la densité de drainage du Bassin de l'oued Adoudou. Source: propre élaboration.

© Editorial Universidad de Sevilla 2024 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09

Tableau 6. Pentes moyennes de l'Oued Adoudou et ses affluents entre l'Amont et l'Aval.

		H_{max} (m)	H_{min} (m)	L (km)	P_{moy} (m/km)	P_{moy} (%)
Oued Adoudou	Amont	1300	500	49.8	16	1.6
	Aval	500	0	47.5	11	1.1
Oued Bounaamane	Amont	970	500	17.8	26	2.6
	Aval	500	254	21.9	11	1.1
Oued Tamdroust	Amont	1150	500	15.6	42	4.2
	Aval	500	64	39.4	11	1.1

Source: propre élaboration.

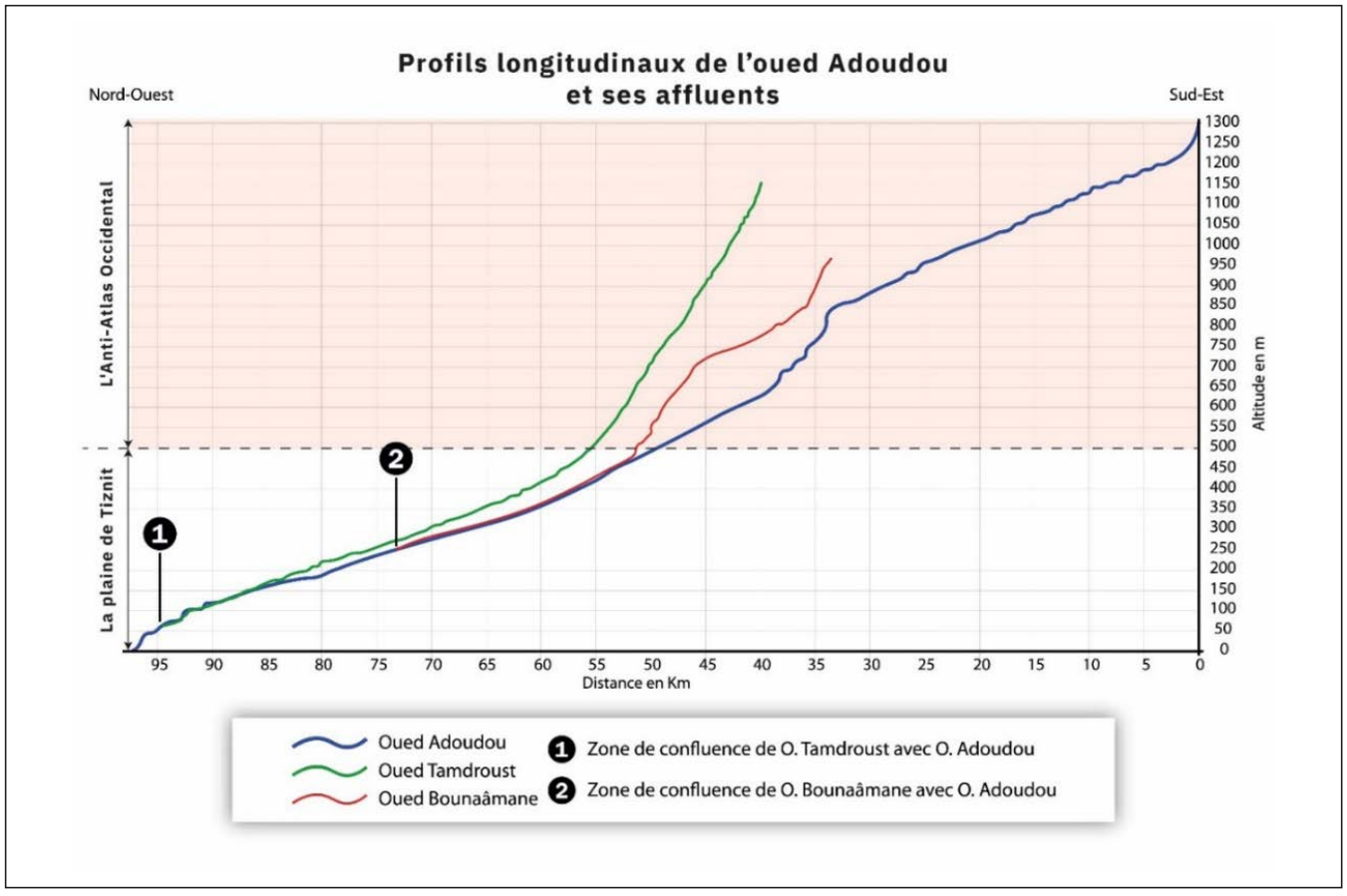


Figure 14. Profils longitudinaux de l'Oued Adoudou et ses affluents. Source: propre élaboration basée sur les cartes topographiques de la région.

Après 85 km, la pente du lit de l'oued Adoudou devient moyenne, entraînant une accélération de la vitesse d'écoulement. Cette accélération provoque une érosion régressive, permettant ainsi à l'oued Adoudou de s'encaisser à reculons de plus en plus dans les calcaires lacustres et de grignoter les travertins sur son passage de manière régressive (figure 16). Dans les derniers 10 km de son parcours au niveau de Zaouiya Sidi Ouaggag, la pente devient importante, avec plusieurs ruptures soulignées par des travertins à l'embouchure de l'oued, sur des accidents tectoniques. Cette configuration accroît la vitesse du ruissellement, menaçant le village de Sidi Ouagag.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09



Photo 5. Lit mineur de l'Oued Adoudou à Igrar n'Sidi Abderrahmane. Source: enquête de terrain, le 24 février 2023.

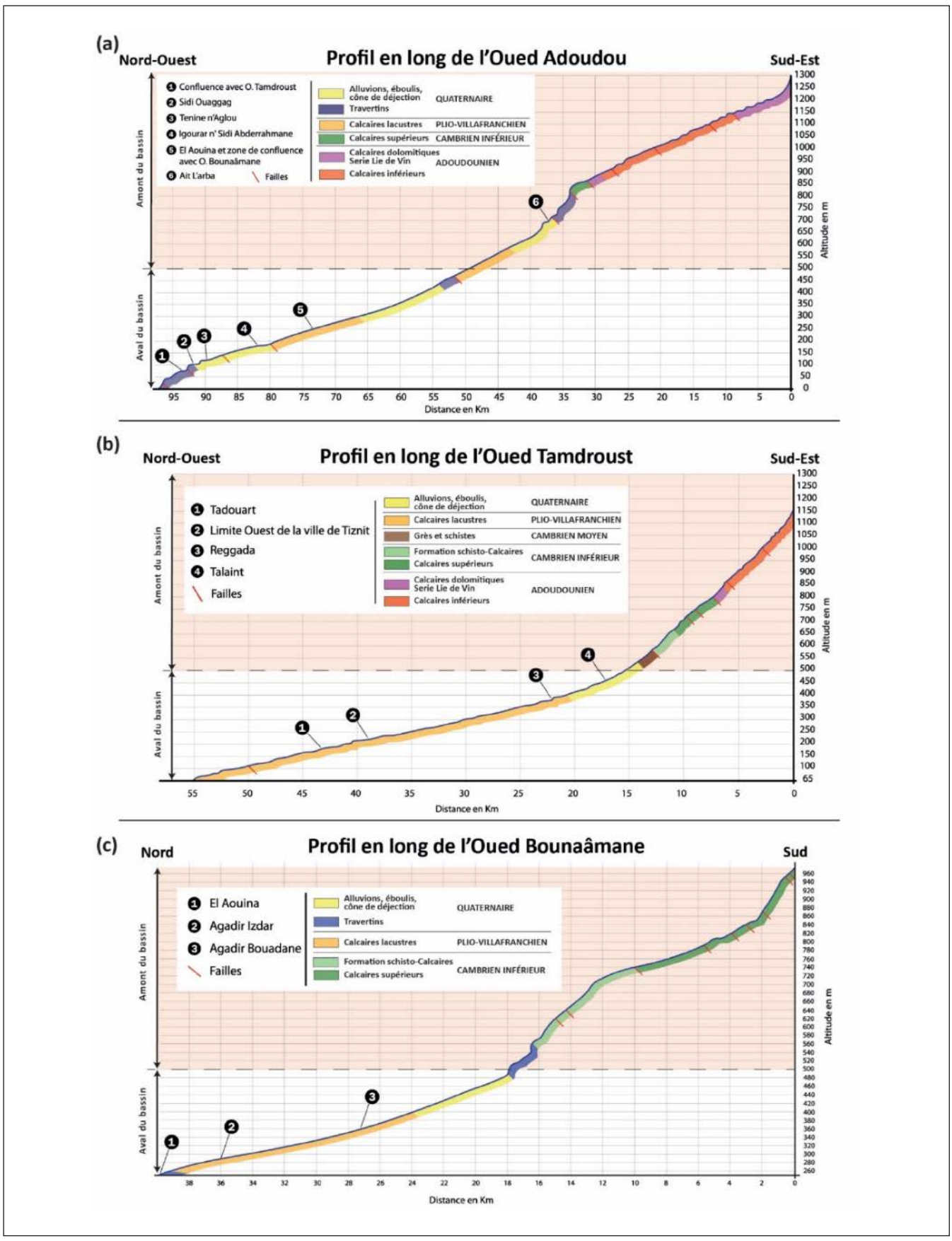


Figure 15. Profils en longs avec la geologie: a. Oued Adoudou ; b. Oued Tamdroust ; c. Oued Bounaâmane. Source: Propre élaboration basée sur les cartes topographiques et géologiques de la région.

© Editorial Universidad de Sevilla 2024 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09

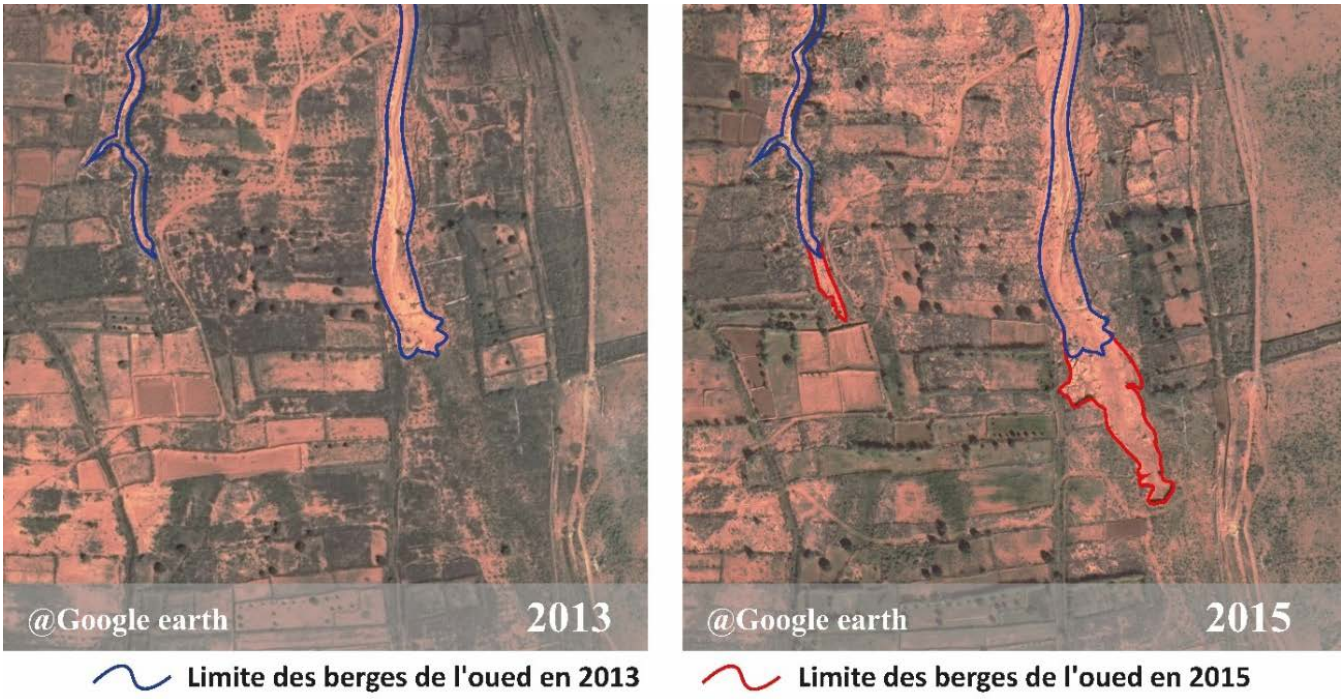


Figure 16. Évolution de l'érosion régressive au niveau de l'Oued Adoudou entre 2013 et 2015. Source: propre élaboration basée sur l'analyse des images de Google Earth.

Concernant l'oued Tamdroust, il prend naissance dans le Kerdous, où il présente une pente forte et régulière, creusant les formations dures du Précambrien et du Cambrien inférieur. Après sa sortie du domaine Anti-Atlasique, l'oued Tamdroust tranche les cônes de déjection dans son passage vers l'aval avec une pente moyenne, après il continue son cheminement incisant les calcaires lacustres avec une pente faible jusqu'à ce qu'il rejoigne l'oued Adoudou à 2 km de l'océan Atlantique (figure 15.b).

L'oued Bounaâmane prend sa source sur le plateau de Lakhssas et s'écoule en direction de la plaine de Tiznit. Dans sa partie amont, il présente une pente très forte sur les deux premiers kilomètres. Entre 2 km et 10 km de son parcours, le profil montre une pente moyenne traversant les calcaires supérieurs du Cambrien inférieur. Entre 10 km et 16 km de longueur, la pente du profil longitudinal redevient forte, traversant les formations schisto-calcaires du Cambrien inférieur. Au débouché de la montagne et au niveau du talus bordier, la pente devient très abrupte et est marquée par des complexes de travertins successifs, formant des cascades en escalier. Cette partie amont est également affectée par un faisceau de failles d'orientation NE-SO. Dans sa partie aval, entre 18 km et 24 km de longueur, l'oued Bounaâmane traverse des formations quaternaires composées de cônes de déjection, d'éboulis et d'alluvions. Cette section est caractérisée par des pentes moyennes. Par la suite, il entaille les calcaires lacustres de Tiznit avant de rejoindre l'oued Adoudou au niveau d'El Aouina (figure 15.c).

5. DISCUSSION

Du point de vue géométrique, le bassin versant de l'oued Adoudou se caractérise par une superficie importante de 834.7 Km^2. Les résultats de l'indice de compacité, le rapport de circularité et le rapport d'allongement indiquent une forme très allongée du bassin. De plus, le rectangle équivalent met en évidence que la longueur du bassin est 8 fois plus grande que sa largeur, confirmant ainsi la forme allongée du bassin. Selon Roche (1963), la forme allongée du bassin entraîne une réponse hydrologique lente. Cette interprétation semble logique pour les petits bassins avec des caractéristiques géomorphologiques homogènes. Cependant, la dynamique de ruissellement dans les grands bassins est régie principalement

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09

par l'hétérogénéité de ces caractéristiques géomorphologiques. Ce qui se concrétise surtout dans un contexte aride où le couvert végétal et les sols sont fortement dégradés, limitant la rétention des eaux de ruissellement lors d'une averse.

La réponse hydrologique d'un bassin versant pour une pluie donnée ne dépend pas seulement de sa forme, mais elle est influencée par sa nature topographique (relief et pente) et hydrographique. Les résultats obtenus des paramètres topographiques montrent que le bassin versant de l'oued Adoudou est marqué par des pentes fortes et des altitudes élevées en amont, tandis que dans la partie aval, elles sont plus faibles. Ces variations topographiques sont dues aux facteurs géologiques et tectoniques caractérisant la zone d'étude. Malgré sa forme allongée qui va impacter le temps de concentration d'écoulement qui cheminera d'une manière lente vers l'exutoire, les caractéristiques topographiques de la partie amont favorisent la génération de crues soudaines avec une forte capacité d'érosion. Par contre, la partie aval marquée par des pentes et relief faibles, agit comme une zone réceptrice, propice à la propagation des zones inondables et à l'accumulation des sédiments. Les caractéristiques topographiques figurent parmi les facteurs les plus déterminants, influençant le comportement d'écoulement du bassin lors d'une averse (Romshoo *et al.*, 2012; Abdulkareem *et al.*, 2018). L'analyse des paramètres hydrographiques révèle que le bassin versant de l'oued Adoudou possède une hétérogénéité du drainage entre l'amont et l'aval à cause de la différentiation lithologique et tectonique sans oublier le rôle du relief et la pente (Nait-Si *et al.*, 2022). La partie amont possède un réseau de drainage de très forte densité, bien hiérarchisé avec une typologie dendritique, combinée avec un relief élevé et des pentes abruptes. En opposition, la partie aval est caractérisée par un réseau de moyen à faible densité de drainage et mal hiérarchisé, témoignant l'influence d'un substrat perméable et des pentes faibles. Ces caractéristiques encadrent la génération de crues torrentielles et le transport de charges solides de l'amont vers l'aval, menaçant ainsi la population et l'infrastructure hydraulique.

L'analyse des profils longitudinaux de l'oued Adoudou et de ses principaux affluents, met en évidence l'influence géologique et structurale sur les pentes moyennes des cours d'eau. Dans la partie amont, l'oued Adoudou et ses principaux affluents présentent des pentes moyenne forte avec plusieurs ruptures de pente, ce qui témoigne l'effet de la tectonique et la lithologie dure. Par contre en aval, ils sont caractérisés par des faibles pentes moyennes ruisselés sous des formations géologiques perméables, les ruptures de pente sont observées particulièrement à l'embouchure de l'oued Adoudou au niveau de Zaouiya Sidi Ouaggag, elles sont principalement dues à la présence de travertins, qui jouent un rôle déterminant dans la dynamique fluviale.

En générale, le bassin versant de l'oued Adoudou caractérisé par une géomorphologie contrastée entre deux domaine amont et aval, ce qui contrôle la typologie et la densité du réseau de drainage. La réponse hydrologique du bassin face à un événement pluviométrique est fortement influencée par plusieurs facteurs: géologiques, topographiques et hydrographiques. La partie amont, avec ses fortes pentes et son relief montagneux, présente une forte densité de drainage, favorisant un écoulement rapide et abondant. En revanche, la partie aval est caractérisée par une pente douce et une faible densité de drainage, ce qui crée une disparité hydrologique marquée.

Cette complexité hydro-morphométriques, géomorphologiques et anthropiques qui caractérise le bassin versant de l'oued Adoudou, met en évidence une vulnérabilité accrue aux risques hydrologiques, notamment en aval du bassin. L'événement hydro-météorologique extrême du novembre 2014 qui a affecté notre zone d'étude, s'est caractérisé par des précipitations journalières de forte intensité en amont par rapport à l'aval au cours des dix derniers jours du mois. Avec des extrêmes ont été enregistrées le 28 novembre de: 155.3 mm enregistre à Amaghouz (Amont), 92.9 mm à YoussefIbnt Tachfin, 83.3 mm à Ouijjane et 54 mm à Tiznit (Aval) (Nait-Si *et al.*, 2024). Cette situation météorologique rare, révèle l'influence des caractéristiques hydro-morphométriques typique du bassin sur la genèse, l'intensité et la propagation des crues soudaines (photo.6), entrainant des dégâts très importants en aval du bassin (photo 7 et photo 8), d'où les zones les plus affectées se situent dans la commune de Tnine d'Aglou, notamment dans les plaines alluviales de l'oued Adoudou entre El Aouina en amont et Zaouiya Sidi Ouaggag en aval (figure 17 et figure 18).

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09



Photo 6. Débordement de l'oued Adoudou, le 28 novembre 2014 au niveau de Zaouiya Sidi Ouaggag. Source: Facebook.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09

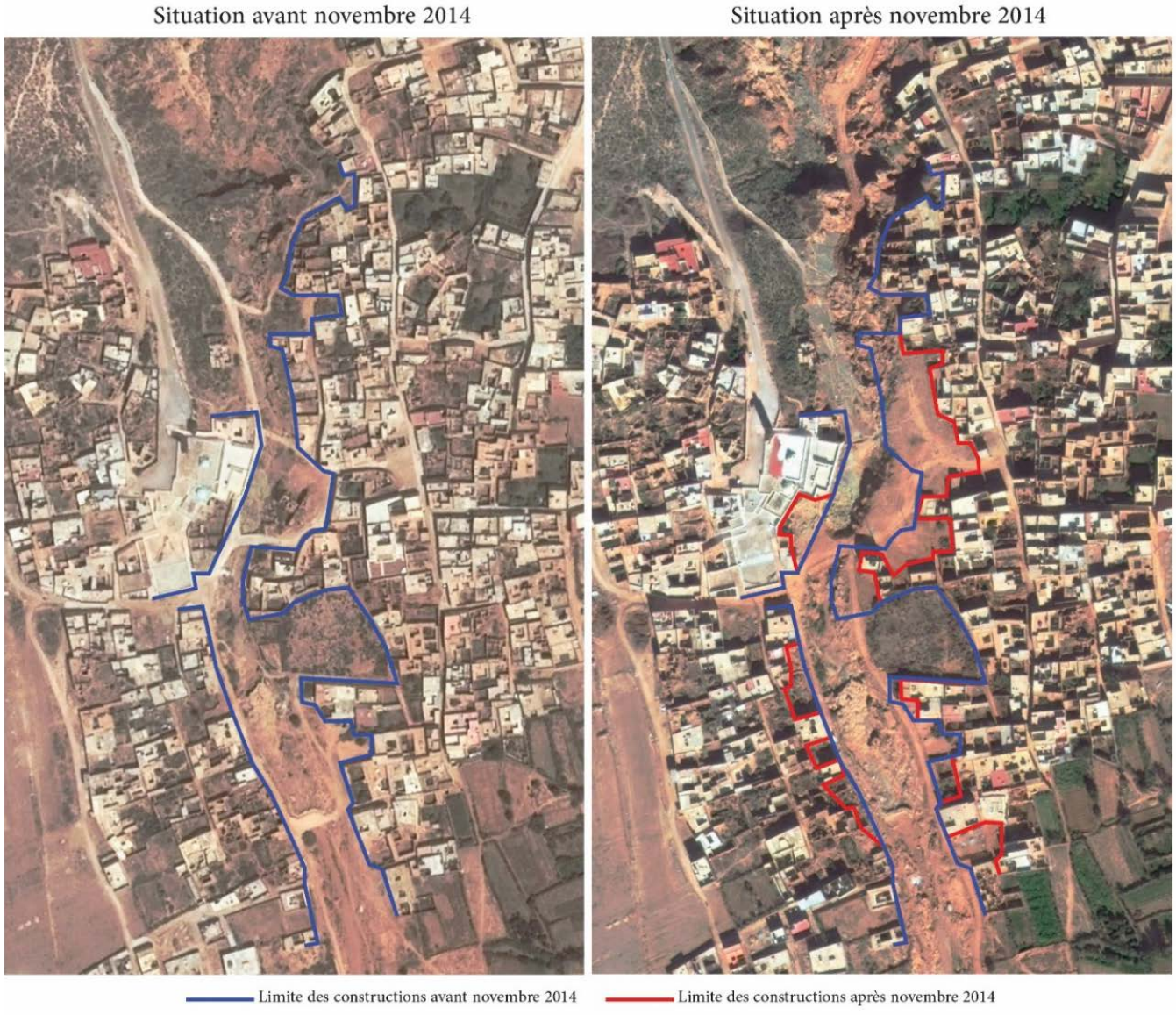


Figure 17. Dégâts causés par les inondations du novembre 2014 au niveau de Zaouiya Sidi Ouaggag. Source: propre élaboration basée sur l'analyse des images chronologique de Google Earth.



Photo 7. Dégâts causés par les inondations du novembre 2014 au niveau de Zaouiya Sidi Ouaggag. Source: Facebook.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09

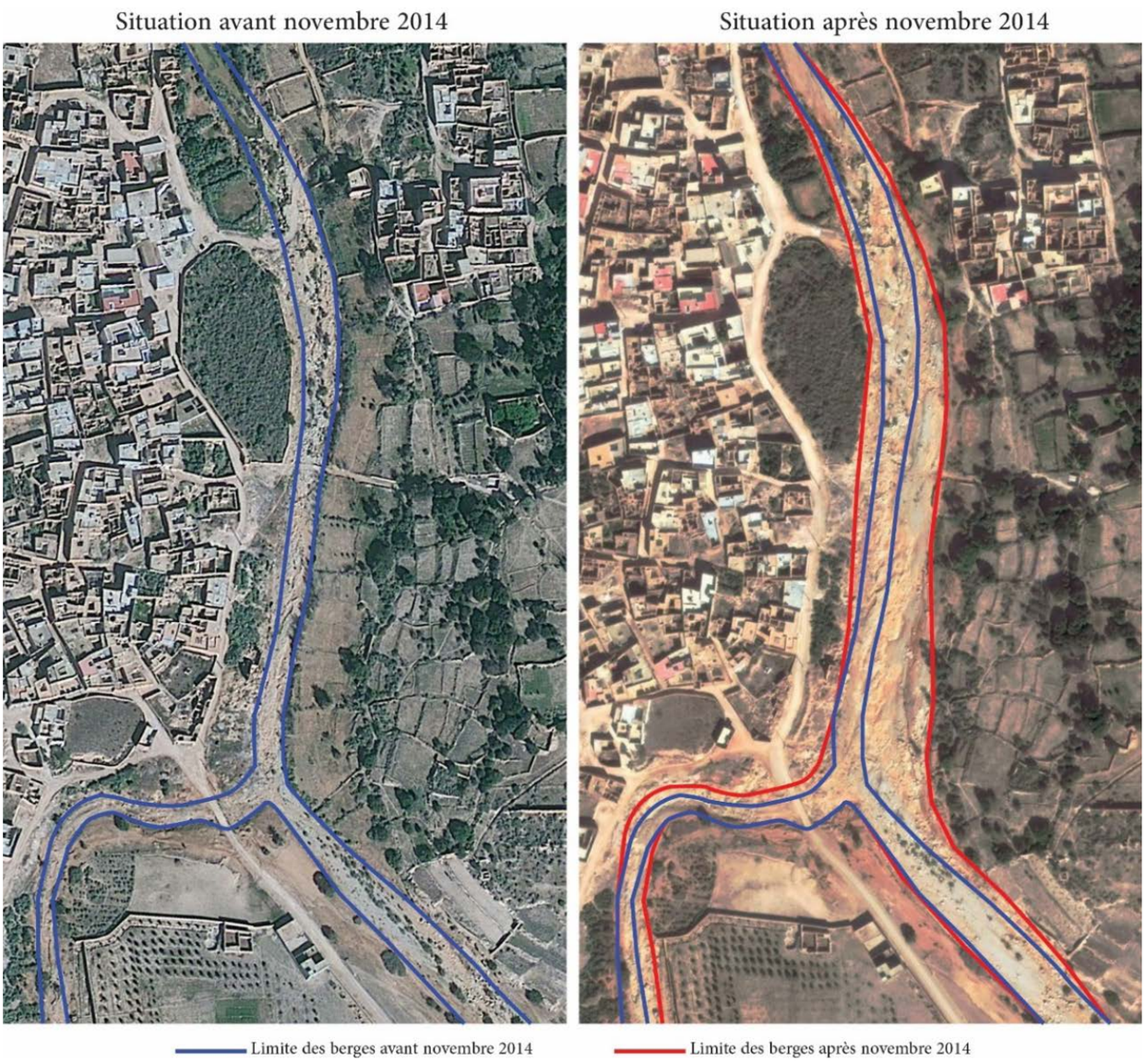


Figure 18. Érosion des berges très importantes des terres agricoles causes par l›événement du novembre 2014 au niveau d›El Aouina. Source: propre élaboration basée sur l'analyse des images chronologique de Google Earth.



Photo 8. Pont détruit par les crues de novembre 2014 au niveau d'El Aouina. Source: https://tiznit24.com

© Editorial Universidad de Sevilla 2024 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09

6. CONCLUSION

Cette étude met en évidence le rôle primordial de l'analyse spatial par l'outil SIG dans la cartographie et l'évaluation des caractéristiques hydro-morphométriques. La délimitation précise du bassin versant de l'oued Adoudou, ainsi que la numérisation du réseau hydrographique à partir des cartes topographiques 1/50.000ème et la correction hydrologique du MNT brut ont permis de construire une base de données fiable pour le calcul des indices hydro-morphométriques. Cette dernière, contribue à améliorer la précision des résultats, assurant ainsi la justesse des interprétations visant à comprendre la réponse hydrologique et à identifier les importants facteurs influençant les risques hydrologiques dans notre bassin.

Pour un bassin non jaugé, l'analyse hydro-morphométrique constitue une méthode clé pour comprendre l'influence des paramètres morphométriques et hydrographiques sur son comportement hydrologique. Cette approche représente un défi majeur en raison de l'étendue du bassin étudié et de la diversité de ses caractéristiques géomorphologiques. Les indices calculés à l'échelle de l'ensemble du bassin offrent une vision globale de sa dynamique hydrologique, permettant ainsi d'identifier les facteurs géomorphologiques pertinents influençant la genèse des crues torrentielles.

Le bassin versant de l'oued Adoudou présente un relief très diversifié, avec une structure en plateau étagé en aval et un relief montagnard accidenté en amont. La partie amont bénéficie à la fois de l'effet orographique et des averses plus intenses que celles affectant l'aval. Malgré sa configuration allongée, le bassin versant de l'oued Adoudou se distingue par des écoulements torrentiels, principalement dus aux facteurs géologiques, topographiques et hydrographiques qui amplifient les risques hydrologiques en cas d'averse. Deux zones distinctes peuvent être identifiées en fonction des variations topographiques et hydrologiques : la zone amont, dominée par un relief montagneux, des pentes abruptes, des affleurements rocheux durs accidentés et une densité élevée d'écoulements, ces facteurs favorise un ruissellement torrentiel abondant, chargé en matériaux solides. Ces apports torrentiels sont acheminés vers l'aval du bassin, qui agit comme récepteur de ces crues, accentuant l'érosion hydrique des terres arables et provoquant des inondations dans les plaines alluviales urbanisées, posant ainsi un risque significatif dans les zones urbanises et sur l'infrastructure. Les résultats obtenus peuvent contribuer à une meilleure compréhension du mode de drainage et du fonctionnement hydrologique du bassin versant de l'oued Adoudou. De plus, ils peuvent servir à anticiper les risques hydrologiques associés aux crues torrentiels du bassin versant.

Responsabilité et conflit d'intérêts

Les auteurs s'engagent à divulguer tout conflit d'intérêts existant ou potentiel en relation avec la publication du présent article. Par ailleurs, les contributions des auteurs se présentent de la manière suivante: i) Hassan Nait-Si a assumé les tâches de la recherche bibliographique, l'élaboration de la méthodologie, collectes et analyses spatiale de données, la rédaction de l'article. ii) Il a de même assuré, en collaboration avec M'hamed Nmiss, Abdourrahmane Boukdoun et Mahjoub Benbih, l'élaboration des cartes a l'aide de l'outil SIG, la vérification et l'analyse des résultats, sortie de terrain, la traduction des résumés et la correction du manuscrit. iii) Mr. Abderrahmane Ouammou a assuré l'orientation et l'encadrement du travail, la sortie de terrain, révision, correction et validation du manuscrit.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09

RÉFÉRENCES

Abdulkareem, J. H., Pradhan, B., Sulaiman, W.N.A., & Jamil, N.R. (2018). Quantification of Runoff as Influenced by Morphometric Characteristics in a Rural Complex Catchment. *Earth Systems and Environment*, 2(1), 145–162. https://doi.org/10.1007/s41748-018-0043-0

Alam, A., Ahmed, B., & Sammonds, P. (2021). Flash flood susceptibility assessment using the parameters of drainage basin morphometry in SE Bangladesh. *Quaternary International*, *575–576*, 295–307. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.04.047

Bannister, E.N. (1980). Hypsometries of Michigan's Southeastern Lake Plain. *Journal of Great Lakes Research*, 6(2), 154–163. https://doi.org/10.1016/S0380-1330(80)72094-4

Bashir, B. (2023). Morphometric Parameters and Geospatial Analysis for Flash Flood Susceptibility Assessment: A Case Study of Jeddah City along the Red Sea Coast, Saudi Arabia. *Water*, *15*(5). https://doi.org/10.3390/w15050870

Bravard, J.-P., & Petit, F. (1997). *Les cours d'eau, dynamique du système fluvial*. Armand Colin.

Cartier, L., & Leclerc, A. (1964). *Rivière Eaton, affluent de la Saint-François: Caractéristiques topographiques du bassin versant*. Ministère des richesses naturelles du Québec, Service d'hydrometrie.

Chavare, S., & Shinde, S. D. (2013). Morphometric analysis of Urmodi basin, Maharashtra using geo-spatial techniques. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, *4*(1), 224–231.

Choubert, G. (1963). Histoire géologique du précambrien de l'Anti-Atlas. *Notes et Mémoires, Service Géologique*. N°162, Maroc.

Dofee, A.A., Chand, P., & Kumar, R. (2024). Prioritization of soil erosion-prone sub-watersheds using geomorphometric and statistical-based weighted sum priority approach in the middle Omo-Gibe River basin, Southern Ethiopia. *International Journal of Digital Earth*, *17*(1), 2350198. https://doi.org/10.1080/17538947.2024.2350198

Dubreuil, P. (1964). *Contribution à l'étude d'implantation de bassins représentatifs de régions hydrologiques homogènes*. ORSTOM.

Esper Angillieri, M.Y. (2008). Morphometric analysis of Colangüil river basin and flash flood hazard, San Juan, Argentina. *Environmental Geology*, *55*(1), 107–111. https://doi.org/10.1007/s00254-007-0969-2

Faniran, A. (1968). The index of drainage intensity: A provisional new drainage factor. *Aust J Sci*, *31*(9), 326–330.

Gravelius, H. (1914). *Flusskunde. Goschen Verlagshan dlung Berlin. Morphometry of Drainage Basins*. Elsevier, Amsterdam.

Hajam, R.A., Hamid, A., Dar, N.A., & Bhat, S.U. (2013). Morphometric analysis of vishav drainage basin using geo-spatial technology (GST). *International Research Journal of Geology and Mining*, *3*(3), 136–146.

Horton, R.E. (1932). Drainage-basin characteristics. *Transactions, American Geophysical Union*, *13*(1), 350–361. https://doi.org/10.1029/TR013i001p00350

Horton, R.E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, *56*(3), 275–370. https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2

Kumar, A., & Mukherjee, S. (2005). Drainage morphometry using satellite data and GIS in Raigad district, Maharashtra. J *Geol Soc India*, 65, 577–586.

Lasri, M. (2015). *Les inondations menaçant l'agglomération de Fès: De l'étude hydrologique et du risque à la cartographie des dangers d'inondation* [Université sidi mohamed ben abdellah, Faculté des lettres et des sciences]. https://toubkal.imist.ma/handle/123456789/11762

Magesh, N.S., & Chandrasekar, N. (2014). GIS model-based morphometric evaluation of Tamiraparani subbasin, Tirunelveli district, Tamil Nadu, India. *Arabian Journal of Geosciences*, *7*(1), 131–141. https://doi.org/10.1007/s12517-012-0742-z

Magesh, N.S., Jitheshlal, K.V., Chandrasekar, N., & Jini, K.V. (2012). GIS based morphometric evaluation of Chimmini and Mupily watersheds, parts of Western Ghats, Thrissur District, Kerala, India. *Earth Science Informatics*, *5*(2), 111–121. https://doi.org/10.1007/s12145-012-0101-3

Mani, A., Kumari, M., & Badola, R. (2022). Morphometric Analysis of Suswa River Basin Using Geospatial Techniques. *Engineering Proceedings*, *27*(1). https://doi.org/10.3390/ecsa-9-13225

Mansour, M. M., Nasr, M., Fujii, M., Yoshimura, C., & Ibrahim, M. G. (2023). Quantification of Flash Flood Runoff Volume Using Morphometric Parameters Towards Sustainability. In K. Ujikawa, M. Ishiwatari, & E. van Hullebusch (Eds.), *Environment and Sustainable Development* (pp. 79–91). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-99-4101-8_6

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09

Mashauri, F., Mbuluyo, M., & Nkongolo, N. (2023). Influence des paramètres hydro-morphométriques sur l'écoulement des eaux des sous-bassins versants de la Tshopo, République démocratique du Congo. *Revue Internationale de Geomatique*, *32*(0), 79–98. https://doi.org/10.32604/RIG.2023.044124

Miller, V. C. (1953). *Quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee. Technical Report* (Columbia University. Department of Geology); No. 3.

Nait-Si, H., Ouammou, A., Boukdoun, A., & Benbih, M. (2024). Variabilité et occurrence des pluies journalières maximales annuelles: Cas du bassin versant de l'oued Adoudou. *Acte du colloque international sur les risques hydroclimatiques et géomorphologiques : typologie, cartographie et gestion*, FLSH Oujda, Maroc.

Nait-Si, H., Ouammou, A., & Nmiss, M. (2022). Apport du SIG dans l'analyse physique et hydrographique dans un bassin versant Anti-Atlasique. Cas du bassin versant de l'oued Adoudou. *Acte du colloque international sur les risques hydro-climatiques et géomorphologiques: typologie, cartographie et gestion, FLSH Oujda, Maroc*.

Naji, E. M., Aberkan, M., Saadane, A., & Nmiss, M. (2025). Erosion and shoreline retreat indicators in the Rabat-Salé littoral and their impact on coastal planning. *Journal of African Earth Sciences*, *223*, 105534. https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2025.105534

Nmiss, M., Amyay, M., Atiki, N., Ouammou, A., Benbih, M., & Nait-si, H. (2025). Seasonal morphological changes and grain size distribution mapping on the Massa beaches using a tachometer and *GIS. International Journal of Engineering and Geosciences*, *10*(2), Article 2. https://doi.org/10.26833/ijeg.1598677

Nmiss, M., Amyay, M., & Ouammou, A. (2021). Dynamique du trait de côte d'une plage peu anthropisée cas de la plage Sidi Ouassai, Massa (Maroc Atlantique). *Colloque International: La Dynamique de l'Environnement et Les Risques Naturels En Milieux Méditerranéens*, FLSH Oujda, Maroc.

Oliva, P. (1972). Aspects et problèmes géomorphologiques de l'Anti-Atlas occidental. *Revue de Géographie Du Maroc*, (21), 48–77.

Ouammou, A. (1993). *Evolution morphologique récente du bas plateau de Tiznit (Maroc)* [PhD Thesis, Université Nancy 2]. https://theses.fr/1993NAN21024

Pande, C.B., & Moharir, K. (2017). GIS based quantitative morphometric analysis and its consequences: A case study from Shanur River Basin, Maharashtra India. *Applied Water Science*, 7(2), 861–871. https://doi.org/10.1007/s13201-015-0298-7

Rai, P.K., Mohan, K., Mishra, S., Ahmad, A., & Mishra, V.N. (2014). A GIS-based approach in drainage morphometric analysis of Kanhar River Basin, India. *Applied Water Science*, *7*(1), 217–232. https://doi.org/10.1007/s13201-014-0238-y

Raja Shekar, P., & Mathew, A. (2024). Morphometric analysis of watersheds: A comprehensive review of data sources, quality, and geospatial techniques. *Watershed Ecology and the Environment*, *6*, 13–25. https://doi.org/10.1016/j.wsee.2023.12.001

Rajasekhar, M., Raju, G.S., & Raju, R. S. (2020). Morphometric analysis of the Jilledubanderu River Basin, Anantapur District, Andhra Pradesh, India, using geospatial technologies. *Groundwater for Sustainable Development*, *11*, 100434. https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100434

Reddy, G. P. O., Maji, A. K., & Gajbhiye, K. S. (2004). Drainage morphometry and its influence on landform characteristics in a basaltic terrain, Central India – a remote sensing and GIS approach. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *6*(1), 1–16. https://doi.org/10.1016/j.jag.2004.06.003

Roche, M. (1963). *Hydrologie de surface*. Gauthier- Villars ORSTOM.

Romshoo, S. A., Bhat, S. A., & Rashid, I. (2012). Geoinformatics for assessing the morphometric control on hydrological response at watershed scale in the Upper Indus Basin. *Journal of Earth System Science*, *121*(3), 659–686. https://doi.org/10.1007/s12040-012-0192-8

Schumm, S.A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geological Society of America Bulletin*, *67*(5), 597–646. https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSAS]2.0.CO;2

Schumm, S.A. (1963). Sinuosity of alluvial rivers on the Great Plains. *Geological Society of America Bulletin*, *74*(9), 1089–1100. https://doi.org/10.1130/0016-7606(1963)74[1089:SOAROT]2.0.CO;2

Schumm, S.A. (1968). *River adjustment to altered hydrologic regimen, Murrumbidgee River and paleochannels, Australia* (Vol. 598). US Government Printing Office. https://doi.org/10.3133/pp598

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09

Singh, P., Thakur, J. K., & Singh, U.C. (2013). Morphometric analysis of Morar River Basin, Madhya Pradesh, India, using remote sensing and GIS techniques. *Environmental Earth Sciences*, *68*(7), 1967–1977. https://doi.org/10.1007/s12665-012-1884-8

Soulaimani, A., & Bouabdelli, M. (2005). Le Plateau de Lakhssas (Anti-Atlas occidental, Maroc): Un graben fini-précambrien réactivé à l'hercynien. *Annales de La Société Géologique Du Nord*, Tome II (2ème série), 177-184.

Strahler, A.N. (1952). Dynamic basis of geomorphology. *Geological Society of America Bulletin*, *63*(9), 923–938. https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[923:DBOG]2.0.CO;2

Strahler, A.N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, *38*(6), 913–920. https://doi.org/10.1029/TR038i006p00913

Strahler, A.N. (1964). *Quantitative geomorphology of drainage basin and channel networks*. Handbook of Applied Hydrology.

Taous, A. (2005). *Géomorphodynamique fluviale: Processus morphosédimentaires, ajustements spatio-temporels, paléoenvironnements et mutations récentes des espaces fluviaux*. Faculté des Lettres et des Sciences Humaines.

Triboulet, J. P., Chabi Gonni, D., Nouvelot, J.F., Lamachere, J.M., Puech, C., & Faures, J.M. (1996). *Crues et apports. Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche*.

Yazidi, A., & Benziane, F. (1991). *Carte géologique du Maroc. NH-29-IX-3—VIII-4, Tiznit [Map]*. Editions du Service géologique du Maroc.

Yazidi, A., & Destombes, J. (1992). *Carte géologique du Maroc 1:100,000. NH-29-IX-1, Bou Izakarn [Map]*. Editions du Service Géologique du Maroc.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09

Revista de Estudios Andaluces (REA) | Núm. 50, julio (2025) | e-ISSN: 2340-2776
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50 | © Editorial Universidad de Sevilla 2025
https://editorial.us.es/es/revistas/revista-de-estudios-andaluces
https://revistascientificas.us.es/index.php/REA
CC BY-NC-SA 4.0.

Servicios, desarrollo económico y revitalización demográfica en La Campana de Oropesa y Cuatro Villas (Toledo)

Services, economic development and demographic revitalisation in La Campana de Oropesa y Cuatro Villas (Toledo)

Daniel Casas-Casas
danicc1986@usal.es 0000-0002-9921-1566
Departamento de Geografía, Facultad de Geografía e Historia. Calle Cervantes s/n. 37002 Salamanca, España.

INFO ARTÍCULO

Recibido: 15-02-2025
Revisado: 04-03-2025
Aceptado: 04-04-2025

PALABRAS CLAVE

Dotación de servicios
Despoblación
Envejecimiento
Occidente toledano
Castilla-La Mancha

KEYWORDS

Service provision
Depopulation
Demographic ageing
Western Toledo
Castilla-La Mancha

RESUMEN

La Campana de Oropesa y Cuatro Villas, en el sector occidental de la provincia de Toledo, enfrenta un severo declive demográfico, influido por la falta de servicios esenciales y oportunidades económicas. Este estudio analiza la relación entre la dotación de servicios y las dinámicas poblacionales mediante un enfoque multifactorial que incluye análisis sociodemográficos, económicos, resultados de entrevistas cualitativas y proyecciones futuras. La prospección inicial ha permitido identificar vacíos críticos en servicios, conectividad y políticas locales, proporcionando una base sólida para evaluar el impacto de estos factores en el envejecimiento y la despoblación. Los hallazgos subrayan que mejorar la distribución de servicios y fomentar un desarrollo económico diversificado son claves para mitigar el éxodo rural y atraer nuevos habitantes. Este enfoque refuerza la necesidad de políticas públicas estratégicas para revitalizar la comarca y frenar las tendencias regresivas.

ABSTRACT

La Campana de Oropesa y Cuatro Villas, in the western sector of the province of Toledo, faces a severe demographic decline, influenced by the lack of essential services and economic opportunities. This study analyses the relationship between the provision of services and population dynamics through a multifactorial approach that includes socio-demographic and economic analyses, qualitative interview results and future projections. The initial survey has identified critical gaps in services, connectivity and local policies, providing a solid basis for assessing the impact of these factors on ageing and depopulation. The findings underline that improving the distribution of services and fostering diversified economic development are key to mitigating rural exodus and attracting new inhabitants. This approach reinforces the need for strategic public policies to revitalise the region and halt regressive trends.

DOI: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.10
Formato de cita / Citation: Casas-Casas, D. (2025). Services, economic development and demographic revitalisation in La Campana de Oropesa y Cuatro Villas (Toledo). *Revista de Estudios Andaluces* (50), 218-244. https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.10
Correspondencia autor: danicc1986@usal.es (Daniel Casas-Casas)

1. INTRODUCCIÓN

Los cambios demográficos acontecidos en España en las últimas décadas han engendrado nuevos procesos y dinámicas, con una marcada concentración de población en la capital nacional y en las áreas costeras en detrimento del interior rural (Molinero, 2019; Hortelano & Martín, 2022). Este fenómeno ha acarreado transformaciones relevantes para el entorno rural, manifestándose en cambios espaciales, funcionales y socioeconómicos.

Tradicionalmente, el concepto de medio rural se ha definido por características como una baja densidad de población, el papel relevante de la actividad agraria, una estrecha vinculación entre los habitantes y su entorno natural, así como relaciones sociales intensas que fomentan un sentido de arraigo territorial (Sancho & Reinoso, 2012). No obstante, en poco más de dos décadas, el ámbito de lo rural ha evolucionado de ser percibido como rudimentario o atrasado a ser asociado a un entorno con una mejor calidad de vida.

Actualmente, Castilla-La Mancha comparte con Castilla y León y Extremadura las posiciones más reducidas en densidad de población, con un promedio regional de apenas 25,79 hab./km^2. Sin embargo, esta tendencia no se ha distribuido de manera uniforme, ya que las capitales de provincia y cabeceras comarcales han experimentado un ligero crecimiento gracias a su ubicación estratégica y a una mayor diversificación económica (Camarero, 2013; Herranz & García, 2021; Monteagudo, 2010). A pesar de ello, una gran cantidad de municipios en la región, incluidos aquellos en la comarca de La Campana de Oropesa y Cuatro Villas, exhiben datos más preocupantes con una densidad inferior a 12,5 hab./km^2 (Junta de Castilla-La Mancha, 2021).

La insuficiente dotación y distribución desigual de servicios esenciales (salud, educación, transporte, conectividad digital y comercio) en la comarca de La Campana de Oropesa y Cuatro Villas contribuye significativamente al declive demográfico de la zona, al incentivar la emigración de población activa y jóvenes en edad reproductiva hacia zonas urbanas mejor dotadas (Martínez, 2008). Asimismo, se plantea como hipótesis que una redistribución equitativa y mejora en la accesibilidad a estos servicios, combinada con políticas de desarrollo económico diversificado, puede mitigar la despoblación y revertir las tendencias regresivas al atraer y retener población (Carchano & Carrasco, 2019).

El objetivo de este estudio es evaluar la influencia de la dotación y accesibilidad de servicios esenciales en la dinámica demográfica de la comarca. Además, busca identificar la relación entre estos factores y la despoblación, proponiendo estrategias integrales que fomenten el desarrollo económico, la cohesión territorial y el asentamiento de población en la zona. Para evaluar en qué medida la prestación de servicios contribuye a mitigar o revertir las tendencias demográficas negativas de la comarca, se ha llevado a cabo un análisis de los principales indicadores demográficos y económicos actuales.

Con este propósito, se han revisado fuentes secundarias, como censos y padrones municipales, que aportan datos esenciales para caracterizar el declive demográfico que afecta a esta área. Al mismo tiempo, se ha identificado la oferta de servicios con carácter social en cada uno de los municipios y, posteriormente, se ha realizado un estudio de la incidencia de los equipamientos en la población. Para complementar el análisis cuantitativo y explorar las percepciones y necesidades locales, se ha llevado a cabo una entrevista semiestructurada a una muestra representativa de residentes, líderes comunitarios y expertos locales. Esta metodología ha permitido identificar los principales desafíos asociados a la despoblación, evaluar el acceso a servicios esenciales y proponer estrategias viables para atenuar esta problemática (Gómez, 2022).

Los hallazgos del análisis multifactorial realizado subrayan que la centralización de servicios en pocos municipios exacerba las disparidades territoriales, incentivando la migración hacia zonas más dotadas. En consecuencia, la revitalización de la comarca requiere la implementación de políticas integrales que mejoren la accesibilidad a servicios, promuevan un desarrollo económico diversificado y fortalezcan la conectividad digital. Además, las entrevistas cualitativas enfatizan la importancia de estrategias locales y la colaboración público-privada como pilares fundamentales para fomentar el asentamiento poblacional y mitigar los efectos del envejecimiento y la despoblación.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.10

2. METODOLOGÍA

La metodología empleada en esta investigación sigue un enfoque multifactorial que integra análisis cuantitativos y cualitativos con el objetivo de explorar las dinámicas demográficas en la comarca de La Campana de Oropesa y Cuatro Villas. Este estudio se enmarca dentro de la línea de investigación emergente del siglo XXI, centrada en el análisis de territorios afectados por la pérdida de población (Hortelano, 2023; Marra & Grimaldi, 2024; Ragosta *et al.*, 2024).

El declive demográfico en amplias zonas rurales del interior de España, así como en otros países europeos como Francia e Italia, se ha manifestado desde mediados del siglo XX debido al éxodo de residentes hacia centros industriales y zonas urbanas. En las últimas décadas, este fenómeno se ha intensificado, dando lugar a lo que se conoce como la «segunda ola de la despoblación» (Martínez-Navarro *et al.*, 2022), afectando significativamente a las provincias del interior de España.

2.1. Fuentes y trabajo de campo

Para proporcionar directrices que contribuyan a revertir la tendencia de involución demográfica en la comarca, se ha llevado a cabo un exhaustivo análisis de datos, recurriendo a diversas fuentes oficiales y metodologías de recolección de información.

2.1.1. Fuentes de datos

Se han utilizado fuentes cuantitativas provenientes de organismos oficiales, entre las cuales destacan:

- Instituto Nacional de Estadística (INE): Datos demográficos y socioeconómicos esenciales procedentes de censos y cifras de población, movimientos de población, estructura de la población, estadísticas socioeconómicas y estadísticas de movilidad y distribución demográfica.
- Portal Estadístico de Castilla-La Mancha: Fichas municipales con información sobre el contexto medioambiental, demográfico, sociocultural, económico, comercial y laboral.
- Bases de datos oficiales: Encuesta de Infraestructuras y Equipamientos Locales del Ministerio de Política Territorial y Memoria Democrática. Estas permiten identificar tendencias y patrones en indicadores clave, proporcionando un diagnóstico preciso de la situación de la comarca.
- Legislación vigente: Se han analizado documentos normativos como la *Ley 2/2021, de 7 de mayo, de Medidas Económicas, Sociales y Tributarias frente a la Despoblación y para el Desarrollo del Medio Rural en Castilla-La Mancha*, así como la *Estrategia Regional frente a la Despoblación en Castilla-La Mancha 2021-2031*.

El uso de estas fuentes ha permitido contrastar hipótesis relacionadas con el impacto del acceso a servicios básicos y la actividad económica en las dinámicas demográficas.

2.1.2. Trabajo de campo y recolección de datos cualitativos

Desde una perspectiva cualitativa, se han realizado entrevistas semiestructuradas a partir de una muestra representativa de 420 residentes, distribuidos en los 21 municipios de la comarca.

Entre los participantes se incluyen:

- Jóvenes
- Adultos
- Ancianos

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.10

- Líderes comunitarios (Grupo de Desarrollo Rural y representantes municipales)
- Expertos locales (representantes de asociaciones y empresarios)

El objetivo de estas entrevistas ha sido profundizar en la comprensión de los principales desafíos vinculados a la despoblación y el acceso a servicios esenciales.

La elección de una muestra de 420 residentes para representar a la población total de 22.234 habitantes de la comarca de La Campana de Oropesa y Cuatro Villas se basa en criterios estadísticos que garantizan la fiabilidad y representatividad de los resultados. Con un nivel de confianza del 95 % y un margen de error del 5 %, el tamaño de muestra calculado asegura que las opiniones y percepciones recogidas reflejen con precisión la diversidad de puntos de vista presentes en la población. Así pues, para la obtención de resultados de una población finita como es el caso, (N = 22.234 habitantes), se ha utilizado la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot q}{e^2 \cdot (N - 1) + Z^2 \cdot p \cdot q}$$

Donde:

- n: Tamaño de la muestra
- N: Tamaño total de la población (22.234)
- Z: Valor correspondiente al nivel de confianza (1.96 para un nivel de confianza del 95 %)
- p: Proporción esperada de éxito (0,5, el valor más conservador cuando no se conoce la proporción real)
- q: Proporción esperada de fracaso ($1–p = 0.5$)
- e: Margen de error aceptable (5 % = 0,05)

Esta metodología cualitativa permite contrastar las hipótesis cuantitativas con la percepción subjetiva de los habitantes, enriqueciendo el análisis y favoreciendo el desarrollo de propuestas más integrales. Las entrevistas se han centrado en cinco ejes temáticos fundamentales para las comarcas con problemáticas similares:

- Acceso a servicios básicos (salud, educación y transporte)
- Oportunidades laborales y económicas
- Percepción sobre el turismo y la agricultura
- Conectividad digital
- Propuestas para frenar la despoblación

2.1.3. Representación y análisis de datos

Para facilitar la interpretación de los resultados, se han empleado diversas técnicas de visualización y análisis de datos, entre ellas:

- Gráficos de correlación: Representan las relaciones entre la dotación de servicios esenciales y los indicadores demográficos.
- Mapas temáticos: Permiten visualizar la distribución geográfica de servicios e infraestructuras.
- Gráficos de barras y de dispersión: Comparan la dotación de servicios en municipios con crecimiento o declive poblacional.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.10

Para el tratamiento de los datos y su representación gráfica, se han empleado las siguientes herramientas:

- Microsoft Excel 2019: Utilizado para la gestión y análisis estadístico de los datos cuantitativos de los municipios.
- QGIS 3.34.9-Prizren: Software de información geográfica utilizado para la elaboración de mapas temáticos que representan la distribución territorial de servicios e infraestructuras.

2.1.4. Modelo econométrico aplicado

Con el fin de evaluar el impacto de diferentes factores sobre la dinámica demográfica en la comarca se ha utilizado un modelo de regresión múltiple cuya ecuación es:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \ldots + \beta_n X_n + \varepsilon$$

Donde:

- Y es la tasa de despoblación (variable dependiente).
- $X_1, X_2, \ldots, X_n$ son las variables independientes.
- β_0 es la constante del modelo.
- β_n son los coeficientes de regresión.
- ε es el término de error.

Este permite identificar y cuantificar la influencia relativa de diversas variables sobre la tasa de despoblación, siendo esta la variable dependiente en este modelo, calculada mediante la variación porcentual de la población en el periodo de estudio, a partir de los datos censales y padrones municipales a través de la fórmula:

$$\textit{Tasa de despoblación}\ (\%) = \left(\frac{P_t - P_0}{P_0} \right) \times 100$$

Donde:

- P_0: Población en el año inicial del período de estudio (2001).
- P_t : Población en el ano final del período de estudio (2023).
- El resultado se multiplica por 100 para expresarlo en porcentaje (%).

Por otro lado, las variables independientes consideradas en el modelo incluyen factores clave en la evolución demográfica de la comarca (tabla 1). La selección de las mismas responde a una combinación de factores teóricos, empíricos y estadísticos que evidencian su relevancia en el análisis de la despoblación en la comarca. Todas ellas han sido validadas mediante pruebas de regresión y correlación, asegurando su influencia significativa en la variable dependiente (tasa de despoblación). Esta selección permite un enfoque integral que considera tanto aspectos económicos como infraestructurales y sociales, proporcionando un marco analítico sólido para la formulación de estrategias de revitalización del territorio.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.10

Tabla 1. Relación de variables independientes consideradas en la investigación.

Variable independiente	Medición	Valor mínimo	Valor máximo	Número de observaciones	Tipo de variable
Acceso a servicios sanitarios	Número de centros de salud por municipio	0.0	5.0	21	Cuantitativa
Acceso a servicios educativos	Número de colegios/ institutos por municipio	0.0	4.0	21	Cuantitativa
Acceso a servicios comerciales y culturales	Número de establecimientos comerciales/culturales	0.0	12.0	21	Cuantitativa
Oportunidades laborales	Número de trabajadores por sector económico	50.0	3000.0	21	Cuantitativa
Nivel de desempleo	Tasa de desempleo (%)	2.5	30.2	21	Cuantitativa
Inversión en desarrollo rural	Inversión en euros per cápita (€)	10. 000.0	500.000.0	21	Cuantitativa
Infraestructura de transporte	Cantidad de rutas de transporte público	0.0	10.0	21	Cuantitativa
Conectividad digital	Porcentaje de cobertura de internet (>30 Mbps)	10.0	95.0	21	Cuantitativa

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Instituto Nacional de Estadística (INE), Portal Estadístico de Castilla-La Mancha, Ayuntamientos y trabajo de campo. La selección de variables se basa en criterios teóricos y empíricos validados mediante pruebas de regresión y correlación.

Para verificar la fiabilidad del modelo de regresión y garantizar su validez estadística, se han aplicado las siguientes pruebas estadísticas:

- Prueba de significancia global: Utilizada para evaluar si el modelo en su conjunto es concluyente, determinando si al menos una de las variables independientes influye de manera significativa en la variable dependiente.
- Prueba de significancia individual: Aplicada para determinar la relevancia estadística de cada coeficiente de regresión y evaluar el impacto individual de cada variable independiente sobre la tasa de despoblación.
- Intervalos de confianza: Analizados con el fin de evaluar la precisión de los coeficientes de regresión. (Los coeficientes más robustos corresponden a las variables de oportunidades laborales y acceso a servicios básicos, ya que sus intervalos de confianza son más estrechos y no cruzan el valor cero, lo que refuerza su influencia estadísticamente).
- Análisis de la correlación: Se calcularon coeficientes de correlación para medir la relación entre las variables independientes y la tasa de despoblación.

Estas pruebas aseguran que el modelo de regresión utilizado es estadísticamente válido y fiable para analizar el fenómeno de la despoblación en la comarca, proporcionando información clave para la formulación de estrategias de desarrollo territorial. Además proporcionan una comprensión clara de los patrones demográficos, evidenciando la relación entre la desigualdad en el acceso a servicios y la estabilidad o deterioro poblacional.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.10

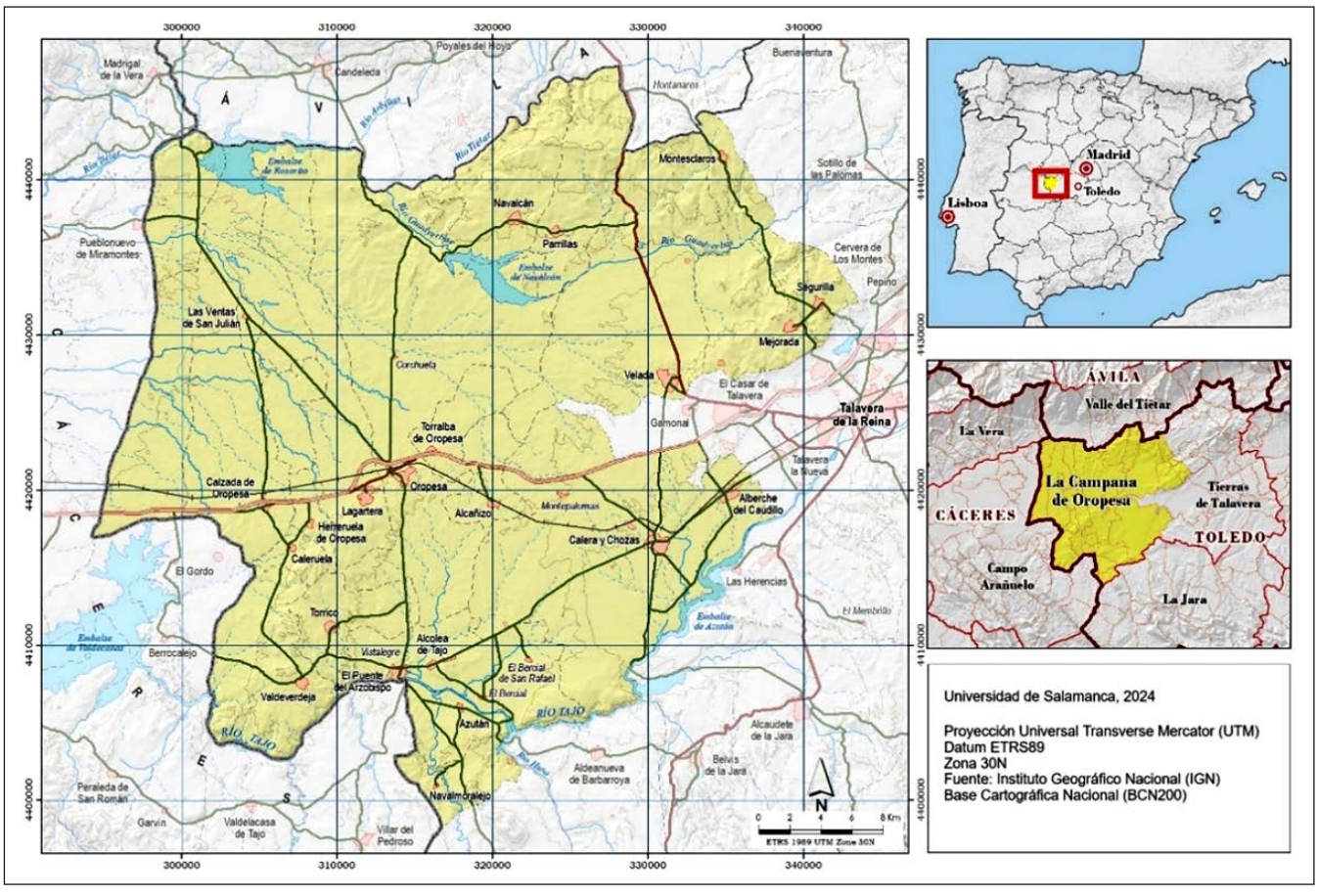
2.2. La Campana de Oropesa y Cuatro Villas, una comarca del occidente toledano

La comarca de La Campana de Oropesa y las Cuatro Villas conserva una herencia cultural propia de Castilla la Vieja, con Oropesa como su principal centro funcional, a pesar de que Calera y Chozas es la localidad más poblada. Este territorio constituye un conjunto uniforme en cuanto a paisajes, cultivos, hábitats y costumbres. Tras su reconquista entre 1083 y 1085 por las milicias concejiles de Ávila, la comarca pasó a integrarse en la vasta Comunidad de Villa y Tierra de Ávila, dentro del denominado Sexmo de Oropesa. Fue entonces repoblada por campesinos abulenses, cuyos descendientes conforman la población actual. Debido a este legado histórico, la cultura y las tradiciones de La Campana de Oropesa guardan una mayor relación con Castilla la Vieja, en particular con la provincia de Ávila y la comarca de La Vera de Gredos, que con Castilla la Nueva. De hecho, hasta 1833, la mayor parte del territorio perteneció administrativamente a la provincia de Ávila, año en el que fue segregado de Castilla la Vieja y adscrito a la provincia de Toledo.

La actual comarca de La Campana de Oropesa y Cuatro Villas, se localiza en el occidente de la provincia de Toledo, limitando al norte con Ávila (Comunidad Autónoma de Castilla y León), a la que le separa el río Tiétar; al sur y al suroeste, con Extremadura (provincia de Cáceres) y, a continuación, con la comarca de La Jara (mapa 1). La base territorial comarcal está formada por 21 municipios (a los que hay que añadir 2 entidades menores: Alberche y El Bercial), que albergan 22.082 habitantes a comienzos del año 2023 en una superficie de 1.324,22 km^2.

Este territorio posee una altitud media de 434 metros sobre el nivel del mar y se caracteriza por una diversidad de unidades de relieve que alterna zonas de piedemonte en su sector septentrional con extensas llanuras, salpicadas de monte bajo, que descienden hacia el sur hasta alcanzar las fértiles vegas del río Tajo. Esta área se encuentra influenciada por un clima mediterráneo templado, con una temperatura media anual de 13 - 14 ° C y precipitaciones inferiores a los 600 mm anuales. De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, la zona presenta un clima subtropical con veranos secos y calurosos (Csa) en la mitad norte, mientras que en el extremo sur predomina un clima estepario frío (Bsk). Además, la proximidad a la Sierra de Gredos, al norte, y a La Jara toledana, al sur, enriquece significativamente la biodiversidad del territorio, que se caracteriza por múltiples unidades de paisaje.

En el ámbito socioeconómico, la comarca se distingue por su marcada vocación hacia las actividades agrícolas y ganaderas. La agricultura se centra en los cultivos de regadío en las fértiles vegas del Tajo, mientras que las zonas del centro comarcal están ocupadas principalmente por cultivos de secano. La ganadería, por su parte, incluye explotaciones extensivas de ganado ovino y vacuno, orientadas sobre todo a la producción láctea, complementadas por la cría de porcino y avicultura en régimen intensivo. También, la industria desempeña un papel considerable en los municipios bajo la influencia de Talavera de la Reina, tales como Calera y Chozas, Velada y Oropesa, consolidándose como un motor económico relevante para estas localidades. Paralelamente, el turismo constituye una fuente crucial de ingresos complementarios, destacándose las localidades de Oropesa, Lagartera, Navalcán y El Puente del Arzobispo. Estas poblaciones atraen visitantes gracias a su valioso patrimonio cultural y la riqueza de sus tradiciones artesanales que constituyen polos de interés para el desarrollo turístico de la comarca.



Mapa 1. Localización de La Campana de Oropesa y Cuatro Villas. Fuente: Instituto Geográfico Nacional (IGN). Base Cartográfica Nacional (BCN200). 2024. Elaboración propia.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.10

3. RESULTADOS

3.1. Declive demográfico

La disminución de la población en la comarca durante las dos primeras décadas del siglo XXI (tabla 2) puede atribuirse a múltiples factores. Por un lado, se encuentra el exigente modo de vida, las limitaciones en la accesibilidad en algunos municipios y las carencias en la provisión de servicios esenciales. De manera específica, la escasez de oportunidades laborales destaca como un factor determinante en la migración de la población activa fuera de la zona.

Por otro lado, la influencia de Madrid como principal polo de desarrollo industrial y de servicios se manifiesta en un marcado flujo migratorio hacia la capital, actuando como un criterio decisivo en la despoblación de la comarca. Este fenómeno se ve intensificado por la concentración de oportunidades laborales y el mayor dinamismo económico que ofrece la ciudad. La migración de la población activa en busca de mejores perspectivas económicas y laborales genera, por lo tanto, un círculo vicioso que acentúa la despoblación en las zonas rurales circundantes.

Tabla 2. Evolución y variación porcentual de la población (2001-2023).

Ámbitos administrativos	Extensión (Km²)	2001	2006	2011	2016	2023	Variación (%)
Alcañizo	13,51	324	336	327	281	283	**-12,65**
Alcolea de Tajo	61,49	772	843	904	835	839	**8,68**
Azután	21,61	342	305	298	289	292	**-14,62**
Calera y Chozas	219,53	3.709	4.157	4.690	4.633	4.754	**28,17**
Caleruela	9,42	296	295	283	225	202	**-31,76**
Calzada de Oropesa (La)	142,22	592	574	570	541	498	**-15,88**
Herreruela de Oropesa	10,54	422	445	467	365	317	**-24,88**
Lagartera	81,02	1.813	1.556	1.564	1.468	1.306	**-27,96**
Mejorada	46,00	1.156	1.323	1.337	1.268	1.374	**18,86**
Montesclaros	21,00	439	406	448	426	381	**-13,21**
Navalcán	59,73	2.231	2.238	2.405	2.137	1.861	**-16,58**
Navalmoralejo	22,00	70	63	67	70	50	**-28,57**
Oropesa	336,56	2.691	2.860	2.917	2.744	2.600	**-3,38**
Parrillas	51,03	414	410	418	365	352	**-14,98**
Puente del Arzobispo (El)	0,98	1.536	1.431	1.466	1.296	1.171	**-23,76**
Segurilla	22,00	1.001	1.132	1.314	1.317	1.384	**38,26**
Torralba de Oropesa	23,45	264	298	275	215	192	**-27,27**
Torrico (El)	34,00	881	831	892	781	701	**-20,43**
Valdeverdeja	67,00	777	740	723	613	559	**-28,06**
Velada	144,60	2.399	2.436	2.869	2.890	2.889	**20,43**
Ventas de San Julián (Las)	6,53	234	233	228	235	229	**-2,14**
TOTAL COMARCA	**1.394,22**	**22.363**	**22.912**	**24.462**	**22.994**	**22.234**	**-0,58**
TOLEDO PROVINCIA	**15.369,00**	**536.131**	**615.618**	**707.242**	**688.672**	**728.496**	**35,88**

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Instituto Nacional de Estadística (INE), censos de población y padrones de habitantes.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.10

En el periodo comprendido entre 2001 y 2023, La Campana de Oropesa y Cuatro Villas experimentó una pérdida demográfica del - 0,58 %, afectando a 16 de los 21 municipios que conforman esta comarca. Aunque la mayoría de estos municipios registraron una disminución de empadronados, se observan excepciones en Alcolea de Tajo, Calera y Chozas, Mejorada, Velada y Segurilla, donde se ha constatado un incremento en la población a lo largo de los años del presente siglo.

En Alcolea de Tajo, el crecimiento demográfico se atribuye a la expansión del regadío y los cultivos leñosos desde el inicio del siglo XXI, y este desarrollo agrícola ha generado una demanda de mano de obra en el sector (Casas, 2025). Con una población actual de 839 habitantes, Alcolea de Tajo ha experimentado un aumento del 8,68 % desde el inicio del siglo, con una notable presencia de población inmigrante ocupada en tareas vinculadas con el sector agropecuario.

En el caso de Calera y Chozas y su entidad menor Alberche, la proximidad a Talavera de la Reina, segunda ciudad más poblada de la provincia de Toledo y un destacado centro funcional en el centro-oeste, ha impulsado el desarrollo industrial y agroalimentario en el municipio. Esta cercanía ha facilitado la deslocalización industrial hacia estas localidades, ofreciendo suelo asequible para la instalación de empresas. Además, actúan como núcleos dormitorio para la ciudad de Talavera de la Reina que contribuye a la atracción de nuevos vecinos. Caso similar ha ocurrido en municipios como Mejorada, Velada y Segurilla que también se han consolidado como núcleos dormitorio bajo la órbita de Talavera de la Reina, registrando incrementos demográficos del 18,68 %, 20,43 % y 38,26 %, respectivamente.

En contraste, los 16 municipios restantes de la comarca han enfrentado una continua regresión demográfica, alcanzando niveles críticos de descenso poblacional, como el - 28,06 % en Valdeverdeja y el - 27,27 % de Torralba de Oropesa. Estas pérdidas se han mantenido desde inicios de siglo debido a la falta de oportunidades laborales en el sector agrícola y la consiguiente contracción de infraestructuras y servicios básicos. La crisis económica de 2008 y sanitaria (COVID-19) de 2020 han exacerbado la situación, contribuyendo al abandono de estos núcleos rurales.

3.2. Dinámica natural

La disminución demográfica en la comarca ha influido de manera notable en la dinámica biológica de la población, reflejándose en las tasas de natalidad (7,04 ‰) y de mortalidad (14,03 ‰) y, por consiguiente, en el índice de crecimiento natural negativo (– 0,73 %). La emigración de la población joven en edad reproductiva, en particular de mujeres en edad fértil, ha resultado en una disminución de los nacimientos (Salvador, 2016). Por otro lado, la población envejecida que permanece en los municipios ha incrementado la tasa de mortalidad, a pesar de los avances en salud, calidad de vida y aumento de la esperanza de vida (tabla 3).

La situación demográfica en la comarca ha alcanzado niveles críticos, aproximándose a una condición de desvitalidad o nula vitalidad natural, según la terminología propuesta por García (1997). Esta situación refleja la severidad de los regímenes demográficos desfavorables en la mayoría de los municipios, con excepciones en Segurilla y Velada. En casos extremos, como Navalmoralejo y Las Ventas de San Julián, se observa un régimen demográfico clasificado como «muy regresivo o de muerte», evidenciando la gravedad de la situación demográfica en estos territorios.

La tasa de natalidad muestra una correlación positiva significativa con la tasa de crecimiento poblacional (0,87), lo que evidencia su rol crucial en la sostenibilidad demográfica de la comarca. Este resultado reafirma la necesidad de diseñar políticas que incentiven el aumento de nacimientos y reduzcan las barreras al asentamiento de población joven y familias en edad reproductiva. Por el contrario, la correlación negativa observada entre la tasa de mortalidad y el crecimiento poblacional (-0,64) indica que la elevada mortalidad contribuye de manera elocuente al estancamiento y retroceso demográfico, un fenómeno que podría estar exacerbado por el envejecimiento de la población y la falta de servicios sanitarios adecuados en ciertas localidades. Aunque la correlación positiva entre la natalidad y la población, así como la correlación negativa entre la natalidad y la mortalidad, son relaciones esperadas dentro de la dinámica demográfica, la inclusión gráfica del análisis de la regresión permite visualizar cuantitativamente su impacto en la evolución poblacional de la comarca (figura 1).

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.10

Además, esta responde a la necesidad de evidenciar de manera objetiva el peso relativo de estos factores en la configuración del crecimiento natural y en la estructuración de tendencias demográficas locales.

Tabla 3. Movimiento natural de la población (2001-2023).

Ámbitos administrativos	Nacimientos	Tasa de natalidad (‰)	Defunciones	Tasa de mortalidad (‰)	Índice de Crecimiento Natural (%)
Alcañizo	33	4,99	100	15,13	-1,01
Alcolea de Tajo	124	7,06	226	12,87	-0,58
Azután	30	4,27	113	16,10	-1,18
Calera y Chozas	847	9,14	1.053	11,36	-0,22
Caleruela	26	4,75	124	22,64	-1,79
Calzada de Oropesa (La)	62	5,11	225	18,56	-1,34
Herreruela de Oropesa	30	3,76	184	23,04	-1,93
Lagartera	161	4,71	808	23,66	-1,89
Mejorada	249	9,02	314	11,37	-0,24
Montesclaros	33	3,65	153	16,90	-1,33
Navalcán	270	5,96	764	16,86	-1,09
Navalmoralejo	5	3,76	37	27,80	-2,40
Oropesa	375	6,43	758	13,01	-0,66
Parrillas	26	3,15	183	22,15	-1,90
Puente del Arzobispo (El)	210	7,10	382	12,91	-0,58
Segurilla	260	9,99	275	10,56	-0,06
Torralba de Oropesa	26	5,17	90	17,90	-1,27
Torrico (El)	75	4,34	259	14,98	-1,06
Valdeverdeja	59	4,04	309	21,17	-1,71
Velada	550	9,50	558	9,64	-0,01
Ventas de San Julián (Las)	33	6,58	148	29,51	-2,29
TOTAL COMARCA	**3.484**	**7,13**	**7.063**	**14,45**	**-0,73**
TOLEDO PROVINCIA	**141.892**	**10,32**	**128.169**	**9,32**	**0,10**

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Instituto Nacional de Estadística (INE). Movimiento natural de la población española. Cifras a nivel provincial y su distribución municipal desde 1975.

El cambio poblacional y la tasa de crecimiento exhiben una correlación positiva alta (0,81), evidenciando que los cambios en el tamaño de la población están intrínsecamente ligados al comportamiento de las tasas de natalidad y mortalidad. En este sentido, aquellos municipios con una mayor capacidad para retener y atraer nuevos habitantes a través de servicios de calidad y oportunidades laborales, pueden observar un crecimiento más sostenido. La relación entre la población de 2023 y la tasa de natalidad (0,69) también sugiere que las localidades con mayor tamaño poblacional tienden a mantener tasas de natalidad más elevadas, lo cual podría vincularse a factores como una mejor infraestructura y accesibilidad a servicios esenciales.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.10

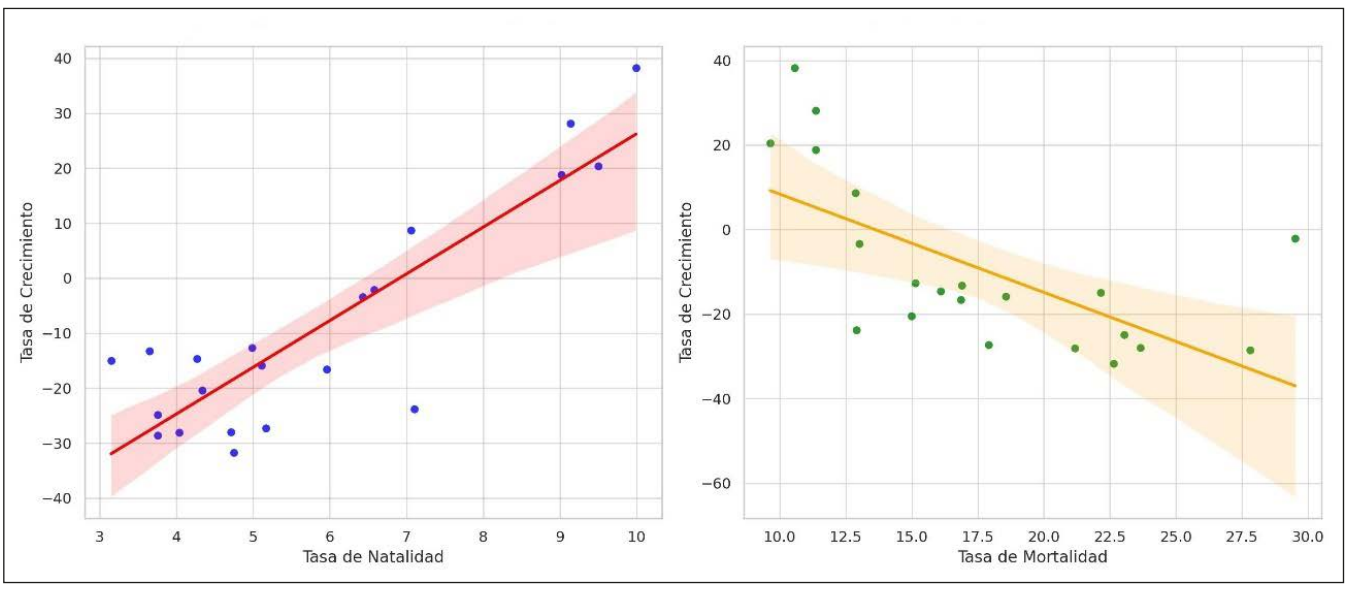


Figura 1. Análisis de la regresión. Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE). Movimiento natural de la población española. Elaboración propia.

3.3. La presencia extranjera: inmigrantes en el contexto local

La presencia de población inmigrante extranjera en la comarca de La Campana de Oropesa y Cuatro Villas es un tanto limitada, constituyendo tan solo el 4,21 % del total de habitantes registrados en el padrón. Los municipios con mayor proporción de residentes extranjeros suelen caracterizarse por ofrecer viviendas asequibles o empleo en sectores locales como la agricultura, construcción, comercio y hostelería. En localidades con crecimiento natural negativo, como Alcolea de Tajo o Calera y Chozas, la población inmigrante contribuye decisivamente al aumento poblacional.

El perfil demográfico de la población extranjera está integrado por individuos originarios de la Unión Europea y América, en consonancia con la tendencia observada en la provincia de Toledo (tabla 4). Las nacionalidades más representativas son rumanos (432), marroquíes (95), paraguayos (47), chinos (45), colombianos (38) y peruanos (17), que en conjunto constituyen el 75,64 % del total de la población extranjera. Además, existen comunidades de otras nacionalidades, cada una con menos de 20 miembros, que colaboran a mantener un mínimo poblacional y a enriquecer la diversidad cultural de la comarca.

Tabla 4. Residentes inmigrantes extranjeros (2023).

Ámbitos administrativos	Unión Europea	Resto de Europa	África	América	Asia	Oceanía	Total
Alcañizo	9	0	4	10	0	0	**23**
Alcolea de Tajo	15	0	22	8	0	0	**45**
Azután	1	0	0	2	0	0	**3**
Calera y Chozas	193	1	32	32	15	0	**273**
Caleruela	3	0	0	10	0	0	**13**
Calzada de Oropesa (La)	5	0	2	3	2	0	**12**
Herreruela de Oropesa	12	0	3	5	0	0	**20**
Lagartera	56	3	9	10	3	0	**81**
Mejorada	14	3	2	7	2	0	**28**
Montesclaros	3	0	0	5	0	0	**8**
Navalcán	42	0	2	31	8	2	**85**
Navalmoralejo	0	1	0	0	0	0	**1**
Oropesa	31	2	8	48	8	0	**97**
Parrillas	11	0	0	16	0	0	**27**
Puente del Arzobispo (El)	5	0	4	12	5	0	**26**
Segurilla	7	1	11	16	0	0	**35**
Torralba de Oropesa	4	0	0	8	0	0	**12**
Torrico (El)	13	0	0	11	0	0	**24**
Valdeverdeja	15	0	2	4	0	0	**21**
Velada	57	4	8	9	6	0	**84**
Ventas de San Julián (Las)	2	0	1	0	0	0	**3**
TOTAL COMARCA	**498**	**15**	**110**	**247**	**49**	**2**	**921**
TOLEDO PROVINCIA	**25.116**	**2.140**	**20.213**	**22.236**	**4.620**	**37**	**74.322**

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Instituto Nacional de Estadística (INE). Padrón de habitantes, 1 de enero de 2023.

© Editorial Universidad de Sevilla 2024 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.10

3.4. Estructura por sexo y edad

El declive demográfico en la comarca no solo se refleja en la dinámica natural de la población, sino que también se manifiesta en la estructura demográfica por sexo y edad. La característica distintiva de la comarca es la desestructuración probada por la composición irregular por sexos y el desequilibrio en los grupos de edad, que está integrada en un elevado porcentaje por adultos y ancianos. La emigración de mujeres ha contribuido a un incremento en la tasa de masculinidad, pasando de un 100,67 % en 2001 a un 102,59 % en 2023, lo que indica un déficit de mujeres en la comarca en concordancia con la tendencia provincial.

Asimismo, la pirámide de población muestra el desequilibrio en la distribución por sexos y las irregularidades en las cohortes de edad. La pirámide demográfica de 2023 evidencia un acentuado proceso de envejecimiento en la comarca, con una concentración de los mayores porcentajes de población en los segmentos superiores de la pirámide (figura 2).

La comarca de La Campana de Oropesa y Cuatro Villas se enfrenta a un reto demográfico caracterizado por una elevada tasa de vejez, que alcanza el 27,38 % de la población mayor de 65 años, en contraste con el 18,40 % registrado como media provincial (Carretero, 2021). Esta situación se agrava al observar que la tasa de vejez supera el 30 % en 19 de los 21 municipios de la comarca, con casos extremos identificados en Caleruela, Montesclaros y Navalmoralejo (mapa 2). Esta tendencia no solo se observa en La Campana de Oropesa y Cuatro Villas, sino que también es característica del medio rural de la provincia de Toledo, indicando un progresivo predominio de la población mayor de 65 años en los registros municipales de habitantes.

Este fenómeno demográfico plantea retos sociales y económicos cruciales. Desde una perspectiva social, implica la necesidad de proporcionar asistencia y apoyo a la población envejecida, incluyendo servicios de atención a la dependencia. Y, desde el ámbito económico, representa una presión sobre los recursos disponibles para la prestación de servicios públicos y asistenciales. Sin embargo, esta situación también puede ser vista como una oportunidad para el desarrollo del medio rural. La creciente demanda de servicios relacionados con el cuidado de mayores podría generar nuevas oportunidades de empleo (*Silver economy*), en especial para jóvenes y mujeres. Esto podría facilitar el desarrollo de habilidades laborales en un contexto donde la oferta de empleo para el sector femenino es, por lo general, más limitada.

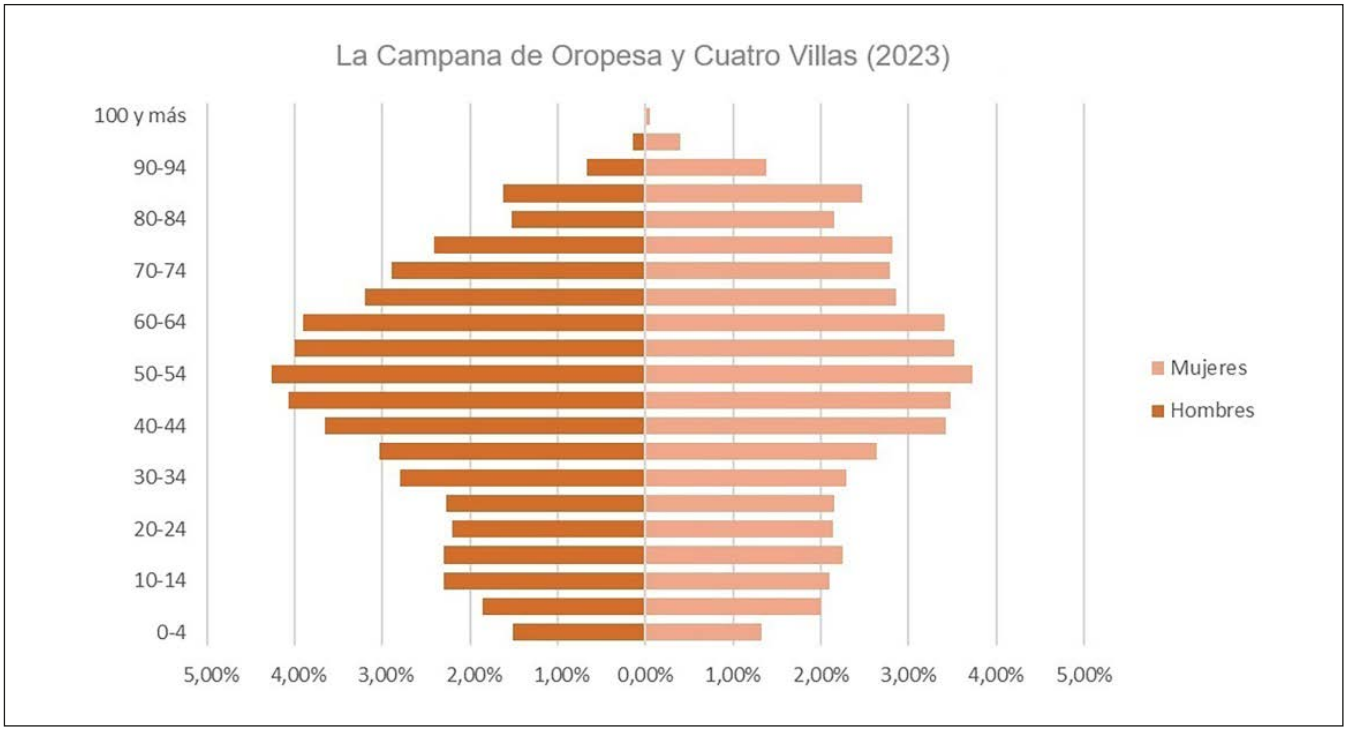
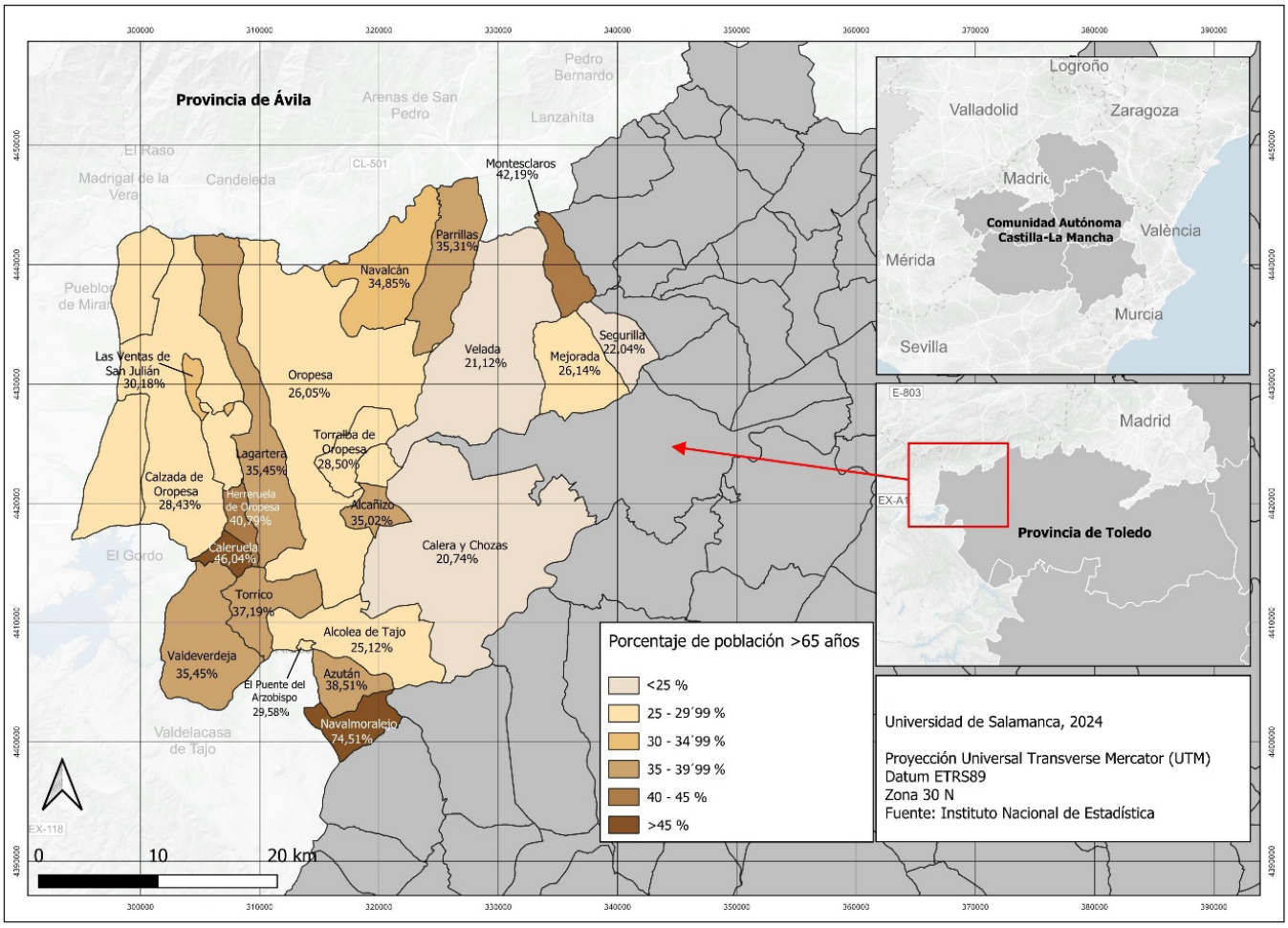


Figura 2. Pirámide de población, 2023. Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE). Padrón de habitantes, 1 de enero de 2023. Elaboración propia.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.10



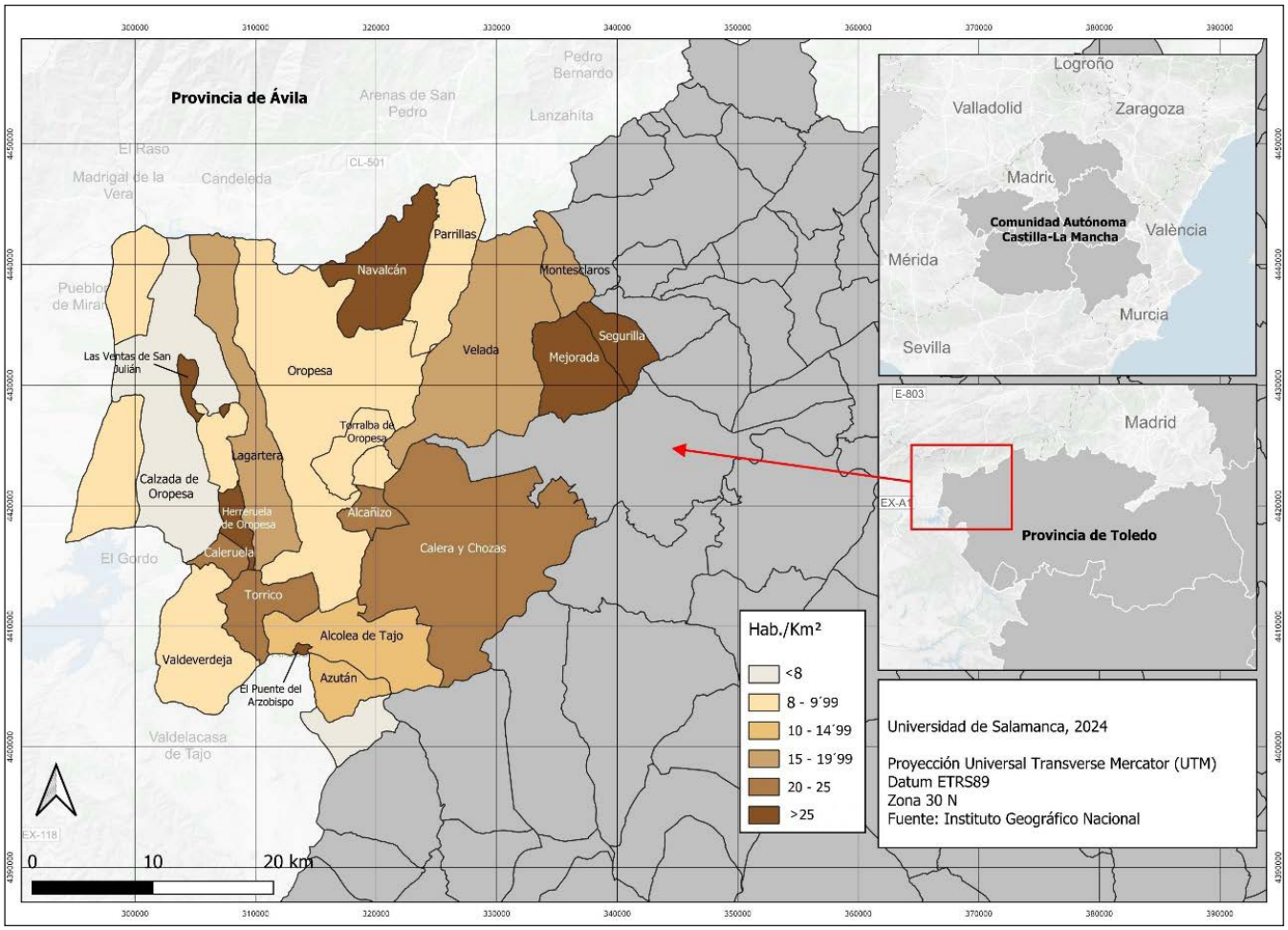
Mapa 2. Envejecimiento de la población, 2023. Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE). Padrón de habitantes, 1 de enero de 2023. Elaboración propia.

3.5. Vaciamiento poblacional

Una de las consecuencias de los movimientos migratorios se refleja en la escasa ocupación territorial, manifestándose de manera dramática en la reducida densidad de población, que roza los límites de la desertificación demográfica y conduce a la desaparición de entidades de población. En algunos casos, la baja densidad demográfica ha alcanzado niveles críticos, situándose al borde del vaciamiento total, como se observa en Parrillas, Calzada de Oropesa y Navalmoralejo, convirtiéndolos en verdaderos «desiertos demográficos» con densidades inferiores a 10 hab./km² (García, 1984). Esta realidad pone de manifiesto los retos asociados con la gestión territorial sostenible de los recursos naturales y el patrimonio cultural a escala municipal.

La despoblación se presenta como un problema latente en la comarca, tal y como lo demuestra el análisis de la densidad de población (mapa 3). Cuatro de los 21 municipios que la integran ostentan actualmente valores inferiores a 8 hab./km², umbral establecido por la Unión Europea para delimitar áreas con riesgo severo de despoblación. Cabe destacar que algunos municipios, especialmente aquellos ubicados al norte de la Autovía del Sudoeste (A-5), presentan amplias extensiones territoriales, lo que introduce un factor distorsionador en la evaluación de la densidad poblacional.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.10



Mapa 3. Densidad de población, 2023. Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE). Padrón de habitantes, 1 de enero de 2023. Elaboración propia.

3.6. Impacto de los principales indicadores económicos en la dinámica demográfica comarcal

El análisis de los datos sobre el empleo en los sectores primario, secundario y servicios entre los años 2001 y 2023 revela tendencias estructurales claras que reflejan la transformación económica de la comarca, con implicaciones directas en el fenómeno de la despoblación (tabla 5). En términos generales, se observa un descenso de - 8,61 % en el total de trabajadores en la comarca, acompañado de una elocuente reducción del empleo en el sector secundario (- 39,05 %) y una leve caída en el sector primario (- 0,37 %), mientras que el sector servicios (+ 26,04 %) ha experimentado un notable crecimiento. Estas tendencias sugieren un desplazamiento del empleo hacia el sector terciario, siguiendo un patrón de terciarización común en economías rurales (Delgado *et al.*, 2004; Martínez, 2015).

Al observar casos relevantes, destacan municipios como Oropesa (+ 24,11 %) y Las Ventas de San Julián (+ 53,16 %), que han logrado aumentar su número total de trabajadores, debido a una mayor dinamización del sector servicios y políticas locales de desarrollo económico (Casas, 2024). En contraste, municipios como Calzada de Oropesa (- 38,49 %), Caleruela (- 41,25 %) y Montesclaros (- 24,14 %) han sufrido relevantes pérdidas de empleo en todos los sectores, lo que sugiere una falta de diversificación económica y oportunidades laborales.

La interpretación de estos resultados en relación con la despoblación pone de manifiesto que la pérdida de empleo en los sectores primario y secundario no ha sido compensada plenamente por el crecimiento del sector servicios. La reducción de oportunidades laborales en sectores tradicionalmente estables ha fomentado la emigración de la población activa hacia centros urbanos más dinámicos, como Talavera de la Reina o Madrid. Por otro lado, los municipios que han experimentado mejoras en sus indicadores suelen

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.10

coincidir con aquellos que han logrado impulsar actividades relacionadas con el turismo, el comercio o servicios especializados, lo que ha contribuido a retener población y mitigar los efectos de la despoblación.

En conclusión, la comarca enfrenta un desafío dual: revertir la pérdida de empleo en los sectores tradicionales y fortalecer el sector servicios de manera sostenible, evitando que el crecimiento se concentre únicamente en actividades estacionales (caso del turismo rural en esta zona) o de baja productividad. Las políticas públicas deben enfocarse en diversificar la economía local, fomentar la inversión en sectores emergentes y crear incentivos para fijar población joven y activa. Sin estas medidas, la despoblación continuará siendo una amenaza persistente para el desarrollo socioeconómico de la comarca.

Tabla 5. Número de trabajadores por sector económico 2001-2023.

	NOVIEMBRE 2001				NOVIEMBRE 2023				VARIACIÓN % (2023 – 2001)			
MUNICIPIOS	SECTOR PRIMARIO	SECTOR SECUNDARIO	SECTOR SERVICIOS	TOTAL TRABAJADORES	SECTOR PRIMARIO	SECTOR SECUNDARIO	SECTOR SERVICIOS	TOTAL TRABAJADORES	SECTOR PRIMARIO	SECTOR SECUNDARIO	SECTOR SERVICIOS	TOTAL TRABAJADORES
Alcañizo	25	19	24	**68**	29	5	26	**60**	16	-73,68	8,33	**-11,76**
Alcolea de Tajo	39	191	92	**322**	93	139	79	**311**	138,46	-27,23	-14,13	**-3,42**
Azután	22	11	44	**77**	11	8	39	**58**	-50	-27,27	-11,36	**-24,68**
Calera y Chozas	152	798	446	**1.396**	190	589	676	**1.455**	25	-26,19	51,57	**4,23**
Caleruela	13	48	19	**80**	7	14	26	**47**	-46,15	-70,83	36,84	**-41,25**
Calzada de Oropesa (La)	29	112	98	**239**	40	32	75	**147**	37,93	-71,43	-23,47	**-38,49**
Herreruela de Oropesa	34	39	62	**135**	18	21	67	**106**	-47,06	-46,15	8,06	**-21,48**
Lagartera	82	127	259	**468**	81	52	261	**394**	-1,22	-59,06	0,77	**-15,81**
Mejorada	28	90	77	**195**	13	60	110	**183**	-53,57	-33,33	42,86	**-6,15**
Montesclaros	17	12	29	**58**	6	14	24	**44**	-64,71	16,67	-17,24	**-24,14**
Navalcán	53	145	131	**329**	38	49	164	**251**	-28,30	-66,21	25,19	**-23,71**
Navalmoralejo	0	0	6	**6**	1	0	6	**7**	0	0	0	**16,67**
Oropesa	72	234	337	**643**	89	181	528	**798**	23,61	-22,65	56,68	**24,11**
Parrillas	15	24	32	**71**	11	7	37	**55**	-26,67	-70,83	15,63	**-22,54**
Puente del Arzobispo (El)	12	174	166	**352**	10	137	149	**296**	-16,67	-21,26	-10,24	**-15,91**
Segurilla	12	142	87	**241**	13	70	95	**178**	8,33	-50,70	9,20	**-26,14**
Torralba de Oropesa	13	24	16	**53**	4	16	21	**41**	-69,23	-33,33	31,25	**-22,64**
Torrico (El)	62	75	92	**229**	45	55	109	**209**	-27,42	-26,67	18,48	**-8,73**
Valdeverdeja	38	49	63	**150**	38	32	55	**125**	0	-34,69	-12,70	**-16,67**
Velada	68	485	145	**698**	59	218	219	**496**	-13,24	-55,05	51,03	**-28,94**
Ventas de San Julián (Las)	23	8	48	**79**	10	12	99	**121**	-56,52	50	106,25	**53,16**
TOTAL COMARCA	**809**	**2.807**	**2.273**	**5.889**	**806**	**1.711**	**2.865**	**5.382**	**-0,37**	**-39,05**	**26,04**	**-8,61**

Fuente: elaboración propia a partir de datos de la Oficina de Transparencia, Integridad y Participación. Junta de Comunidades de Castilla – La Mancha.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.10

La relación entre inversión y empleo presenta resultados desiguales en la comarca. Municipios como Oropesa (+ 24,11 %) y Las Ventas de San Julián (+ 53,16 %) han logrado incrementar el número de trabajadores, coincidiendo con un aumento de la inversión. Esto sugiere que una estrategia bien orientada, especialmente en el sector servicios, puede generar un impacto positivo en el empleo y, por ende, contribuir a fijar población. Por el contrario, localidades como Caleruela (- 41,25 %), Calzada de Oropesa (- 38,49 %) y Montesclaros (- 24,14 %) han registrado importantes pérdidas de empleo a pesar de haber experimentado incrementos en su inversión. Este fenómeno sugiere que la inversión, aunque necesaria, no siempre es suficiente si no va acompañada de una planificación económica alineada con las necesidades locales y un enfoque diversificado (tabla 6).

En términos de inversión, municipios como Calera y Chozas (+ 387,54 %), Caleruela (+ 418,43 %) y Navalmoralejo (+ 215,53 %) destacan por un crecimiento exponencial en recursos destinados a bienes y servicios. Sin embargo, el impacto en el empleo ha sido desigual, evidenciando que la inversión no siempre se traduce en oportunidades laborales si no está orientada a sectores con capacidad de generar empleo estable.

El sector servicios ha sido el principal receptor del crecimiento económico, absorbiendo parte del empleo perdido en los sectores primario y secundario. Sin embargo, esta dependencia plantea un riesgo si la economía local no diversifica sus fuentes de ingreso ni fortalece otros sectores estratégicos. Al mismo tiempo, la pérdida de empleo en el sector secundario, especialmente en municipios tradicionalmente dependientes de la industria o la construcción, ha impulsado la emigración de la población joven y activa hacia centros urbanos con mayores oportunidades (principalmente Talavera de la Reina y Madrid).

El fenómeno de la despoblación no puede entenderse únicamente desde la óptica de la inversión o el empleo, sino como un problema multifactorial donde influyen elementos económicos, sociales y demográficos. Si bien la inversión ha mejorado infraestructuras y servicios, su impacto ha sido limitado en los municipios que no han logrado dinamizar sectores estratégicos ni retener a su población activa (Alario & Morales, 2020). En conclusión, la comarca presenta un escenario heterogéneo donde el éxito de algunas localidades contrasta con el estancamiento de otras. Es fundamental que las políticas públicas no solo se centren en aumentar la inversión, sino también en promover la diversificación económica, fomentar la formación profesional adaptada a las necesidades locales y crear incentivos efectivos para atraer y retener población joven. Sin una estrategia integral y coordinada, la inversión corre el riesgo de convertirse en una herramienta insuficiente para revertir la despoblación y garantizar un desarrollo económico en la comarca.

Tabla 6. Inversión en bienes corrientes y servicios en Euros.

	AÑO 2001 (€)			AÑO 2022 (€)			DIFERENCIA (€) 2022 - 2001		VARIACIÓN % 2022 - 2001	
MUNICIPIOS	PRESUPUESTO	INVERSIÓN	% INVERSIÓN	PRESUPUESTO	INVERSIÓN	% INVERSION	PRESUPUESTO	INVERSIÓN	PRESUPUESTO	INVERSIÓN
Alcañizo	241.539	75.160	31,12	466.888	164.069	35,14	225.349	88.909	**93,30**	**118,29**
Alcolea de Tajo	876.570	164.434	18,76	1.377.498	496.873	36,07	500.928	332.439	**57,15**	**202,17**
Azután	184.544	79.762	43,22	425.383	186.645	43,88	240.839	106.883	**130,50**	**134,00**
Calera y Chozas	2.399.783	322.465	13,44	4.589.926	1.572.144	34,25	2.190.143	1.249.679	**91,26**	**387,54**
Caleruela	231.682	68.372	29,51	701.122	354.461	50,56	469.440	286.089	**202,62**	**418,43**
Calzada de Oropesa (La)	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos
Herreruela de Oropesa	291.163	74.166	25,47	458.009	150.461	32,85	166.846	76.295	**57,30**	**102,87**
Lagartera	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos
Mejorada	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos
Montesclaros	269.197	80.840	30,03	636.439	213.486	33,54	367.242	132.646	**136,42**	**164,08**
Navalcán	1.158.902	407.122	35,13	2.268.026	1.027.856	45,32	1.109.124	620.734	**95,70**	**152,47**
Navalmoralejo	81.733	25.052	30,65	247.068	79.046	31,99	165.335	53.994	**202,29**	**215,53**
Oropesa	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos
Parrillas	428.549	151.502	35,35	636.635	211.701	33,25	208.086	60.199	**48,56**	**39,73**
Puente del Arzobispo (El)	712.505	251.908	35,36	1.132.688	424.808	37,50	420.183	172.900	**58,97**	**68,64**
Segurilla	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos
Torralba de Oropesa	168.108	52.246	31,08	414.578	113.259	27,32	246.470	61.013	**146,61**	**116,78**
Torrico (El)	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos
Valdeverdeja	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos
Velada	1.117.171	410.718	36,76	2.507.575	1.147.256	45,75	1.390.404	736.538	**124,46**	**179,33**
Ventas de San Julián (Las)	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos
TOTAL COMARCA	**8.161.446**	**2.163.747**	**26,51**	**15.861.835**	**6.142.065**	**38,72**	**7.700.389**	**3.978.318**	**94,35**	**183,86**

Fuente: elaboración propia a partir de datos de la Oficina de Transparencia, Integridad y Participación. Junta de Comunidades de Castilla – La Mancha.

© Editorial Universidad de Sevilla 2024 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.10

3.7. Entrevista semiestructurada a residentes

El análisis cualitativo se ha complementado con la realización de una entrevista semiestructurada a una muestra representativa de 420 residentes de la comarca. Esta metodología ha permitido profundizar en las percepciones, experiencias y propuestas de la población respecto al desafío demográfico que enfrenta la zona. A través del testimonio directo de las personas entrevistadas, se han identificado patrones recurrentes en torno a las principales problemáticas y posibles soluciones planteadas por la comunidad.

Los resultados se han estructurado en torno a temas clave, tales como el acceso a servicios esenciales, las oportunidades económicas, la conectividad digital y las estrategias para el desarrollo local. Para fortalecer el análisis, se han incorporado citas textuales que reflejan de manera fidedigna las voces y perspectivas de las personas entrevistadas, aportando una dimensión más humana y contextual a la investigación. Este enfoque cualitativo se ha integrado con el análisis de regresión, permitiendo contrastar las percepciones recogidas con los patrones observados en los datos cuantitativos, lo que facilita una comprensión más completa y fundamentada de la situación demográfica de la comarca.

Así pues, los resultados de la entrevista ponen de manifiesto los principales desafíos y percepciones de los habitantes de la comarca en relación con la despoblación y sus causas. En primer lugar, la falta de servicios sanitarios adecuados se identifica como la problemática más destacada (45 %), seguida por la insuficiencia del transporte público (38 %) y la escasez de oportunidades laborales (50 %). Estos datos evidencian que tanto los servicios esenciales como las oportunidades económicas son factores críticos que condicionan la calidad de vida de los residentes. Su carencia, por tanto, constituye un motor relevante de la migración hacia áreas urbanas más desarrolladas. Asimismo, una proporción considerable de los entrevistados señaló la necesidad de implementar incentivos fiscales para la atracción de empresas (35 %) y destacó la limitación de la conectividad digital (50 %) como barreras clave que limitan el desarrollo local. Estos hallazgos subrayan la consideración de abordar de manera integral tanto las deficiencias en infraestructura y servicios como la promoción de políticas que fomenten el crecimiento económico en la comarca.

Por otro lado, las percepciones sobre el turismo y la agricultura reflejan un grado significativo de optimismo, con el 60 % de los entrevistados identificando estos sectores como potenciales motores económicos de la comarca. No obstante, esta confianza contrasta marcadamente con la falta de inversión y el insuficiente apoyo institucional en dichos sectores, factores que limitan su crecimiento sostenible. Paralelamente, se pone de manifiesto una percepción negativa en torno al nivel de accesibilidad a los servicios básicos, señalada por el 40 % de los encuestados, así como una creciente preocupación por el envejecimiento demográfico y la escasez de oportunidades para la población joven. Estas evidencias subrayan la necesidad de que cualquier estrategia destinada a combatir la despoblación aborde de manera integral tanto las deficiencias estructurales en servicios e infraestructuras como la generación de oportunidades económicas diversificadas. Para ello, resulta imperativo combinar acciones de corto plazo, como la mejora del transporte y la conectividad, con intervenciones de largo alcance que incluyan el fomento del emprendimiento y el desarrollo estratégico de los sectores clave subyacentes (tabla 7).

A partir de los testimonios recopilados en las entrevistas realizadas a los residentes de los municipios de la comarca, emergen problemáticas y desafíos que coinciden con los resultados del análisis cuantitativo. La limitación en el acceso a servicios médicos, señalada por múltiples participantes, destaca como una preocupación central, pues en varios municipios las distancias hacia centros de atención básica superan los 30 km. Esta situación agrava la percepción de desigualdad en la disponibilidad de servicios básicos, especialmente para adultos mayores y familias jóvenes. Asimismo, la poca conectividad digital, reportada como un obstáculo para el teletrabajo y la educación online, refuerza la necesidad de priorizar la inversión en infraestructura tecnológica (tabla 8).

Otro punto relevante es la escasez de oportunidades laborales estables, que ha provocado una migración de los jóvenes hacia zonas urbanas como Talavera de la Reina o Madrid, dejando atrás una población envejecida en muchos municipios. Los participantes también enfatizan el potencial del turismo rural como motor económico aún desaprovechado debido a la falta de inversión y apoyo institucional. Finalmente, se sugiere que mejorar el transporte público, fomentar incentivos para pequeñas empresas y fortalecer los

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.10

servicios educativos serían estrategias clave para retener a las familias jóvenes y revitalizar la economía local, alineándose con las propuestas identificadas en el análisis general de la entrevista. Estos testimonios reflejan la urgencia de una intervención integral para abordar los desafíos estructurales y aprovechar las oportunidades de desarrollo regional.

Tabla 7. Consideraciones más frecuentes de las personas entrevistadas.

Pregunta	Respuesta más frecuente	%
Problemas principales del municipio	Falta de servicios sanitarios	45
Servicios necesarios para mejorar la calidad de vida	Mejora del transporte público	38
Razones para abandonar el municipio	Falta de empleo	50
Medidas efectivas contra la despoblación	Incentivos fiscales para nuevas empresas	35
Accesibilidad a servicios básicos	Deficiente	40
Oportunidades laborales	No hay suficientes oportunidades	55
Turismo y agricultura como motores	Sí, especialmente en turismo	60
Iniciativas locales exitosas	El turismo ha tenido impacto positivo	30
Nivel de conectividad digital	Insuficiente	50
Factores para reconsiderar mudanza	Mejora en servicios básicos	45

Fuente: elaboración propia.

Tabla 8. Testimonios clave de las personas entrevistadas.

Testimonio	Participante
El acceso a servicios médicos es muy limitado; tenemos que viajar más de 30 km para una consulta básica.	Participante 45, residente en de Navalmoralejo.
No hay trabajo estable, la mayoría de mis amigos se han ido a Talavera de la Reina o Madrid.	Participante 78, joven de 25 años residente en Herreruela de Oropesa
En Oropesa tienen de todo, pero aquí en nuestro pueblo apenas hay un médico una vez por semana.	Participante 156, adulto mayor de 67 años residente de Caleruela.
Sería esencial mejorar el transporte público y la conectividad digital para los jóvenes.	Participante 112, joven profesional residente en Oropesa.
El turismo rural tiene potencial, pero falta inversión, publicidad y apoyo institucional.	Participante 89, empresario local residente en El Puente del Arzobispo
La mayoría de los jóvenes no ven futuro aquí y se van a estudiar fuera para no regresar.	Participante 67, estudiante universitario residente en Azután.
La conectividad digital es pésima, no podemos ni trabajar online adecuadamente.	Participante 34, madre de familia residente en Navalcán.
Se necesitan más incentivos para que las pequeñas empresas puedan crecer y promocionarse aquí.	Participante 102, comerciante local residente en Lagartera.
El envejecimiento de la población es un problema grave, apenas hay jóvenes.	Participante 143, líder comunitario residente en Calera y Chozas.
Si mejoraran los servicios educativos, muchas familias jóvenes se quedarían aquí.	Participante 98, padre de familia residente en Alcolea de Tajo.

Fuente: elaboración propia.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.10

3.8. Análisis de regresión

El coeficiente de regresión múltiple en este estudio permite identificar y cuantificar el impacto relativo de varios factores sobre un fenómeno específico, como la despoblación o la calidad de vida. Éste ayuda a priorizar acciones al señalar qué variables (falta de empleo, servicios básicos, conectividad digital) tienen mayor influencia. También ayuda a prever cómo los cambios en estas variables pueden mejorar los resultados, analizar la interacción entre factores y tomar decisiones estratégicas basadas en evidencia. En esencia, proporciona un enfoque cuantitativo para orientar políticas públicas e inversiones, maximizando su impacto en el desarrollo regional y abordando los principales desafíos estructurales de la comarca.

En este caso, el modelo de regresión múltiple refleja el impacto de diversas variables independientes sobre la tasa de despoblación en la comarca. Los coeficientes indican la magnitud y dirección de la relación entre cada variable y la variable dependiente. Se observa que variables como el acceso a servicios básicos, las oportunidades laborales y la inversión en programas de desarrollo rural presentan un impacto negativo relevante sobre la tasa de despoblación, lo que sugiere qué mejoras en estos factores podrían reducir de manera efectiva el abandono del territorio (tabla 9). En cambio, variables como la infraestructura de transporte y el nivel de conectividad digital, aunque muestran una relación negativa, tienen un impacto menos pronunciado, lo que podría indicar que su influencia es más indirecta o que dependen de otros factores complementarios para ser realmente efectivas.

Tabla 9. Resultados de la regresión.

Variable independiente	Coeficiente β	Error estándar	t-valor	p-valor	Intervalo de confianza (95%)
Acceso a servicios sanitarios	-0.42	0.05	-8.4	0.0001	[-0.52, -0.32]
Acceso a servicios educativos	-0.35	0.07	-5.0	0.001	[-0.49, -0.21]
Acceso a servicios comerciales y culturales	-0.12	0.06	-2.0	0.045	[-0.24, 0.00]
Oportunidades laborales	-0.58	0.04	-14.5	1e-05	[-0.66, -0.50]
Nivel de desempleo	0.25	0.08	3.1	0.002	[0.09, 0.41]
Inversión en desarrollo rural	-0.45	0.05	-9.0	0.0003	[-0.55, -0.35]
Infraestructura de transporte	-0.2	0.07	-2.8	0.015	[-0.34, -0.06]
Conectividad digital	-0.33	0.06	-5.5	0.0008	[-0.45, -0.21]

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Instituto Nacional de Estadística (INE), Portal Estadístico de Castilla-La Mancha y trabajo de campo. Modelización basada en regresión múltiple aplicada sobre variables demográficas y socioeconómicas de la comarca de La Campana de Oropesa y Cuatro Villas.

Los resultados obtenidos en el modelo de regresión múltiple evidencian el impacto de diversos factores en la tasa de despoblación de la comarca. Destacan particularmente dos variables con un efecto negativo relevante sobre la despoblación:

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.10

- Oportunidades laborales (β = -0.58, p < 0.00001): Se trata de la variable con mayor peso en el modelo, lo que sugiere que la disponibilidad de empleo estable es el factor más determinante para fijar población en la comarca. A medida que aumentan las oportunidades laborales, se reduce la emigración de la población activa y joven, mitigando así la despoblación.
- Acceso a servicios sanitarios (β = -0.42, p < 0.0001): La presencia de infraestructuras sanitarias adecuadas influye de manera considerable en la retención de población, especialmente en municipios con alto índice de envejecimiento. La correlación negativa con la tasa de despoblación confirma que una mayor cobertura sanitaria puede contribuir a la estabilización demográfica.
- Además, se observan otros factores destacados:
- Acceso a servicios educativos (β = -0.35, p = 0.001): El efecto negativo de esta variable indica que una mejor dotación educativa favorece el asentamiento de familias jóvenes, lo que puede tener un impacto positivo en la natalidad.
- Inversión en desarrollo rural (β = -0.45, p = 0.0003): Sugiere que el fortalecimiento de infraestructuras y programas de apoyo al medio rural es clave para frenar la emigración.
- Nivel de desempleo (β = 0.25, p = 0.002): Esta variable presenta una relación positiva con respecto a la despoblación, lo que evidencia que a mayor desempleo, mayor es el éxodo de habitantes.

Por otro lado, el intervalo de confianza sugiere que los coeficientes más robustos corresponden a las variables de oportunidades laborales y acceso a servicios básicos, ya que sus intervalos son más estrechos y no cruzan el valor cero, lo que refuerza su impacto estadísticamente representativo. Por otro lado, las variables con intervalos más amplios presentan mayor incertidumbre en su estimación. Este análisis sugiere que las políticas públicas y estrategias de desarrollo deben priorizar aquellas variables con mayor impacto demostrado, especialmente las relacionadas con la creación de empleo y la mejora en el acceso a servicios esenciales, complementadas con intervenciones en infraestructuras y digitalización para reforzar su efectividad (figura 3).

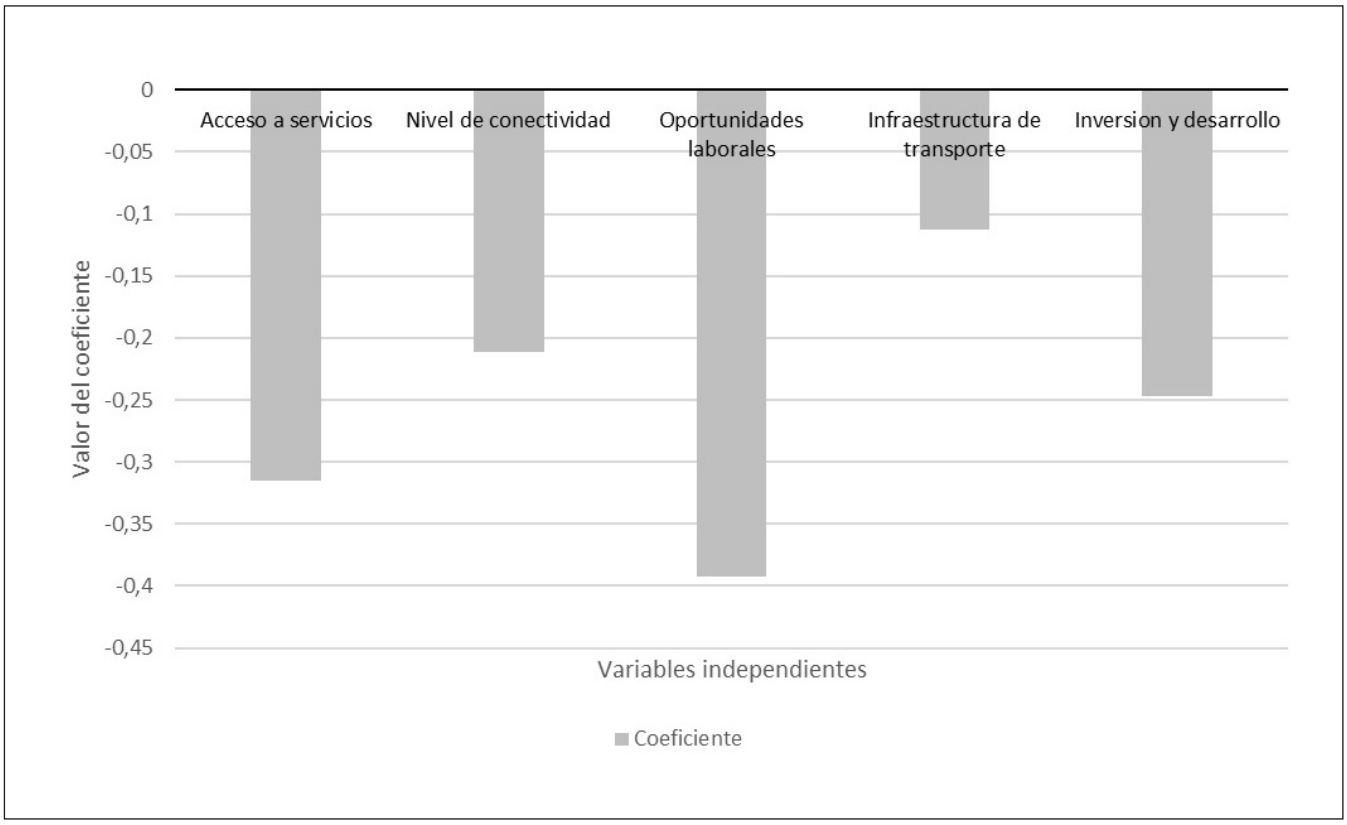


Figura 3. Modelo de regresión múltiple. Fuente: elaboración propia.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.10

3.9. Impacto de la dotación de servicios esenciales e infraestructuras públicas en la mitigación de las tendencias demográficas negativas

El análisis de la correlación entre la dotación de servicios (sanitarios, educativos, culturales y comerciales) y los principales indicadores demográficos muestra relaciones relevantes (figura 4). La presencia de servicios de salud se asocia positivamente con el crecimiento poblacional (correlación de 0,87), planteando que su disponibilidad contribuye a retener y atraer residentes. A su vez, la correlación negativa con el envejecimiento poblacional (- 0,87) indica que estos servicios podrían ayudar a rejuvenecer la demografía al mejorar las condiciones de vida. Los servicios educativos también evidencian un efecto positivo en el crecimiento poblacional (0,58) y una fuerte relación con la tasa de natalidad (0,87), lo que resalta su papel en la atracción de familias jóvenes. La relación negativa con la mortalidad (- 0,87) refuerza su vinculación con mejores condiciones de salud y bienestar.

En contraste, los servicios culturales muestran una correlación débil con el crecimiento poblacional (0,0), limitando su impacto en la retención de habitantes. Por el contrario, los servicios comerciales presentan una relación positiva tanto con el crecimiento demográfico (0,58) como con la natalidad (0,87), indicando su relevancia en la creación de entornos atractivos para la población activa. En general, los servicios sanitarios, educativos y comerciales contribuyen a la mitigación de las tendencias de despoblación, mientras que la limitada influencia de los servicios culturales sugiere la necesidad de diversificar la oferta. La desigual distribución de estos servicios representa una barrera para maximizar su impacto, subrayando el interés de estrategias integradas que mejoren el acceso a estos recursos en todo el territorio.

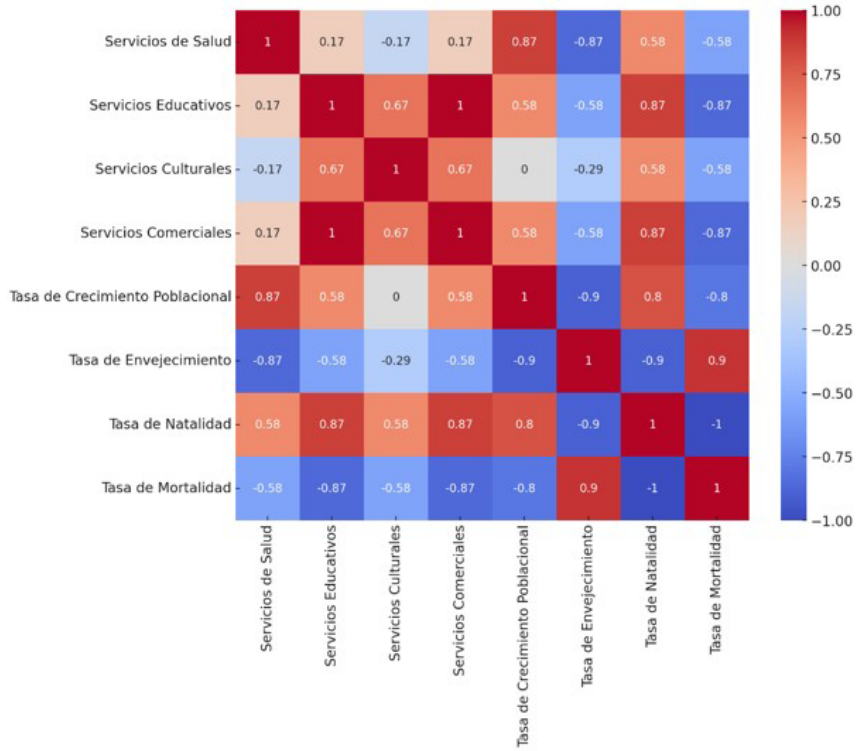


Figura 4. Matriz de correlación de los servicios públicos con los principales indicadores demográficos. Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE). Movimiento natural de la población española y datos municipales. Elaboración propia.

Figura 4. Matriz de correlación de los servicios públicos con los principales indicadores demográficos. Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE). Movimiento natural de la población española y datos municipales. Elaboración propia.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.10

3.10. Servicios de interés general privados con carácter social

La dotación de servicios e infraestructuras privadas en La Campana de Oropesa y Cuatro Villas presenta un impacto desigual en la mitigación de las tendencias demográficas negativas que afectan a la comarca (tabla 10). Aunque algunos núcleos urbanos disponen de servicios médicos privados, farmacias y comercio minorista, su distribución concentrada restringe el acceso equitativo a estos recursos, especialmente en municipios periféricos, reduciendo su atractivo para familias y personas mayores. La escasa presencia de servicios bancarios en más de la mitad de los municipios dificulta el desarrollo económico local y limita la retención de residentes. Esta disparidad en el acceso a servicios esenciales perpetúa la migración hacia áreas mejor dotadas y disminuye la capacidad de los municipios menos favorecidos para retener población (Hortelano, 2024).

Los servicios culturales y recreativos privados, al ser escasos y concentrados, ofrecen pocas oportunidades para el ocio y la cohesión social, afectando principalmente a la población joven. Si bien el comercio minorista satisface necesidades básicas en la mayoría de los municipios, su ausencia en otros genera disparidad en el acceso a bienes esenciales. En conjunto, la prestación de servicios privados contribuye parcialmente a suavizar las tendencias demográficas, pero su impacto está limitado por una distribución centralizada y una cobertura insuficiente. Es necesario ampliar la oferta de manera equitativa, adaptada a las necesidades locales, para fortalecer el atractivo de la comarca y promover un desarrollo económico y social sostenible.

Tabla 10. Servicios de interés general privados con carácter social.

Ámbitos administrativos	Centros de atención médica	Estación de servicio	Comercio minorista	Farmacias	Bares y restaurantes	Entidades bancarias	Unidades veterinarias	Centros educativos privados	Servicios de atención social	Servicios culturales y recreativos	Servicios de transporte	Servicios de alimentación y nutrición
Alcañizo												
Alcolea de Tajo												
Azután												
Calera y Chozas												
Caleruela												
Calzada de Oropesa (La)												
Herreruela de Oropesa												
Lagartera												
Mejorada												
Montesclaros												
Navalcán												
Navalmoralejo												
Oropesa												
Parrillas												
Puente del Arzobispo (El)												
Segurilla												
Torralba de Oropesa												
Torrico (El)												
Valdeverdeja												
Velada												
Ventas de San Julián (Las)												

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Política Territorial y Memoria Democrática. Encuesta de Infraestructuras y Equipamientos Locales (EIEL).

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.10

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La presente investigación realiza un análisis sobre las dinámicas demográficas y socioeconómicas que afectan a la comarca de La Campana de Oropesa y Cuatro Villas (Toledo), destacando cómo la dotación y distribución de servicios esenciales son factores determinantes en la mitigación de las tendencias regresivas. Los hallazgos evidencian que la distribución desigual de servicios como salud, educación y conectividad digital favorece el declive demográfico, especialmente en municipios periféricos (Sebastián, 2016). Además, se destaca la integración de metodologías cuantitativas y cualitativas que permiten complementar los datos con percepciones comunitarias, aportando un enfoque más integral.

Así pues, los resultados de la investigación ponen de manifiesto una serie de patrones recurrentes que explican la dinámica demográfica y socioeconómica de la comarca de La Campana de Oropesa y Cuatro Villas. Estos patrones reflejan la interrelación entre la dotación de servicios, las oportunidades económicas y la evolución poblacional, evidenciando cómo factores estructurales como el acceso a infraestructuras básicas, la distribución del empleo y la digitalización pueden incidir en la retención o el éxodo de habitantes.

A continuación, se sintetizan los principales hallazgos del estudio, agrupados en categorías clave que permiten visualizar de manera estructurada las tendencias detectadas (tabla 11). Esta sistematización facilita la identificación de los aspectos críticos a abordar en el diseño de estrategias de intervención para la revitalización del territorio.

Tabla 11. Tendencias y patrones detectados en la investigación.

Categoría	Tendencias y patrones identificados
Declive demográfico	Pérdida de población en 16 de los 21 municipios (-0,58 % entre 2001 y 2023). Persistencia en la distribución poblacional en municipios más grandes.
Envejecimiento	Elevada tasa de vejez (27,38 %), con 19 de 21 municipios superando el 30 % de población mayor de 65 años.
Desigualdad en la dotación de servicios	La centralización de servicios en pocos municipios exacerba la despoblación en zonas periféricas. Correlación positiva entre disponibilidad de servicios esenciales y crecimiento poblacional.
Migración y empleo	Migración juvenil hacia Talavera de la Reina y Madrid. Reducción del empleo en los sectores primario y secundario (-8,61 % total de trabajadores). Crecimiento del sector servicios (+26,04 %).
Impacto de la conectividad digital	Baja calidad de conexión que limita el teletrabajo y emprendimiento. Alta correlación entre digitalización y crecimiento poblacional.
Turismo y desarrollo rural	Potencial económico del turismo rural poco aprovechado debido a falta de inversión y apoyo institucional.
Percepción ciudadana	Falta de servicios sanitarios adecuados (45 %) y de empleo (50 %) son los principales problemas identificados en las entrevistas.

Fuente: elaboración propia.

En este sentido, se contrastan los resultados con estudios previos, como los de Camarero (2020), enfatizando la relevancia de la conectividad digital y el turismo rural como motores económicos complementarios, siempre que se acompañen de estrategias de apoyo institucional y una inversión adecuada (Cebrián & García, 2009).

En comparación con la literatura existente, este trabajo coincide con investigaciones como las de Martínez-Navarro *et al.* (2022), que resaltan la significación de los servicios educativos y sanitarios para retener a la población joven, y amplía el análisis al subrayar la necesidad de una distribución más equitativa de estos servicios. Este enfoque permite superar las disparidades entre municipios centrales y periféricos, aspecto

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.10

también abordado por Hortelano (2023). Asimismo, la concentración de servicios en núcleos como Oropesa exacerba desigualdades estructurales que promueven la migración hacia áreas mejor dotadas (Casas, 2022), mientras que la limitada presencia de servicios culturales y recreativos reduce su impacto como factores de cohesión social y retención poblacional (Jurado & Pazos, 2022).

A su vez, los resultados obtenidos en el análisis de La Campana de Oropesa y Cuatro Villas (Toledo) encuentran paralelismos elocuentes con estudios previos sobre otras regiones rurales españolas afectadas por el fenómeno de la despoblación. Este enfoque comparativo permite extraer aprendizajes y ampliar las estrategias de intervención para abordar el reto demográfico. El trabajo realizado por el Centro de Estudios sobre Despoblación y Desarrollo de Áreas Rurales (CEDDAR) destaca que la despoblación en el interior de España no solo es un fenómeno localizado, sino que afecta a extensas áreas del territorio nacional, como el Sistema Ibérico (Cuenca, Soria y Teruel). Estas regiones comparten características con La Campana de Oropesa y Cuatro Villas, como la baja densidad de población, el envejecimiento demográfico y la concentración desigual de servicios básicos (Pinilla & Sáez, 2017).

En este sentido, los trabajos subrayan la influencia crítica de la redistribución desigual de servicios esenciales (salud, educación y transporte) en la aceleración del declive poblacional. En el caso de Soria, Cuenca y Teruel, así como en Toledo, las deficiencias en conectividad digital y acceso a servicios básicos generan una dinámica de exclusión territorial que empuja a los jóvenes y las familias a emigrar hacia zonas urbanas mejor dotadas. El intercambio de experiencias entre regiones afectadas podría fomentar soluciones adaptadas a las características específicas de cada territorio. En este sentido, el análisis de las dinámicas demográficas en La Campana de Oropesa y Cuatro Villas subraya la necesidad de articular medidas coordinadas que combinen políticas nacionales, regionales y locales, como ocurre en las regiones de referencia mencionadas en el trabajo de CEDDAR.

Con base en los resultados, se proponen estrategias de descentralización de servicios esenciales mediante incentivos económicos y colaboraciones público-privadas, así como programas fiscales dirigidos a atraer empresas que generen empleo y dinamicen la economía local (Membrado *et al.*, 2023). En este contexto, el turismo rural se identifica como una estrategia clave, potenciable a través de campañas publicitarias, mejora de infraestructuras y promoción institucional (Jurado & Pazos, 2016). Además, se destaca la conectividad digital como un factor crucial para el desarrollo sostenible, facilitando el teletrabajo y el acceso a recursos educativos en línea. Estas propuestas deben complementarse con un enfoque integral que fomente el emprendimiento y diversifique la economía local, especialmente en sectores con capacidad de generar empleo estable, contribuyendo así a mitigar los efectos del envejecimiento y la despoblación (Ruíz & Martínez, 2022).

Por último, se hace imprescindible un enfoque colaborativo que involucre a las administraciones públicas, el sector privado y las comunidades locales para fortalecer la cohesión territorial y mejorar la calidad de vida (Martín *et al.*, 2020; Fernández *et al.*, 2009). Se plantean políticas de incentivo para el asentamiento de jóvenes y familias, como ayudas a la vivienda, acceso subvencionado a servicios educativos y programas de empleo local (Márquez, 2002). Además, el fortalecimiento del comercio minorista y de las pequeñas empresas mediante acceso a financiamiento y formación podría mejorar la cohesión social y revitalizar la economía local (Porcal, 2003). En conclusión, esta investigación enfatiza la combinación de estrategias para incrementar la accesibilidad, diversificar la oferta de servicios y crear oportunidades laborales como pilares para revertir las tendencias demográficas negativas y fomentar un desarrollo sostenible (Chirodea & Marian, 2024).

En definitiva, integrar las lecciones aprendidas de otras áreas rurales afectadas por la despoblación en el diseño de estrategias específicas para La Campana de Oropesa y Cuatro Villas puede no solo enriquecer las soluciones planteadas, sino también incrementar su efectividad en la revitalización territorial y socioeconómica de esta comarca.

Declaración responsable y conflicto de intereses

El autor se compromete a comunicar cualquier conflicto de intereses existente o potencial con relación a la publicación de la presente investigación.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.10

REFERENCIAS

Alario Trigueros, M., & Morales Prieto, E. (2020). Sostenibilidad y políticas de desarrollo rural: el caso de la Tierra de Campos vallisoletana. *Cuadernos Geográficos*, *59*(1), 224–246. https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v59i1.8642

Acuerdo de 14/12/2021, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba *la Estrategia Regional frente a la Despoblación en Castilla-La Mancha 2021-2031*. [2021/13274] (DOCLM n.º 245, de 23 de diciembre de 2021).

Camarero Rioja, L. (2013). *Tiempos de crisis en las áreas rurales*. *Las sociedades adaptativas.* Comunicación presentada al XI Congreso Español de Sociología. Madrid.

Camarero Rioja, L.A. (2020). Despoblamiento, baja densidad y brecha rural: un recorrido por una España desigual. *Panorama Social*, (31), 47-73.

Carchano, M. & Carrasco, I. (2019). Análisis de los factores que afectan al tamaño de la población de los municipios de Castilla- La Mancha. *Documentos de Trabajo. Seminario Permanente de Ciencias Sociales*, (14), 2.

Carretero Novillo, A. (2021). El reto demográfico de la despoblación en Castilla – La Mancha. *Simposium. Anuario de Estudios Humanísticos*, (1), 49-68.

Casas Casas, D. (2022). La involución demográfica en la Campana de Oropesa y Cuatro Villas (Toledo), escasa vitalidad, elevado envejecimiento y laxa ocupación territorial. In *XVII Coloquio Ibérico de Geografía. Nuevas fronteras y nuevos horizontes en la Geografía Ibérica: políticas y transformaciones territoriales* (pp.357-368). Libro de Actas. Salamanca, 4, 5 y 6 de julio de 2022.

Casas Casas, D. (2024). Aplicación y resultados de los Programas de Desarrollo Rural LEADER y PRODER en La Campana de Oropesa y Cuatro Villas (Toledo). *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, *44*(2), 375-403. https://doi.org/10.5209/aguc.97583

Casas Casas, D. (2025). Multifuncionalidad y diversificación del tejido económico de La Campana de Oropesa y Cuatro Villas (Toledo): pervivencias y cambios. *Cuadernos Geográficos*, *64*(1), 62-81. https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v64i1.31531

Cebrián Abellán, F., & García González, J.A. (2009). Dimensiones territoriales del turismo rural en Castilla - La Mancha. *Serie Geográfica*, (15), 79-91.

Chirodea, F., Soproni, L., & Marian, M. (2024). European Union Tools for the Sustainable Development of Border Regions. *Sustainability*, *16*(1), 388 https://doi.org/10.3390/su16010388

Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha (2021): Ley 2/2021, de 7 de mayo, de Medidas Económicas, Sociales y Tributarias frente a la Despoblación y para el Desarrollo del Medio Rural en Castilla-La Mancha. «DOCM» núm. 90, de 12 de mayo de 2021 «BOE» núm. 165, de 12 de julio de 2021 Referencia: BOE-A-2021-11513. https://www.boe.es/buscar/pdf/2021/BOE-A-2021-11513-consolidado.pdf

Delgado Viñas, C., Gil de Arriba, C., Hortelano Mínguez, L.-A., & Plaza Gutiérrez, J.I. (2004). La renovación rural en los espacios de montaña: las comarcas de la vertiente norte del sector central de la Cordillera Cantábrica. *Investigaciones Geográficas*, (33), 63–86. https://doi.org/10.14198/INGEO2004.33.01

Fernández Tabales, A., Pedregal Mateos, B., Rodríguez Mateos, J.C., Pita López, M.F., & Zoido Naranjo, F. (2009). El concepto de cohesión territorial. Escalas de aplicación, sistemas de medición y políticas derivadas. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (50). https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/1109

García Fernández, J. (1984). *Sobre el concepto de "desertización y Castilla*. Lección inaugural del curso 1984-85 de la Universidad de Valladolid, Universidad de Valladolid.

García Fernández, J. (1997). *Del movimiento natural de la población en Castilla y León*. Valladolid, Universidad de Valladolid.

Gómez-Pellón, E. (2022). Estrategias frente a la despoblación: el caso del commuting en un área de ruralidad extrema del norte de España. *AGER: Revista de Estudios sobre Despoblación y Desarrollo Rural (Journal of Depopulation and Rural Development Studies)*, (34), 1-29. https://doi.org/10.4422/ager.2022.05

Herranz Aguayo, I., & García Díaz, E. (2021). Perfil sociodemográfico de la población mayor en Castilla-La Mancha. In Herranz Aguayo, I., Arias Fernández, E., Lirio Castro, J., Portal Martínez, E., Alonso González, D., Bejarano Franco, M., Díaz García, O., … Portal Martínez, E. (Eds.) *Nuevos perfiles de envejecimiento a principios del siglo XXI: estudio cuantitativo en Castilla-La Mancha* (pp. 81-98). Dykinson. https://doi.org/10.2307/j.ctv282jhdd.8

Hortelano Mínguez, L.A. & Martín Jiménez, M.ª.I. (2022). El "reto demográfico» del sector central de la raya hispano-portuguesa: visibilidad del problema y transferencia de soluciones. In R. Martínez Cárdenas, L.F. Cabrales Barajas,

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.10

M de la Calle Vaquero, M, García Hernández, M.C. Mínguez García, & L. Troitiño Torralba, L. (Coords). *Leyendo el territorio. Homenaje a Miguel Ángel Troitiño* (pp.522-533). Universidad de Guadalajara.

Hortelano Mínguez, L.A. (2023). Los retos demográficos de Castilla y León para el siglo XXI. In *Gestionando la despoblación* (pp. 23-42). Aranzadi.

Hortelano Mínguez, L.A. (2024). Prestación y garantía de los servicios de proximidad con un carácter social en el medio rural de Castilla y León. In M.M. Fernando Pablo & J.L. Domínguez Álvarez (Dir.) *Rural renaissance: normas, territorio y conflicto*, (pp. 249-268). Colex. https://doi.org/10.69592/978-84-1194-740-4-CAP11

Junta de Castilla- La Mancha (2021):Estrategia frente a la despoblación en Castilla- La Mancha (2021-2031). https://www.castillalamancha.es/sites/default/files/documentos/pdf/20220722/dossier_9_digital_3.pdf

Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha (2011). *Plan de zona de La Campana de Oropesa*. http://www.castillalamancha.es

Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha (2014). *Estrategia de desarrollo inteligente del territorio de La Campana de Oropesa 2014-2020*.

Jurado Almonte, J.M. & Pazos-García F.J. (2016). Población y turismo rural en territorios de baja densidad demográfica en España. (2016). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (71). https://doi.org/10.21138/bage.2282

Jurado Almonte, J.M. & Pazos-García F. J. (2022). Población y sostenibilidad territorial de los espacios rurales en España y Portugal. *Cuadernos Geográficos, 61*(2), 61-87. https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v61i2.23878

Ley 2/2021, de 7 de mayo, de *Medidas Económicas, Sociales y Tributarias frente a la Despoblación y para el Desarrollo del Medio Rural en Castilla-La Mancha* (DOCLM n.º 90, de 12 de mayo de 2021).

Márquez Domínguez, J.A. (2002). Empleo y nuevas tareas rurales para el desarrollo local. *Investigaciones Geográficas*, (29), 57–69. https://doi.org/10.14198/INGEO2002.29.06

Marra, A., & Grimaldi, M. (2024). A Methodology to Address the Inner Areas Decline in Support of Sustainable Strategic Spatial Planning—The Case Study of Avellino Province (Italy). *Sustainability*, *16*(23), 10480. https://doi.org/10.3390/su162310480

Martín Cubas, J., Velasco Mentgod, J., Ojeda Izaguirre, I., Granell Oteiza, X., & Requena, I.C. (2020). Gobernanza democrática para el desarrollo: Las estructuras de cooperación en los municipios en riesgo de despoblación de la Comunitat Valenciana. *Economía Agraria y Recursos Naturales-Agricultural and Resource Economics, 19*(2), 133-162. https://doi.org/10.7201/earn.2019.02.07

Martínez Fernández, L.C. (2015). Tendencias y perspectivas de desarrollo rural en la provincia de Segovia: Oportunidades y límites. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense, 35*(1), 41-62. https://doi.org/10.5209/rev_AGUC.2015.v35.n1.48963

Martínez-Navarro, J.M., Escudero-Gómez, L. A., & García-González, J. A. (2022). Shrinking cities en España: las ciudades medias en decrecimiento en el siglo XXI, despoblación y empleo. *Libro de trabajos aportados al XVI Coloquio de Geografía Urbana*, (pp. 269-278).

Martínez Sánchez-Mateos, H.S. (2008). *La estructura del transporte y sus implicaciones territoriales en Castilla-La Mancha*. [Doctoral dissertation]. Universidad de Castilla-La Mancha.

Membrado Tena, J.C., Martín Cubas, J., Fansa, G., & Hermosilla Pla, J. (2023). Ordenación territorial supramunicipal de tipo bottom-up y top-down en España: el caso valenciano. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (96). https://doi.org/10.21138/bage.3251

Molinero Hernando, F. (2019). El espacio rural de España: evolución, delimitación y clasificación. *Cuadernos Geográficos, 58*(3), 19-56. https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v58i3.8643

Monteagudo López-Menchero, J. (2010). Población y territorio en Castilla-La Mancha: 1900-2008. Una aproximación comarcal y municipal. In *Las escalas de la geografía. Del mundo al lugar: homenaje al profesor Miguel Panadero Moya* (pp. 49-106). Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha.

Pinilla, V., & Sáez, L.A. (2017). La despoblación rural en España: génesis de un problema y políticas innovadoras. *Informes CEDDAR*, *2*, 1-24.

Porcal Gonzalo, M.C. (2003). Propuestas de actuación para el desarrollo turístico sostenible de una comarca rural de media montaña. *Investigaciones Geográficas*, (32), 65–90. https://doi.org/10.14198/INGEO2003.32.07

Programa de Desarrollo Rural de Castilla- La Mancha, 2007-2013. Junta de Comunidades de Castilla- La Mancha, 2008.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.10

Ragosta, M., Daniele, G., Imbrenda, V., Coluzzi, R., D'Emilio, M., Lanfredi, M., & Matarazzo, N. (2024). Land Transformations in Irpinia (Southern Italy): A Tale on the Socio-Economic Dynamics Acting in a Marginal Area of the Mediterranean Europe. *Sustainability*, *16*(19), 8724. https://doi.org/10.3390/su16198724

Ruíz Pulpón, A.R., & Martínez Sánchez-Mateos, H.S. (2022). Accesibilidad y procesos de despoblación rural: propuesta metodológica de Castilla-La Mancha (España). *Cuadernos Geográficos, 61*(1), 5-23. https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v61i1.22409

Salvador Hernández, P.P. (Dir.), (2016). *Mayores en La Campana de Oropesa. Toledo*: Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

Sancho Comíns, J., & Reinoso Moreno, D. (2012). La delimitación del ámbito rural: una cuestión clave en los programas de desarrollo rural. *Estudios Geográficos*, *Vol. LXXIII* (273), 559-624. https://doi.org/10.3989/estgeogr.201221

Servicio de Estadística de Castilla-La Mancha (2023). *Fichas por municipio*. https://estadistica.castillalamancha.es/

Sebastián Delgado, J. (2016). Pobreza, desigualdad y exclusión social en Castilla-La Mancha. *Praxis sociológica*, (20), 129-145.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.10

Revista de Estudios Andaluces (REA) | Núm. 50, julio (2025) | e-ISSN: 2340-2776
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50 | © Editorial Universidad de Sevilla 2025
https://editorial.us.es/es/revistas/revista-de-estudios-andaluces
https://revistascientificas.us.es/index.php/REA
CC BY-NC-SA 4.0.

Cartographie des géo-ressources du plateau de Lakhssas et du massif d'Ifni (Maroc): une perspective géomatique et géotechnique

Geo-resource mapping in the Lakhssas plateau and Ifni massif, Morocco: a geomatics and geotechnical perspective

Cartografía de recursos geográficos en la meseta de Lakhssas y el macizo de Ifni, Marruecos: una perspectiva geomática y geotécnica

Mohamed Mahmoud Sebbab
mohamedmahmoud.sebbab@edu.uiz.ac.ma 0000-0001-6520-9129
Abdelhadi El Ouahidi
a.elouahidi@uiz.ac.ma 0009-0008-9407-4508

Spaces, Societies, Environment, Planning and Development Laboratory, Department of Geography and Planning, Faculty of Languages, Arts and Human Sciences- Ait Melloul, Ibnou Zohr University, Ait Melloul. Route Nationale N°10 cite d'Azrou à côté de l'institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II Ait Melloul, Morocco.

Mohamed Atik
m.atik@uiz.ac.ma 0009-0006-3066-9647
Spaces, Societies, Environment, Planning and Development Laboratory, Department of Geography and Planning, Faculty of Languages, Arts and Human Sciences- Ait Melloul, Ibnou Zohr University, Ait Melloul. Route Nationale N°10 cite d'Azrou à côté de l'institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II Ait Melloul, Morocco. UMI SOURCE (Unité Mixte Internationale Soutenabilité et Résilience), Université de Versailles Saint Quentin en Yvelines. 47 Boulevard Vauban,78280, Guyancourt, France.

Hamza Taghlaoui
hamza.taghlaoui@uit.ac.ma 0009-0008-8210-9339
Laboratory of Territories, Environment, and Development, Faculty of Human and Social Sciences, Ibn Tofail University. Avenida de L'Université, BP 401, Kenitra, Morocco.

Abdessamad El Atillah
elatillah@gmail.com 0000-0003-2739-2617
Spaces, Societies, Environment, Planning and Development Laboratory, Department of Geography and Planning, Faculty of Languages, Arts and Human Sciences- Ait Melloul, Ibnou Zohr University, Ait Melloul. Route Nationale N°10 cite d'Azrou à côté de l'institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II Ait Melloul, Morocco.

Mehdi Ousbih
ousbih.mehdi@gmail.com 0000-0002-3312-614X
Laboratory of Applied Geology, Faculty of Sciences and Techniques, Moulay Ismaïl University of Meknes. P.O. Box 509 Boutalamine, Errachidia, 52000, Morocco.

Khadija Sebbab
khadijasebbab@gmail.com 0009-0007-4615-9702
Multidisciplinary faculty of Es Semara, Ibnou Zohr University. B.P 195, Es-Smara, Morocco.

DOI: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.11
Formato de cita / Citation: Sebbab, M.M., El Ouahidi, A., Atik, M., Taghlaoui. H., El Atillah, A., Ousbih, M., & Sebbab, K. (2025). Geo-resource mapping in the Lakhssas plateau and Ifni massif, Morocco: a geomatics and geotechnical perspective. *Revista de Estudios Andaluces* (50), 245-265. https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.11
Correspondencia autores: mohamedmahmoud.sebbab@edu.uiz.ac.ma (Mohamed Mahmoud Sebbab)

INFO ARTÍCULO

Reçu: 08-03-2025
Révisé: 03-04-2025
Accepté: 05-04-2025

MOTS-CLÉS

Carrières; SIG
Géo-ressources
Géotechnique
Massif d'Ifni
Plateau de Lakhssas

RÉSUMÉ

Une évaluation approfondie des géo-ressources du plateau de Lakhssas et du massif d'Ifni a été menée en vue d'optimiser l'implantation de carrières. La méthodologie mise en œuvre repose sur la caractérisation géomécanique des affleurements rocheux, couplée à une analyse spatiale par Système d'Information Géographique (SIG). Un échantillonnage représentatif a permis de réaliser des essais géotechniques en laboratoire. Les résultats ont été classifiés selon les normes (Marocaines et Européenne). L'intégration de ces données au SIG a généré une cartographie géotechnique identifiant cinq classes de potentiel d'exploitation: Haut, Moyen, Bas, Très Bas et Nul. L'analyse spatiale démontre qu'environ 72 % de la zone d'étude affiche un potentiel élevé. Cette approche combinant données de terrain et géomatique offre un outil d'aide à la décision performant pour la gestion durable des ressources extractives et la préservation du patrimoine géologique, constituant un cadre méthodologique rigoureux pour le développement responsable du secteur.

KEYWORDS

Quarries
GIS
Geo-resource
Geotechnical Engineering
Massif of Ifni
Lakhssas plateau

ABSTRACT

A comprehensive geo-resource assessment of the Lakhssas plateau and Ifni massif was undertaken to optimize quarry siting. The methodology employed involved geomechanical characterization of rock outcrops, coupled with spatial analysis using a Geographic Information System (GIS). Representative sampling was used to conduct geotechnical tests in the laboratory. Results were classified according to standards (Moroccan and European). Integration of these data within the GIS yielded a geotechnical map delineating five classes of exploitation potential: High, Medium, Low, Very Low, and None. Spatial analysis revealed that approximately 72% of the study area exhibits high potential. This integrated field– and GIS-based approach provides a robust decision-support tool for sustainable management of extractive resources and preservation of geological heritage, establishing a rigorous methodological framework for responsible development of the quarrying sector.

PALABRAS CLAVE

Canteras
SIG
Georrecursos
Geotecnia
Macizo de Ifni
Meseta de Lakhssas

RESUMEN

Se llevó a cabo una evaluación exhaustiva de los recursos geográficos de la meseta de Lakhssas y el macizo de Ifni para optimizar la ubicación de las canteras. La metodología empleada se basó en la caracterización geomecánica de los afloramientos rocosos, junto con un análisis espacial mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG). Se utilizó un muestreo representativo para realizar pruebas geotécnicas en el laboratorio. Los resultados se clasificaron según las normas marroquíes y europeas. La integración de estos datos en el SIG generó una cartografía geotécnica que delimita cinco clases de potencial de explotación: Alto, Medio, Bajo, Muy Bajo y Nulo. El análisis espacial reveló que aproximadamente el 72% del área de estudio presenta un alto potencial. Este enfoque integrado, basado en datos de campo y SIG, proporciona una herramienta robusta de apoyo a la decisión para la gestión sostenible de los recursos extractivos y la preservación del patrimonio geológico, estableciendo un marco metodológico riguroso para el desarrollo responsable del sector de las canteras.

1. INTRODUCTION

Le développement de toute société moderne est proportionnellement lié au domaine du génie civil (construction des bâtiment, routes et barrages…) qui font un usage intensif des matériaux issus de l'exploitation des carrières (ex: le gravier, les sables et les graviers) (Badino *et al.*, 2007). Cependant, comme toute activité industrielle, l'extraction des roches dans la zone, sujet de cette étude, pourrait avoir sûrement des impacts néfastes sur l'environnement. Alors, toute nouvelle étude doit explorer les conditions de l'exploitation des ressources et ses répercussions sur les équilibres écosystémiques et le niveau de dégradation des paysages et de l'environnement(Aishatu *et al.*, 2024; Jegede *et al.*, 2024; Rejith *et al.*, 2024a) dans un milieu géographique touché en plein fouet par les effets du changement climatique (Azagouagh, 2025; Othman & Haron, 2024; Punia & Singh, 2024; Grădinaru *et al.*, 2020; Langer, 2001).

L'augmentation de la demande pour ces ressources en raison du développement rapide des besoins socio-économiques mondiales(Mateane *et al.*, 2024; Shahane & Patel, 2024; Wani & Javed, 2013), a poussé la réflexion sur la manière de gérer les sites d'exploitation tout en valorisant ses ressources naturelles. Avec

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.11

l'évolution des systèmes d'information géographique (SIG), qui ont la capacité d'effectuer de multiples tâches de manipulation et d'analyse de données géospatiales, la prise de décision dans le domaine de la gestion des ressources naturelles (El Haddaoui *et al.*, 2025; Atik *et al.*, 2025; Abdo *et al.*, 2024; El-Wamdeni *et al.*, 2024; Messaoudi *et al.*, 2024; Musolino *et al.*, 2024; Rejith *et al.*, 2024b; Sharma *et al.*, 2024; Tarate *et al.*, 2024; Whig *et al.*, 2024; Ennassiri, 2021; Ennassiri & Mouak, 2021) devient plus efficace et interactive(Benaissa *et al.*, 2025; Pires *et al.*, 2023; AlFanatseh, 2022; Fawad *et al.*, 2022; Gudissa *et al.*, 2021, 2022; Kumar & Yarrakula, 2022; Pavesi *et al.*, 2021; Taoufik *et al.*, 2020; Arakawa & Nicholson, 2020; Barakat *et al.*, 2016). Dans le même sens, plusieurs auteurs ont traité la problématique de la gestion durable des ressources exploitables (Wani & Javed, 2013), par l'utilisation du SIG afin d'élaborer un modèle prédictif fondé sur des données géospatiales (géologie des roches, le réseau de transport, topographie et occupations du sol) afin d'identifier les zones optimales pour l'installation des nouvelles carrières (Escavy *et al.*, 2022; Khan *et al.*, 2022; Karakaş, 2014).

Tout implantation d'une carrière est directement liée à la disponibilité des données lithologiques, pétrographiques, géochimiques et géotechniques des affleurements géologiques (Mesrar *et al.*, 2012). Ainsi, la détermination des caractéristiques physico-mécaniques de chaque unité rocheuse, selon les normes européennes (AFNOR) et Marocaine en vigueur, par les essais géotechniques est une étape indispensable pour identifier et classer les gisements potentiels.

La zone d'étude qui fait partie de l'Anti Atlas Occidentale (Maroc), présente des réserves potentielles qui ont favorisé l'ouverture des carrières sans études préalables d'optimisation de l'exploitation et qui prennent en mesure l'impact sur l'environnement. Dans ce cadre, notre travail est un essai de cartographie des paramètres géotechniques favorisant l'exploitation, en adoptant l'outil SIG, pour identifier, quantifier les ressources et orienter les exploitants vers les zones optimales pour l'ouverture de nouvelles carrières.

Dans cet article, nous aborderons d'abord la situation géographique et le cadre géologique et géomorphologique de la zone d'étude, avant d'enchainer vers la détermination des paramètres physiques et mécaniques, qui sont des paramètres intrinsèques des roches et non liés à la phase de production (concassage, lavage...), qui seront couplés avec les données spatiales par le SIG et pouvoir à la fin l'extraction des cartes thématiques à caractère décisionnelle et qui seront des bases de données géoréférencées utiles pour toute planification dans le futur.

2. ZONE D'ETUDE

L'étude concerne deux unités géomorphologiques qui font partie de l'Anti Atlas Occidental, à savoir le plateau calcaire de Lakhssas à l'est et la boutonnière d'Ifni à l'ouest. Selon le nouveau découpage administratif du Maroc de 2015 (Bulletin Officiel, 2015), elles appartiennent respectivement aux régions de Sous Massa et Guelmim Oued Noun (figure 1), avec une superficie de l'ordre de 2618,19 Km^2. Géographiquement, la zone d'étude est limitée à l'ouest par l'océan atlantique, au sud par la plaine semi désertique de Guelmim, au nord le plateau calcaire de Tiznit et à l'est par La boutonnière paléozoïque de Kerdous.

La zone d'étude comporte trois domaines morphologiques (figure 1) :

- Le plateau de Lakhssas qui forme une barrière accidentée avec une altitude de 1200m entre la dépression de Guelmim au sud (400 à 600 m) et la plaine de Tiznit au nord (100 à 400 m). Le plateau de Lakhssas est un repli anticlinal complexe se relevant vers l'ouest, surplombant en corniche la boutonnière d'ifni et il avance en éperon par un talus d'altitude de 300 à 500m dans les dépressions bordières (Oliva, 1978). La couverture sédimentaire de la bordure de la boutonnière d'ifni dont l'altitude varie entre 400 et 700m est dominée par les phénomènes karstiques de surface et souterraines.
- La boutonnière d'ifni dont les altitudes atteignent 200m dans la zone centrale et frôlent les 1100 m dans les zones à roches volcaniques surtout rhyolitiques. Elle est creusée en dépression par rapport au plateau de Lakhssas. La zone centrale à relief aplatie, est dominée par des granites Paléoprotérozoïque recouverts à leur tour par des roches paléozoïques et post-paléozoïques qui forment des arrêtes bien visibles (Benziane *et al.*, 2015f).

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.11

- La plate-forme littorale le long de la côte Ouest de la boutonnière d'ifni avec une altitude entre 30 et 100m. La falaise vive domine la frange côtière de 50m et en contrebas de la falaise, le long de la cote, on reconnait des falaises mortes du Quaternaire moyen et du Flandrien (Benziane *et al.*, 2015f).

Sur le plan structural et géologique, la zone d'étudie appartiens à l'Anti Atlas (figure 2) (Gasquet *et al.*, 2008) qui est subdiviser en trois principaux domaines structuraux:

- L'Anti-Atlas Central de part et d'autre et le long de l'accident majeur de l'Anti-Atlas (Leblanc, 1975).
- L'Anti-Atlas Oriental au nord-est de cet accident.
- L'Anti-Atlas Occidental au sud-ouest de cet accident et Il représente le bord frontal du craton ouest africain (Leblanc & Lancelot, 1980).

Nombreuses boutonnières anté-cambriennes où affleurent des granitoïdes du protérozoïque à couverture néoprotérozoïque terminal et paléozoïque constitué l'Anti Atlas surtout l'Anti Atlas Occidental dont la boutonnière d'Ifni et le plateau de Lakhssas font partie (figure 3).

La boutonnière d'Ifni a vécu une histoire géologique qui commence du paléoprotérozoïque aucénozoïque passant par le néoprotérozoïque, paléozoïque et mésozoïque (Benziane & Yazidi, 1982; Thomas *et al.,* 2004; Mortaji *et al.,* 2007). Elle est formée de divers granitoïdes entourés de formations volcaniques et volcano-sédimentaires, qui s'ennoient au Nord, I'Est et au Sud sous la couverture carbonatée (figure 4). Le socle est formé exclusivement par les granites éburnéenes (Benziane & Yazidi, 1982). Il affleure à l'Est de la boutonnière, dans la plaine de Tiyoughza, dans le douar d'Alouzad, montrant une texture grossière, et au Nord, au contact du massif néoprotérozoïque du Sahel où il est plus fin. La couverture néoprotérozoïque est représentée par des grès quartzitiques du Groupe de Lkst appartenant au Supergroupe Anti-Atlas (Thomas *et al.*, 2004),des formations volcano-sédimentaires inférieures et supérieures du Supergroupe de Ouarzazate (Mortaji *et al.*, 2007). Ces formations sont recoupées par deux groupes de granitoïdes panafricains: Cryogéniens représentés dans l'ordre chronologique par le massif de Mesti puis celui d'Ifni et ceux Ediacarians représenté par les massifs du Taoulecht, du Tiyoughza et du Mirleft. Les calcaires du cambrien inférieur surmontent cette série.

En revanche, l'histoire géologique du plateau de Lakhssas se limite au paléozoïque et il est composé d'une dominance des roche carbonatées calcaro-dolomitique de l'adoudounien dont se développe un réseau karstique souterrain et de surface. Le plateau de Lakhssas est situé entre les boutonnières d'Ifni et de Kerdous. Il correspond à un grand synclinorium de roches carbonatées cambriennes montrant une structure anticlinale dans son noyau. Dans la partie centrale du plateau, les données gravimétriques et magnétiques suggèrent la présence d'un bloc de socle soulevé sous le massif calcaire déformé (Wanaim *et al.,* 2014). Cette structure est interprétée comme un horst produit par l'extension du protérozoïque supérieur, puis inversé au cours de la compression varisque (Soulaimani, 1998).

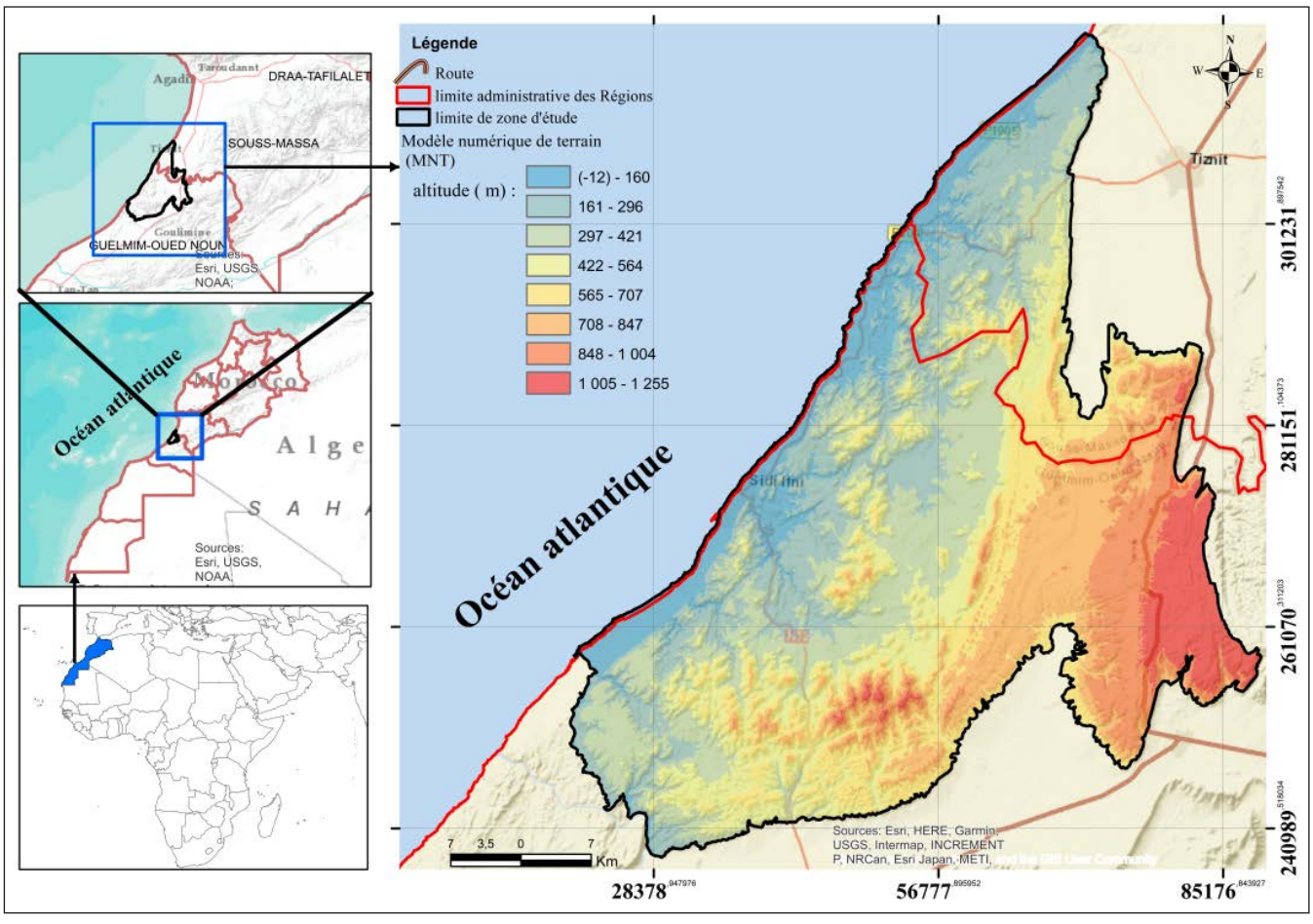


Figure 1. Localisation de la boutonnière d'Ifni et plateau de Lakhssas. Source: travail personnel et MNT (EarthExplorer, 2022).

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.11

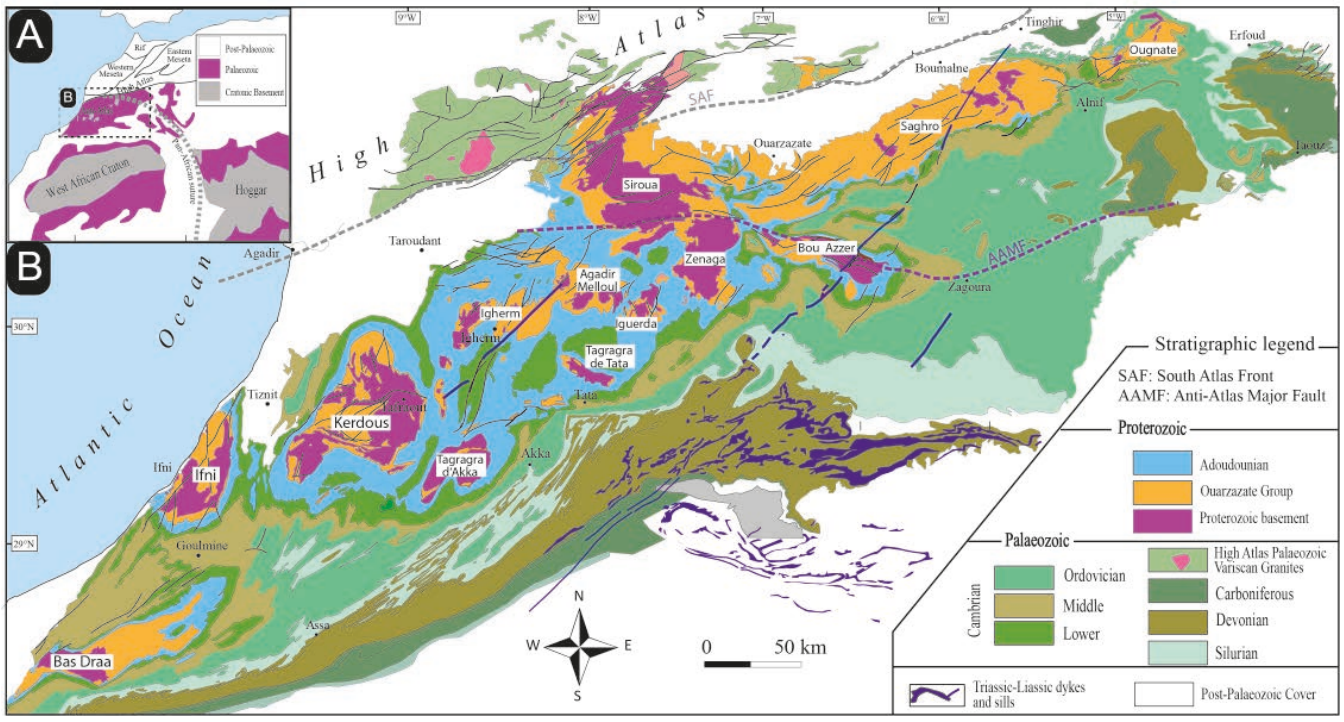


Figure 2. Carte géologique des boutonnières précambriennes de la chaine de l'Anti-Atlas. Source: modifiée d'après Gasquet *et al.*, 2008.

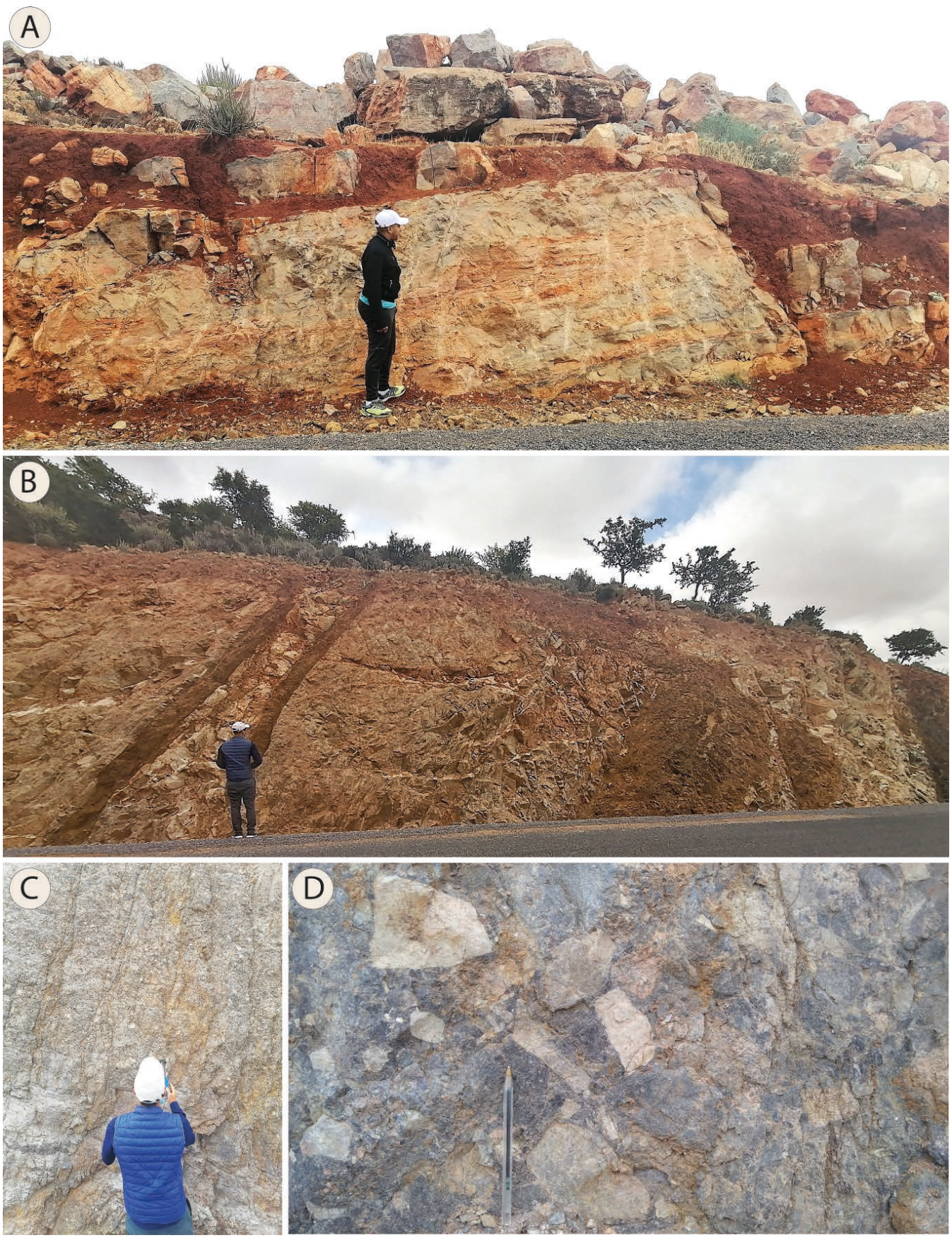


Figure 3. A) Alternance cyclique de dépôts à l'échelle métrique, empilés et calcaires-marnes ; B) Néoproterozoïque tranché par des digues mafiques ; C) Brèche volcanique monomique, caractérisée par des clastes lithiques angulaires provenant d'une seule source ; D) Interbedding rythmique des dépôts volcanoclastiques du Néoproterozoïque, présentant une couche décimétrique à l'échelle du mètre. Sources: clichés Sebbab Mohamed Mahmoud).

© Editorial Universidad de Sevilla 2024 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.11

3. MATERIELS ET METHODES

L'acquisition des données sur les ressources potentiellement exploitables et leur localisation dans une région est devenu une opération essentielle pour la gestion, la planification et l'aménagement du territoire. Le développement des techniques SIG, qui donnent à leurs utilisateurs la possibilité de gère et d'analyser les données spatiales, offre la possiblilté aux chercheurs scientifiques et exploitants techniques d'élaborer des cartes prédictives des éventuelles géoressources, qui offrent la possibilité d'évaluer la qualité géotechnique des affleurements rocheux dans une zone donné.

Dans notre étude, pour identifier les sites à ressources significatives sur le plan géotechnique, nous avons utilisé le SIG pour combiner les données acquis sur le terrain, les résultats des essais géotechniques et les normes de classification. Par la suite, extraire les cartes de classification des unités rocheuses selon leurs caractères physiques et mécaniques, puis en déduire les résultats sur les emplacements des zones potentielles à l'exploitation. Les étapes suivies pour produire la carte géotechnique des ressources sont résumées par un schéma conceptuel exposé dans la figure 4.

Les essais géotechniques ont nécessité la réalisation d'une campagne d'échantillonnage à partir des affleurements les plus représentatives en termes de quantité dans le domaine d'étude. La figure 5 montrent les échantillons étudiés, leurs classifications litho-stratigraphiques et leurs répartitions géographiques sur la carte géologique.

Pour chaque affleurement, trois exemplaires d'échantillons ont été prélevés et mises dans des sacs de plastique hermétique permettant une sauvegarde totale puis transmis au laboratoire afin de les passer aux différents protocoles expérimentaux.

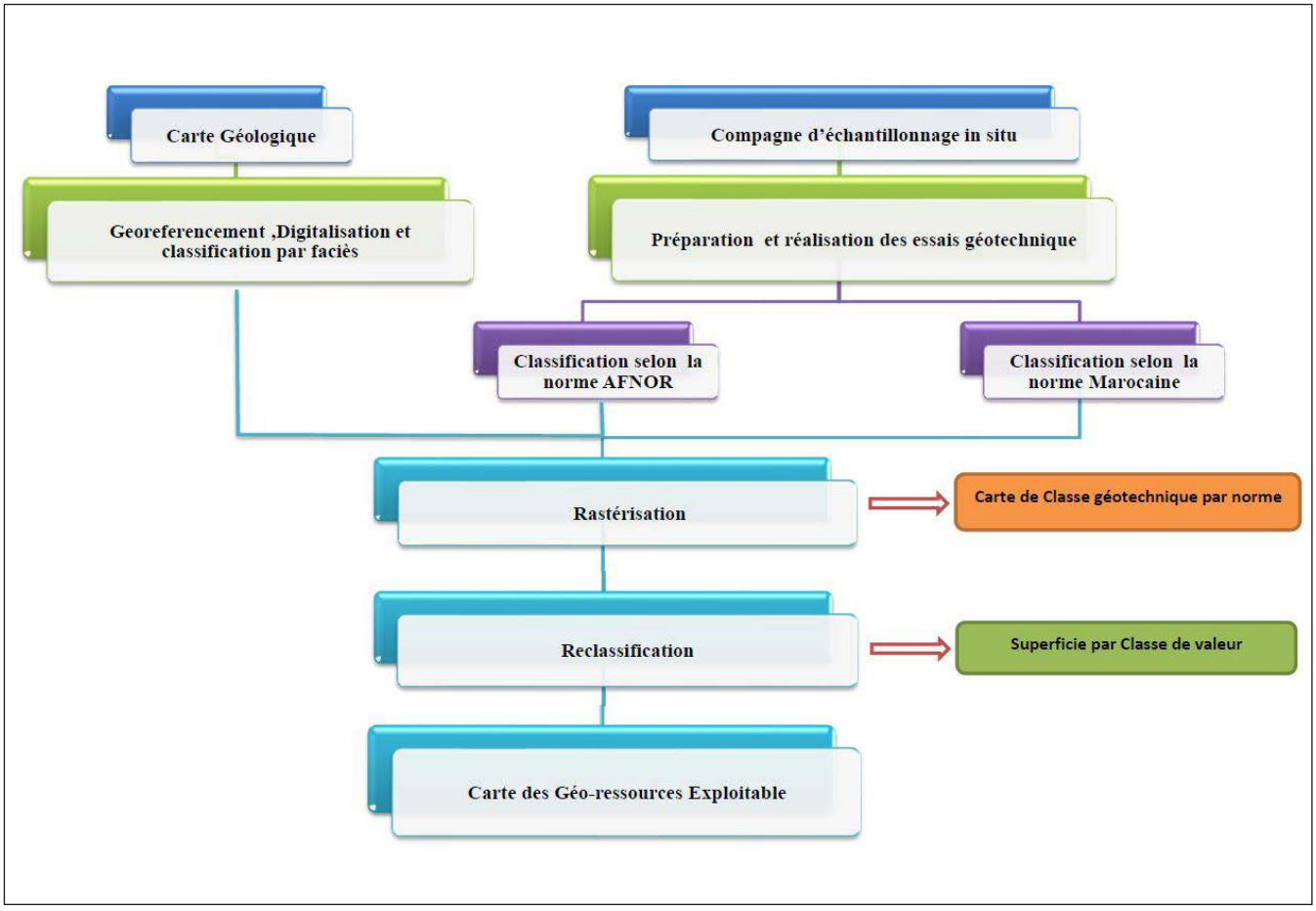


Figure 4. Schéma conceptuel des étapes suivies pour produire la carte géotechnique des ressources.
Source: travail personnel.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.11

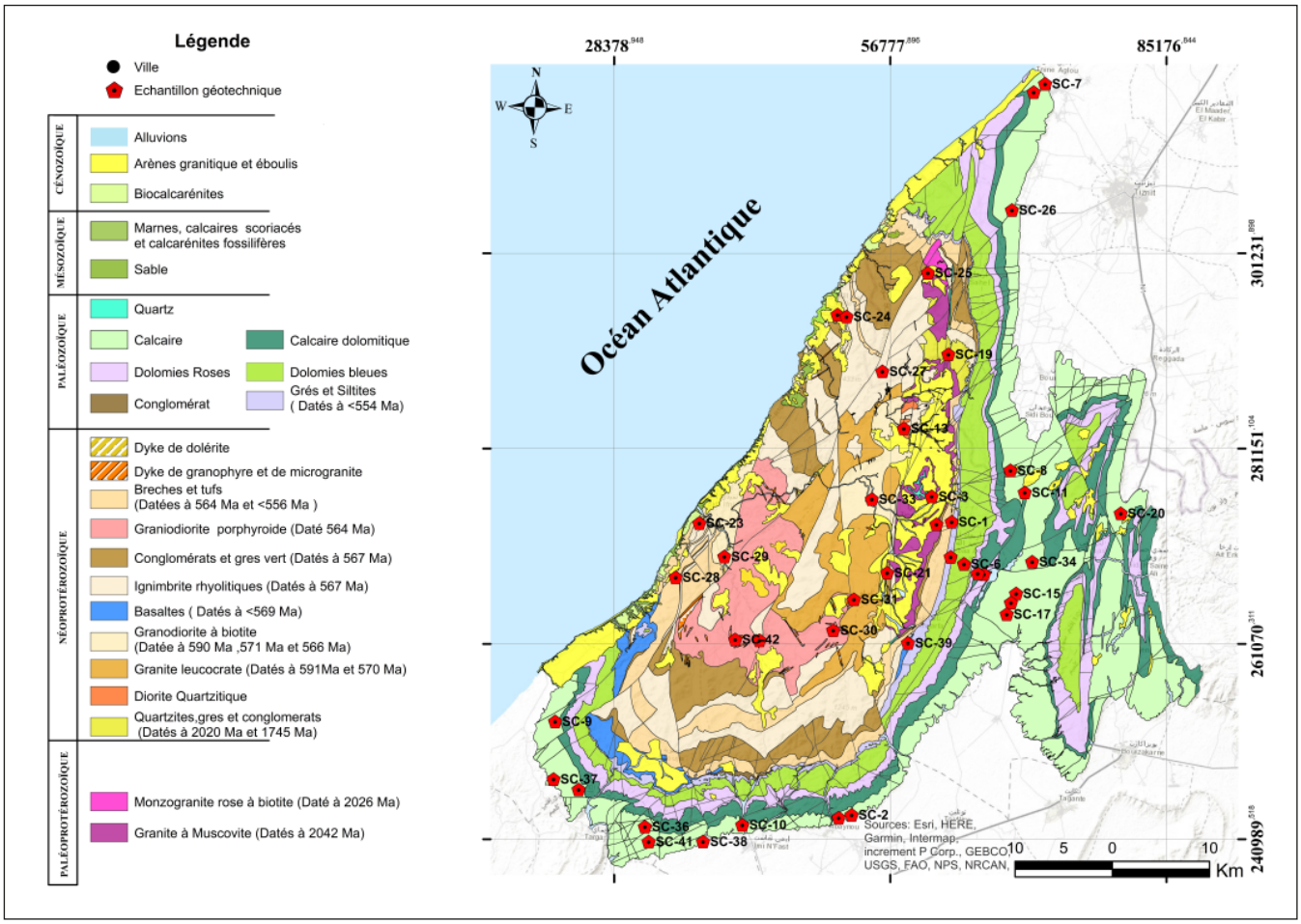


Figure 5. Localisation géographique des échantillons prélèves pour les essais géotechniques. Source: travail personnel et mission du terrain du 08 Janvier 2023.

D'après les exigences des granulats pour béton ou usage routier (Bulletin Officiel, 2023, 2009, 2008), il est clair que les paramètres intrinsèques et de fabrication sont la base du choix. Etant donné que les paramètres de fabrication sont contrôlables, nous allons se cantonner à la détermination des paramètres intrinsèques selon les normes (Bulletin Officiel, 2018a, 2018b, 1995; Comité européen de normalisation, 2011, 2013, 2010; Association Française de Normalisation (AFNOR), 2011) en vigueur à savoir :

Tableau 1. Les essais géotechniques.

Paramètre
La résistance au choc (L.A) (%)
La résistance à l'usure (MDE) (%)
Densité (t/m3)
Porosité (%)
Absorption (%)

Source: travail personnel.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.11

Dans cette étude, la classification géotechnique par norme du gisement rocheux existant dans la zone d'étude est considérée comme facteur, ensuite il a été évalué à l'aide du SIG et ses détails sont répertoriés dans le tableau 2.

Tableau 2. Catégorie, sous facteur de classification et leur poids utilisés pour sélectionner les sites potentiels de roches à granulats (Source : travail personnel).

Sous-facteur Code de Classification géotechnique selon		Catégorie	Valeur des classes
Classification Marocaine	Classification Européenne		
Roche non Classifie	Roche non Classifie	Autres	0
(3C et 6D) / (4C) / (6D) /(5D)	(C et D) / (D) / (F) / (E)	Très Bas	1
(3C) / (6D -5D -4C-3C-2B -1A) / (3C et 2B)	(C)/ (E-D-C-B-A) / (C et B)	Bas	2
(3C et 1A) / (2B) / (2B et 1A)	(A et C) / (B) / (B et A)	Moyen	3
(1A)	(A)	Haute	4

Source: travail personnel.

Pour ce faire, Les supports et outils d'analyse utilisés dans la présente étude sont :

- Sept cartes géologiques 1/50 000 (Service géologique du ministère de l'Énergie et des Mines) ont été mosaïquées, affinées et numérisées pour préparer la carte géologique et préparer la mission de terrain dans la zone d'étude (Benziane *et al.,* 2015a, 2015b, 2015c, 2015d, 2015e; Schulte *et al.*, 2015; Yazidi *et al.,* 2015).
- Module Numérique de Terrain (MNT) avec 30 m de résolution, publié en Septembre (2014), enregistré en Mai (2022) est utilisé pour extraire l'élévation (EarthExplorer, 2022).
- Le logiciels QGIS a été utilisé pour la préparation des différentes cartes utilisées dans la présente étude.
- Les différents équipements pour réaliser les essais de caractérisation géotechnique des unités rocheuse.

En fonction de l'importance de chaque classe géotechnique et la qualité qu'elle propose, différentes valeurs de classe ont été appliqués (Barakat *et al.*, 2015). Les valeurs que nous proposons pour chaque classe, sont résumées dans le tableau 2.

La préparation des couches par classe géotechnique dans l'environnement SIG passe par la numérisation de toutes les cartes géologiques et intégrer les données de terrain. Ensuite, toutes les cartes et les données vectorielles ont été converties au format raster (Karakaş, 2014) grâce à l'option « conversion raster » du logiciel QGIS. Par la suite, nous les avons classées selon la valeur en utilisant l'option «Reclassifier» afin de préparer la carte des ressources significatives géo-techniquement(Bureau de Recherches Géologiques et Minières, 2015).

4. RESULTATS ET DISCUSSION

4.1. Résultats d'analyses et classification géotechnique

Les résultats d'analyses géotechniques des échantillons étudiés sont présentés dans la figure 6.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.11

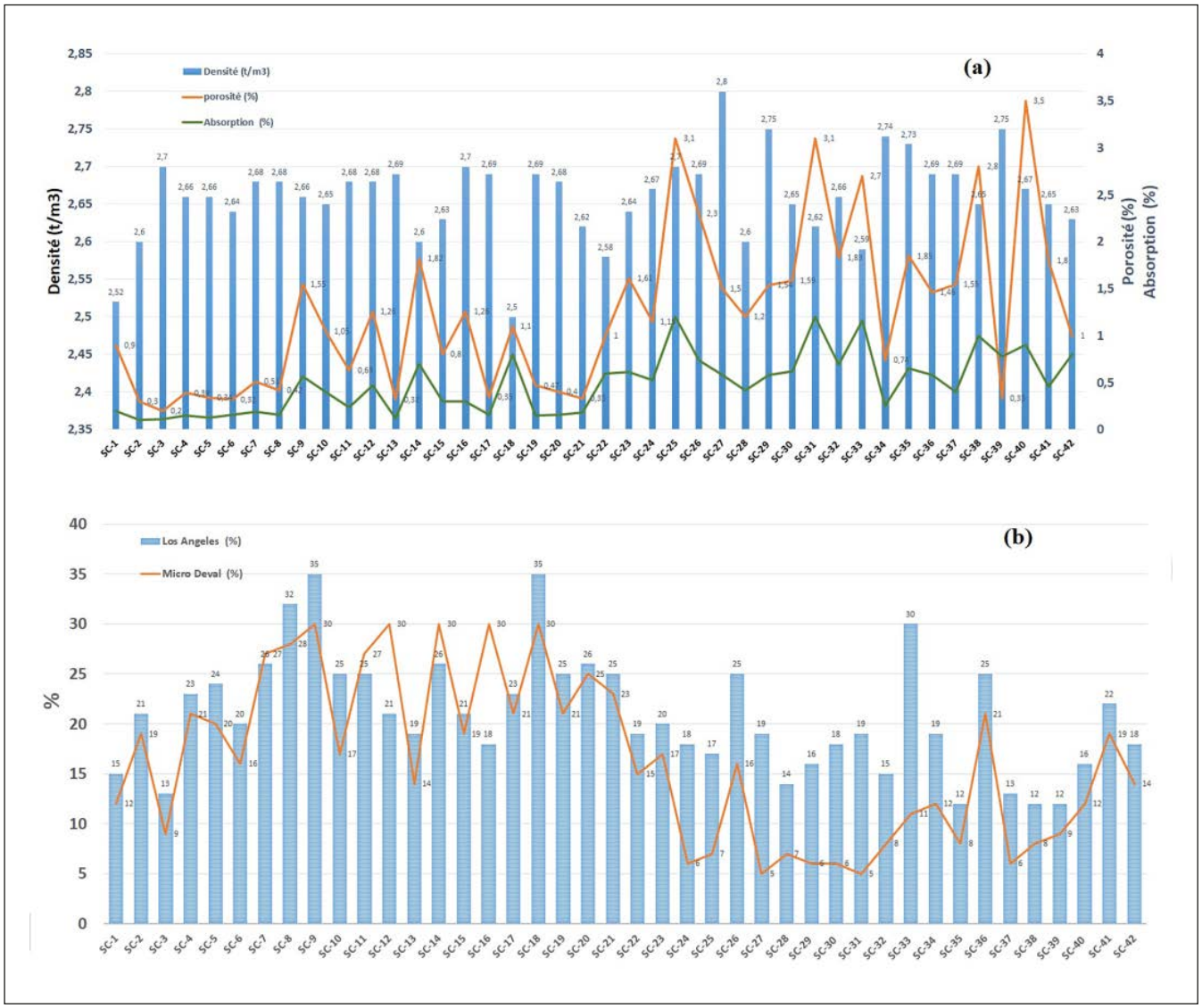


Figure 6. Résultats d'analyses géotechniques des échantillons étudiés. a) Densité, Porosité et Absorption ; b) Los Angeles et Micro Deval. Source: travail personnel.

Selon les résultats (figure 6), on remarque que les échantillons des roches carbonatées (calcaire et dolomie) présentent une densité entre 2,6 t/m3 à 2,74 t/m3, avec une porosité et absorption qui ne dépassent pas respectivement 3,5% et 1%. Ces types de roches montrent des valeurs de résistance à l'usure (MDE) et résistance au choc (L.A) très variables et qui ne dépasse pas 30% pour MDE et 35% pour L.A.

Pour les échantillons des roches Magmatiques (Granite, Basalte, Diorite, Granodiorite, Ignimbrite, rhyolite), les résultats montrent que la densité varie entre 2,58 et 2,8 t/m3, la porosité est comprise entre 0,3% et 3,1% et l'absorption de 0,12% et 1,2 %. Par ailleurs, elles présentent une résistance à l'usure (MDE) et résistance au choc (L.A) qui n'excède pas 17% pour M.D.E et 20% pour L.A, à l'exception de l'échantillon SC-33 qui a une valeur de l'ordre de 30%.

Les échantillons des roches détritiques et volcano-détritiques (brèches et tufs, Conglomérat, Grès) ont une densité entre 2,5 à 2,69 t/m3, une porosité entre 0,33% et 1,1% et une absorption de l'ordre de 0,15% à 0,8%. A l'exception de l'échantillon SC-18 qui est un conglomérat, les résultats montrent des valeurs de résistance à l'usure (MDE) qui varie entre 12% à 23% et la résistance au choc (L.A) entre 15% et 25%.

D'après ces résultats, on peut déduire que ces matériaux rocheux montrent des caractéristiques physiques très bonnes avec des densités très élevées qui varient entre 2,5 et 2,8 t/m3, une porosité faible qui ne dépasse pas 3,5% et une absorption inférieure à 1%.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.11

D'autre part, plus les valeurs de la résistance à l'usure (MDE) et de la résistance au choc (L.A) sont faibles, plus cela signifie que le matériau rocheux est excellent du point de vue résistance au choc et résistance à l'usure (Cherifi *et al.*, 2021).Selon les résultats, on peut constater que presque tous les échantillons ont des caractéristiques mécaniques bonnes à très bonnes avec des valeurs de L.A comprises entre 12% et 35% et MDE entre 5% et 30%. On note que, le basalte (échantillon SC-39) qui à un L.A égale à 12% et le granite (échantillon SC-27, SC-31) a un MDE égale à 5% sont les roches qui ont respectivement la plus haute résistance au choc et une résistance à l'usure.

Par ailleurs, nous avons eu recours à des études menées par plusieurs auteurs sur des différents types de roche (références) afin de déterminer les paramètres mécaniques (MDE et L.A). Le tableau 3 montre les coefficients L.A et MDE des agrégats de différentes origines.

Tableau 3. Paramètres mécaniques des roches selon la littérature.

Type de roche	Référence		Los Angeles (%)		Micro Deval (%)		Nombre des Échantillons
			Min	Max	Min	Max	
Grès	(Hydzik-Wiśniewska & Pękala, 2019)	Roches Détritiques	17.7	51.7	22.1	24	27
	(Cooley & James, 2003)		24	54	11.2	21.8	4
Dolomites	(Erichsen *et al.*, 2011)	Roches Carbonatées	18	51	22	45	3
	(Abdelhedi & Abbes, 2021)		18	31	9	52	9
Calcaire	(Erichsen *et al.*, 2011)		18	51	22	45	3
	(Ozcelik, 2011)		20.50	41.20	-	-	11
	(Abdelhedi & Abbes, 2021)		21	49	11	60	17
	(Cooley and James, 2003)		13	45	7.8	39.3	21
Andésite	(Ozcelik, 2011)	Roches Magmatiques	15.40	18.90	-	-	10
Basalte	(Apaydın & Yılmaz, 2021)		8	14	5	13	9
Granite	(Johansson *et al.*, 2016)		20	39	4	13	6
	(Erichsen *et al.*, 2011)		28	35	11	11	2
	(Cooley & James, 2003)		15	66	2	22.9	27
Meta-granite	(Johansson *et al.*, 2016)		21	30	6	9	2
Quartz	(Johansson *et al.*, 2016)		17	17	2	2	1
Granodiorite	(Johansson *et al.*, 2016)		21	23	5	6	2
	(Erichsen *et al.*, 2011)		31	31	9	9	1
Meta-granodiorite	(Johansson *et al.*, 2016)		24	37	9	18	3

Source: travail personnel.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.11

Si on compare nos résultats avec celles cités ci-dessus, on constate que :

- Les roches carbonatées montrent des valeurs de résistance à l'usure (MDE) et résistance au choc (L.A) très similaires selon la valeur minimale, avec une légère différence de 1.8% pour MDE et 1% pour L.A. En revanche, la valeur maximale pour les auteurs atteint presque le double.
- Les roches magmatiques présentent une résistance à l'usure (MDE) et résistance au choc (L.A) presque similaire avec un intervalle de variation entre 3% à 6% pour les deux valeurs (maximale et minimale) du MDE et une différence de 4% pour la valeur minimale du L.A. Par contre, la valeur maximale du L.A, selon les auteurs, atteint presque le double et même le triple pour certains échantillons.
- Les roches détritiques et volcano-détritiques présentent une résistance à l'usure (MDE) et résistance au choc (L.A) presque similaires avec une légère différence de 1.8% pour les deux valeurs (maximale et minimale) du MDE et 3,7% pour la valeur minimale du L.A. Par contre, la valeur maximale du L.A pour les auteurs atteint presque le double.

D'après cette comparaison, on peut constater que pour le même type de roche on a une différence de valeur des deux paramètres mécaniques (MDE et L.A). Cette différence est expliquée, d'après plusieurs auteurs (Adomako *et al.*, 2022; Amrani *et al.*, 2019; Afolagboye *et al.,* 2016; Ajagbe *et al.*, 2015; Pang *et al.*, 2010), par la hétérogénéité des paramètres géologiques (y compris la minéralogie, la taille des grains et des cristaux, la forme des grains et la porosité).

Pour valoriser et exploiter les résultats du figure 5, nous avons envisagé des classifications (Benbaqqal *et al.*, 2017, 2016) selon la norme Française (Association Française de Normalisation (AFNOR), 2011) et les Normes marocaines (Ministère de l'équipement et des transports du Royaume du Maroc, 1998), ensuite nous avons réalisé une analyse spatiale par SIG pour créer des cartes thématiques pour chaque norme. Le digramme des paramètres mécaniques (figure 7), permet de les classifier suivant les normes AFNOR et marocaines.

D'après les classifications de normes AFNOR (figure 7-a) et les Normes marocaines (figure 7-b), nous pouvons déduire que :

- Les roches carbonatées se situent majoritairement entre les Classes A à E selon la norme Française et les classes 1A à 6D pour les Normes marocaines.
- Les roches magmatiques sont réparties majoritairement entre les classes A à C pour la norme Française et les classes 1A à 3C pour les Normes marocaines.
- Les roches détritiques et volcano-détritiques se situent entre les classes B à E selon la norme Française et les classes 2B à 6D pour les Normes marocaines.
- Il y a une similitude entre les deux classifications AFNOR et les normes Marocaines, sauf qu'il a y une particularité des dénominations au niveau des zones et MDE est limites à 30% pour les normes Marocaines.

Les caractéristiques intrinsèques des matériaux analysés (figure 6) et les résultats de classification (figure 7) montrent que les champs d'utilisation de ces matériaux sont très larges, avec une qualité très satisfaisante.

Les roches Carbonatées représente un matériau de qualité moyenne à très élevée avec un spectre d'utilisation large surtout pour les granulats routiers et des graviers employés dans la fabrication de tout type de béton à condition d'utiliser une classe supérieure à C ou 3C selon les exigences des normes.

Les roches Magmatiques présentent une qualité supérieure et des caractères géomécanique très sollicités (des L.A et MDE autour des 20%, et une densité supérieure à 2,58t/m3). Ces roches peuvent être considérées comme des matériaux nobles dont l'utilisation pourra dépasser des simples granulats routiers et être utilisées comme des ballasts pour les voies ferroviaires comme le cas pour les basaltes (Classe A ou 1A) ou enrochement utilisé dans les ouvrages portuaires pour le cas du rhyolite (Classe A ou 1A).

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.11

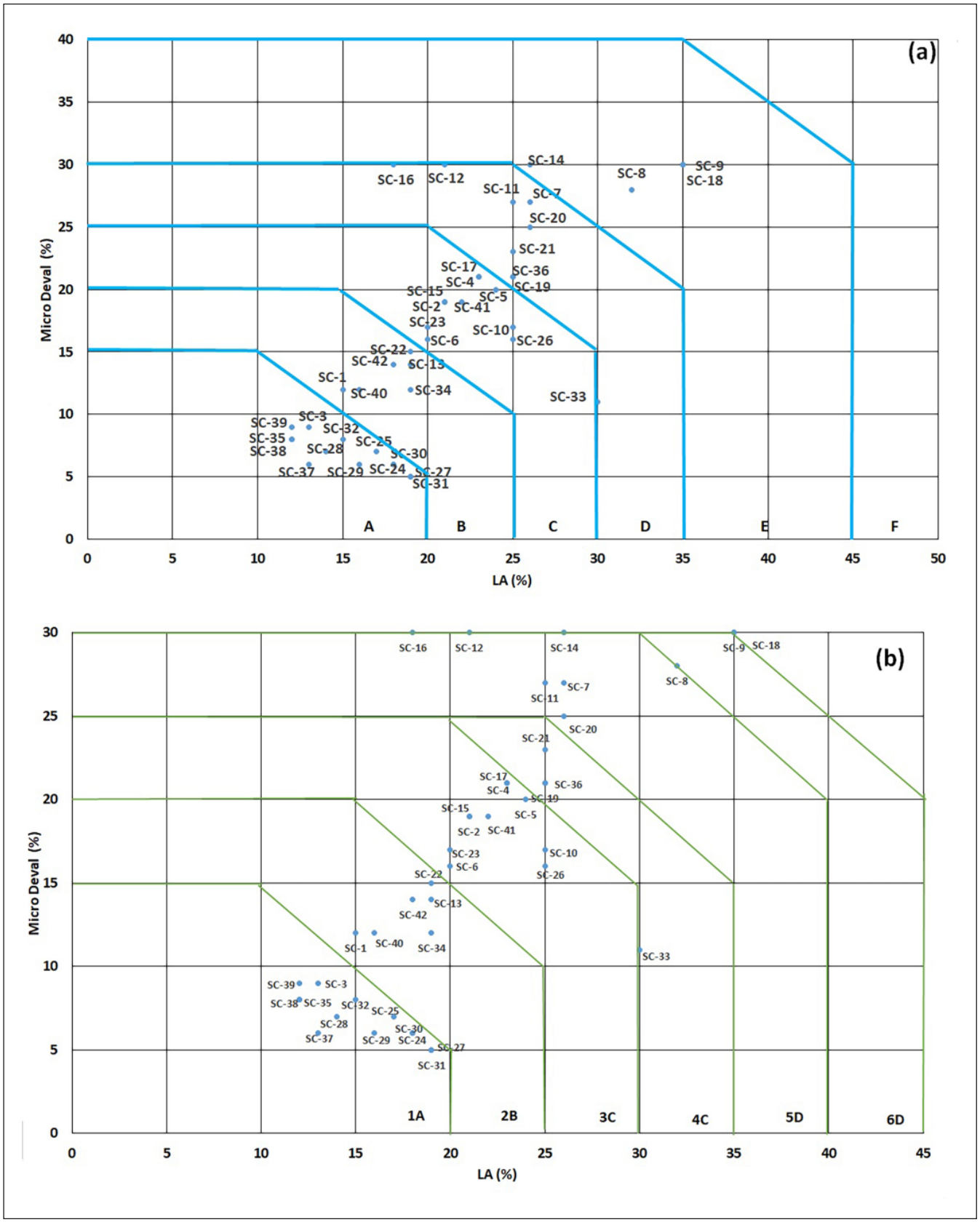


Figure 7. Digramme des paramètres mécaniques. a) Normes AFNOR, b) Normes marocaines. Source: travail personnel.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.11

Les roches détritiques et volcano-détritiques représentent une qualité très élevée dans l'ensemble (à l'exception des conglomérat), qui peuvent être utilisés dans plusieurs domaines, surtout dans le secteur routier et les graviers employés dans les bétons à moyenne qualité.

Par ailleurs, toute exploitation d'un gisement doit être précédée par des essais supplémentaires pour avoir une idée très précise sur la qualité géochimique et géomécanique des roches existant, à titre d'exemple:

- Augmenter le nombre d'échantillons à analyser sur toute la superficie du gisement;
- Déterminer la composition géochimique et pétrographique des faciès du gisement;
- Procéder à des tests d'alcali-réaction pour les granites afin de vérifier la réactivité de ces roches vis-à-vis des liants;

4.2. Analyse spatiale

A chaque affleurement rocheux cartographié et classifié selon les deux normes (figure 8 a, b), nous y avons attribué l'une des quatre classifications potentielles (figure 9). Ces classes ont des valeurs de 4, 3, 2,1 et 0, respectivement, dans le tableau attributaire de la carte du potentiel géotechnique (tableau 2).

Le tableau 4 présent les résultats du calcul de la superficie par classement attribué pour chaque affleurement rocheux de la zone d'étude.

Tableau 4. La superficie par classement attribué pour chaque affleurement rocheux de la zone d'étude.

Valeur Des classes	Catégorie	Superficie (Km^2)	Pourcentage (%)
0	Autres	315,54	12,05
1	Très Bas	422,629	16,14
2	Bas	1276,1	48,74
3	Moyen	264,469	10,10
4	Haute	339,456	12,97

Source: travail personnel.

D'après les résultats, nous pouvons constater les points suivants:

- La facilite d'identifier les classes pour les deux normes (AFNOR et norme Marocaine) pour la zone appropriée pour toute implantation des carrières.
- Approuve la similitude quasi totale entre les deux classifications AFNOR et les normes Marocaines.
- L'absence de la classe 4 et 3 dans le Plateau de Lakhssas.
- La classe géotechnique C selon AFNOR ou 3C selon la norme marocaine, est la plus dominante par une superficie de l'ordre de 455,28Km^2, cette classe est composée par une majorité des roches Carbonatées concentrées autour de la boutonnière d'Ifni (figure 8-a,b) et quelques Ignimbrite;
- La classe 2, qui est attribué à un mélange entre plusieurs classe géotechnique (tableau 4), est la plus dominante par une superficie égale 1276,1 Km^2, et selon la figure 9 cette classe est localisée au plateau de Lakhssas et autour de la boutonnière d'Ifni avec une présence importante à différente parti de cette dernière.
- La classe 1 qui est la très basse qualité géomécanique a une superficie de l'ordre de 422,29 Km^2, et d'après la figure 9 elle est toujours collé à la classe 2.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.11

- La classe 4 qui est attribué à la classe géotechnique 1A selon la norme marocaine ou A selon AFNOR composée majoritairement par des roches magmatiques. Cette classe est favorable dans tous les champs d'utilisation, présente une superficie égale 339,456 Km^2 et elle est concentré au centre de la zone d'étude avec une légère présence au nord et le sud de la boutonnière d'Ifni.
- La classe 3, qui est attribué à un mélange entre plusieurs classe géotechniques (tableau 4), présente une superficie de l'ordre de 264,469 Km^2 et elle est localisé autour de la classe 4.
- La classe 0, qui est attribué aux roches non classifiées, présente une superficie de l'ordre de 315,54 Km^2. Cette classe est composée essentiellement de roches quaternaires (biocalcarénite, alluvion, sable…).

D'après l'analyse spatiale, la compilation des données des résultats d'analyse géotechnique et les données géographiques a permis d'identifier cinq classes de qualités différentes et calculer leur superficie exacte. De plus, on a constaté que les roches de haute qualité géotechnique (classe 4) sont concentrées au centre de la zone d'étude (figure 9) et cette qualité diminue quand on se déplace vers les quatre direction (Est, Ouest, Nord et Sud).

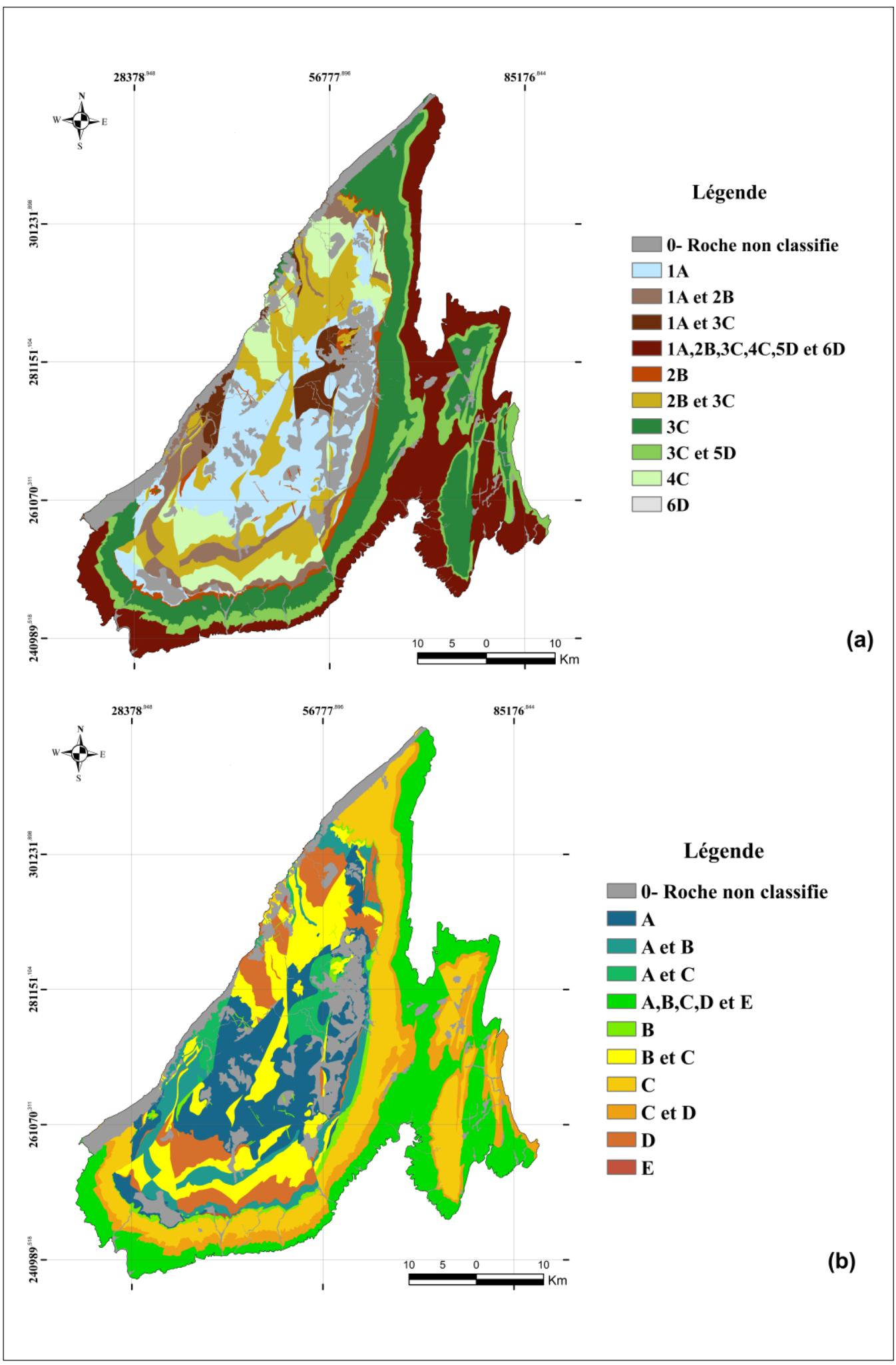


Figure 8. Cartes de classification géotechnique. a) selon la norme Marocaine, b) selon la norme AFNOR. Source: travail personnel.

© Editorial Universidad de Sevilla 2024 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.11

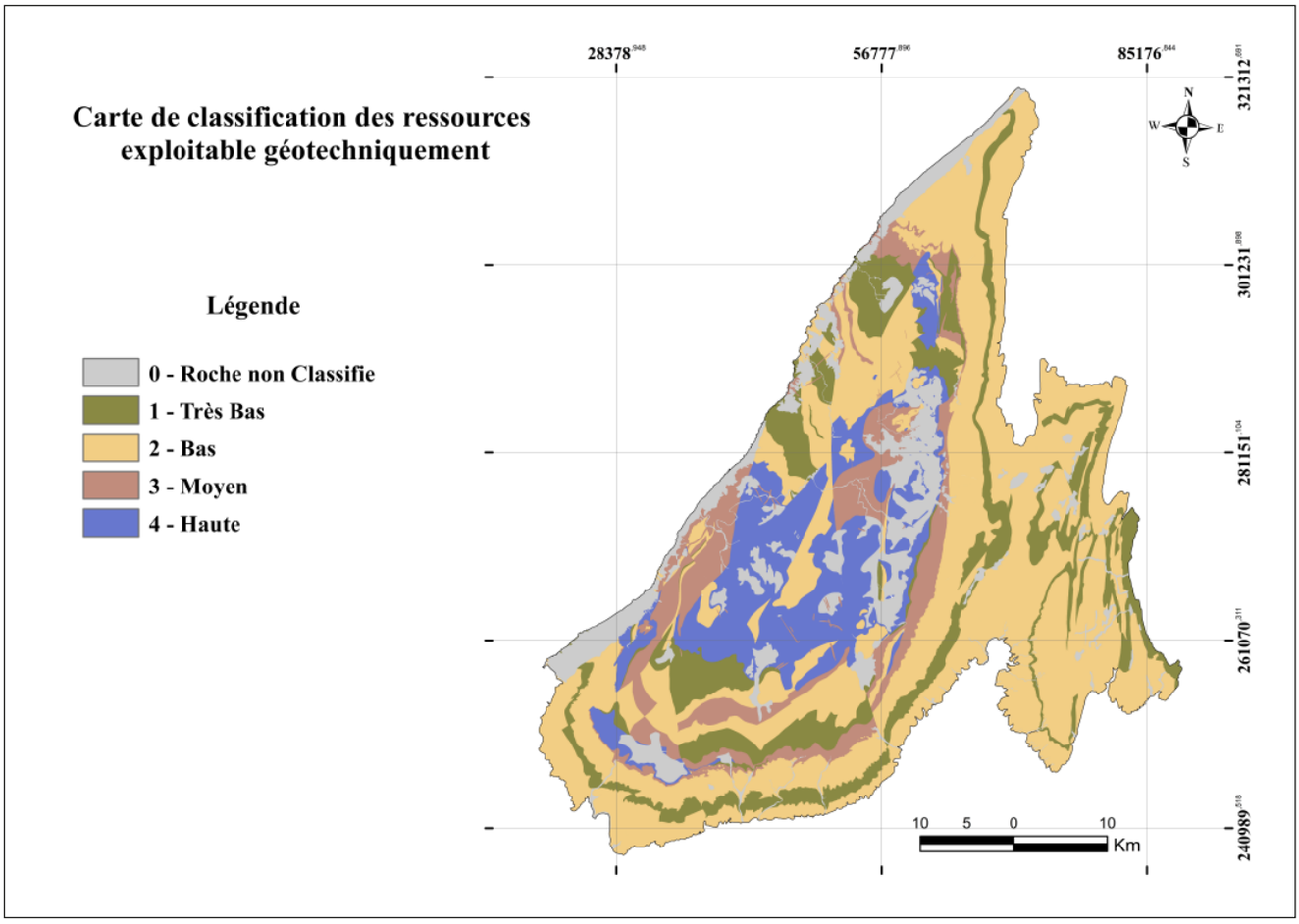


Figure 9. Carte de classification des ressources potentiellement exploitable. Source: travail personnel.

D'après ce qui précède, on peut constater que le choix d'un site pour l'implantation d'une nouvelle exploitation avec des exigences bien déterminer (la qualité et/ou classe géotechnique) pour une utilisation spécifique (exploitation Industriel, travaux génie civil ou esthétique...), est devenue très facile grâce à cette cartographie géotechnique. Cette dernière exige la combinaison des données de terrain, des analyses de laboratoire et analyse spatiale. En revanche, Ces résultats restent liés directement aux données de caractérisation applique sur les différents échantillons de la zone d'étude, et devront être valide par d'autres données par faciès géologique.

5. CONCLUSION

L'identification des sites potentiels pour l'implantation de carrières dans un pays en développement est une tâche primordiale pour une utilisation optimale et soutenable des ressources disponibles. Cette étude est axée sur le choix des sites adéquats sur le plan géotechnique pour l'implantation de nouvelles carrières dans la boutonnière d'Ifni et le plateau de Lakhssas par la combinaison dans un SIG des données de terrain avec celles acquises par les essais géotechniques au laboratoire.

Les emplacements appropriés des sites sont évalués en tenant compte de différentes classes de qualité géotechnique qu'elle propose. Des tests géotechniques au laboratoire ont été effectués sur 42 échantillons des différentes affleurements rocheux, y compris des roches carbonatés, magmatiques, détritiques et volcano-détritiques, afin de déterminer leurs classes de qualité géotechnique. On a attribué pour chaque classe ou groupe de classe géotechnique une valeur entre 0 et 4 en fonction de son importance. Toutes les opérations qui visent à créer des cartes thématiques ont été réalisées à partir du logiciel QGIS, telles que la numérisation et la pixellisation. La carte d'adéquation finale est réalisée à l'aide de la fonction reclassification.

D'après les résultats des analyses géotechniques au laboratoire et l'analyse géospatiale par SIG que nous avons effectué sur différents affleurements rocheux de la boutonnière d'Ifni et le plateau de Lakhssas, nous pouvons conclure que :

© Editorial Universidad de Sevilla 2024 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.11

- Les essais au laboratoire ont indiqué que la plupart des propriétés géotechniques déterminées ne varient pas de manière significative d'une roche à l'autre.
- La classification des roches selon la norme Européen et la norme marocaine a montré que tous les classes (A à E pour la norme Européen et 1A à 6D pour la norme Marocaine) sont présent dans notre zone d'étude.
- Les roches carbonatées, détritiques et volcano-détritiques (à l'exception des conglomérats) peuvent exploitée pour en faire du granulat de haute à moyenne qualité en raison de leur classification géotechnique (A à E pour la norme Européen et 1A à 6D pour la norme Marocaine) et leurs valeurs de la résistance à l'usure (MDE) et de la résistance au choc (L.A) qui sont inférieures à 35%.
- Les roches Magmatique peuvent également être exploitées pour en faire du granulat de haute qualité en raison de leur classification géotechnique (A à C pour la norme Européen et 1A à 3C pour la norme Marocaine) et leurs valeurs de la résistance à l'usure (MDE) et de la résistance au choc (L.A) qui sont inférieures à 20%.
- La comparaison de nos résultats avec les travaux antérieurs, réalisées dans d'autres régions du monde, montre que notre zone d'étude possède des roches qui contiennent des propriétés géomécaniques excellentes, car pour le même type de roche on a une différence de valeur des deux paramètres mécaniques (MDE et L.A) qui attient des fois le triple.
- Sur la base de l'analyse spatiale, différents emplacements potentiels pour l'exploitation efficace des ressources exploitable géotechniquement dans la zone d'étude sont identifiés, classifiés comme catégories haute (4), Moyen (3), Bas (2), Très Bas (1) et non class (0) puis quantifiés.
- Les Catégorie 4 et 3 (les roches de haute qualité géotechnique) sont présentes uniquement dans la boutonnière d'Ifni avec une surface de 339,456Km^2 pour la classe 4 et 264,469Km^2 pour la classe 3.
- L'analyse spatiale a montré que la qualité géotechnique diminue proportionnellement à l'éloignement depuis le centre de la boutonnière d'Ifni vers les quatre directions (Est, Ouest, Nord et Sud).
- L'analyse spatiale a montré qu'environ 71,799 % de la surface de la zone d'étude relève des catégories Haut, Moyen et Bas et 28,201 % des catégories de zones Très Bas et non class.

D'après ces conclusions, on est devant la présence d'un potentiel élevé de qualité géotechnique très satisfaisante avec un champ d'utilisation très large. Néanmoins, nous recommandons pour les zones de ressources évaluées dans cette étude, la nécessité d'une investigation plus poussée à travers une enquête détaillée avec une maille d'échantillonnage très raffiné pour valider les résultats.

Réunir les résultats géotechniques et le SIG dans cette étude donne généralement des résultats satisfaisants pour la cartographie géotechnique des sites potentiellement exploitables. Enfin, nous estimons que l'apport de ce travail servira aux décideurs et aux exploitants pour le bon choix des sites pour une bonne gestion du patrimoine géologique dans la région du massif d'Ifni et le plateau calcaire de Lkhssas.

Remerciements

Les auteurs expriment leur profonde gratitude aux évaluateurs anonymes pour leurs suggestions et commentaires.

Responsabilités and conflits d'intérêts

Les auteurs affirment en toute conscience que les résultats de cette recherche ne font l'objet d'aucun conflit d'intérêt. Les contributions des auteurs se présentent de la manière suivante: Mohamed Mahmoud Sebbab, Abdelhadi El Ouahidi, Mohamed Atik, Hamza Taghlaoui, Abdessamad El Atillah,Mehdi Ousbih et Khadija Sebbab ont été impliqués de manière égale dans toutes les étapes de la recherche (collectes de données à travers les travaux de terrains et l'exploitation des documents, l'élaboration des cartes et des bases de

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.11

données ainsi que l'analyse et l'interprétation des résultats et la vérification des résultats sur le terrain) ainsi que dans la rédaction du contenu et le processus de révision et validation du manuscrit.

RÉFÉRENCES

Abdelhedi, M., Abbes, C. (2021). Study of physical and mechanical properties of carbonate rocks and their applications on georesources exploration in Tunisia. *Carbonates and Evaporites, 36*(35). https://doi.org/10.1007/s13146-021-00688-8

Abdo, H.G., Vishwakarma, D.K., Alsafadi, K., Bindajam, A.A., Mallick, J., Mallick, S.K., Kumar, K.C.A., Albanai, J.A., Kuriqi, A., Hysa, A. (2024). GIS-based multi-criteria decision making for delineation of potential groundwater recharge zones for sustainable resource management in the Eastern Mediterranean: a case study. *Applied Water Science, 14*(160), 1–19. https://doi.org/10.1007/s13201-024-02217-z

Adomako, S., Engelsen, C.J., Danner, T., Thorstensen, R.T., & Barbieri, D.M. (2022). Recycled aggregates derived from excavation materials—mechanical performance and identification of weak minerals. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 81*(340). https://doi.org/10.1007/s10064-022-02817-6

Afolagboye, L.O., Talabi, A.O., & Akinola, O.O. (2016). Evaluation of selected basement complex rocks from Ado-Ekiti, SW Nigeria, as source of road construction aggregates. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 75*, 853–865. https://doi.org/10.1007/s10064-015-0766-1

Aishatu, I., Muhammad, M.I., & Haruna, Y. (2024). Determination of some heavy metals in water, soil and blood samples of workers at a quarry site in Kano. *African Journal of Management, Engineering and Technology 2,* 24–40.

Ajagbe, W., Tijani, M., & Oyediran, I. (2015). Engineering and geological evaluation of rocks for concrete production. *Lautech Journal of Engineering and Technology 9*, 67–79.

AlFanatseh, A. (2022). Land suitability analysis of urban development in the Aqaba area, Jordan, using a GIS-based analytic hierarchy process. *GeoJournal 87*, 4143–4159. https://doi.org/10.1007/s10708-021-10488-1

Amrani, M., Taha, Y., Kchikach, A., Benzaazoua, M., & Hakkou, R. (2019). Valorization of Phosphate Mine Waste Rocks as Materials for Road Construction. *Minerals 9*(4), 237. https://doi.org/10.3390/min9040237

Apaydın, Ö.F., & Yılmaz, M. (2021). Correlation of petrographic and chemical characteristics with strength and durability of basalts as railway aggregates determined by ballast fouling. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, *80*, 4197–4205. https://doi.org/10.1007/s10064-019-01654-4

Arakawa, F., & Nicholson, C. (2020). Identifying new quarries as a method for expanding research: A GIS case study from the Mesa Verde region in the American Southwest. *Journal of Archaeological Science: Reports, 33*, 102470. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102470

Association Française de Normalisation (AFNOR) (2011). French standard NF P18-545/2011.

Atik, M., Sebbab, M.M., Ousbih, M., & Ouahidi, A.E. (2025). Integrated GIS and remote sensing tools approach for the management of peripheral areas in Maghreb cities from 1988-2005. Case study: Greater Agadir (Morocco) and the city of Algiers (Algeria). *Revista de Estudios Andaluces,* (49), 211–227. https://doi.org/10.12795/rea.2025.i49.11

Azagouagh, K. (2025). Etude des impacts des changements climatiques sur la ressource en eau dans les montagnes du prerif (Maroc). *Revista de Estudios Andaluces,* (49), 8–24. https://doi.org/10.12795/rea.2025.i49.01

Badino, V., Blengini, G.A., Garbarino, E., & Zavaglia, K.M. (2007). *Economic and environmental constraints relevant to building aggregates beneficiation plants.*

Barakat, A., Baghdadi, M.E., & Rais, J. (2015). A GIS-Based Inventory of Ornamental Stone and Aggregate Operations in the Beni-Mellal Region (Morocco). *Arabian Journal for Science and Engineering*, *40*, 2021–2031. https://doi.org/10.1007/s13369-015-1672-3

Barakat, A., Ouargaf, Z., & Touhami, F. (2016). Identification of potential areas hosting aggregate resources using GIS method: a case study of Tadla-Azilal Region, Morocco. *Environmental Earth Sciences, 75*(774), 1–16. https://doi.org/10.1007/s12665-016-5613-6

Benaissa, M., Gartet, J., Sahi, F., & Hamdach, M. (2025). Utilisation du modèle PAP/CAR et des outils SIG pour la cartographie et l'évaluation de l'érosion hydrique: Cas du bassin versant de l'Ouèd Bou Lajraf (BV de l'Ouèd Inaouène). *Revista de Estudios Andaluces,* (49) 228–256. https://doi.org/10.12795/rea.2025.i49.12

Benbaqqal, H., Masrour, A., Benyassine, E.M., & Erragragui, M. (2016). *Approche du SIG pour la valorisation des carrières de matériaux de construction. Cas d'étude : Ex-Région septentrionale de Meknès-Tafilalet, Maroc*. GIS approch for career development building materials Case study: Northern of former Region of Meknes-Tafilalet, Morocco, 12.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.11

Benbaqqal, H., Masrour, A., Mahjoubi, R., Benyassine, E.M., Erragragui, M., & Gretaa, M. (2017). Apport De L'étude Géotechnique, Minéralogique Et Géochimique Pour La Valorisation Des Carrières De Sable De La Région De Meknès (Maroc). *European Scientific Journal, 13*(24), 101. https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n24p101

Benziane, F., & Yazidi, A. (1982). *Géologie de la boutonnière précambrienne d'Ifni (Anti-Atlas Occidental).* Editions du Service geologique du Maroc.

Benziane, F., Yazidi, A., Schulte, B., Boger, S., Stockhammer, S., & Lehmann, A. (2015a). *Notes et Mémoires Serv. Géol. Maroc N° 540 (2015), Carte géologique Maroc (1/50 000), feuille Mirleft*.

Benziane, F., Yazidi, A., Schulte, B., Boger, S., Stockhammer, S., & Lehmann, A. (2015b). *Notes et Mémoires Serv. Géol. Maroc N° 542 (2015), Carte géologique Maroc (1/50 000), feuille Sidi ifni.*

Benziane, F., Yazidi, A., Schulte, B., Boger, S., Stockhammer, S., & Lehmann, A. (2015c). *Notes et Mémoires Serv. Géol. Maroc N° 543 (2015), Carte géologique Maroc (1/50 000), feuille Tlata al Akhçaç.*

Benziane, F., Yazidi, A., Schulte, B., Boger, S., Stockhammer, S., & Lehmann, A. (2015d). *Notes et Mémoires Serv. Géol. Maroc N° 544 (2015), Carte géologique Maroc (1/50 000), feuille Assaka.*

Benziane, F., Yazidi, A., Schulte, B., Boger, S., Stockhammer, S., & Lehmann, A. (2015e). *Notes et Mémoires Serv. Géol. Maroc N° 546 (2015), Carte géologique Maroc (1/50 000), feuille Tagant.*

Benziane, F., Yazidi, A., Schulte, B., Boger, S., Stockhammer, S., Lehmann, A., Saadane, A., & Yazidi, M. (2015f). *Notes et Mémoires Serv. Géol. Maroc* N° 542 (2015), *Carte géologique Maroc (1/50 000), feuille Sidi Ifni.* Mémoire Explicatif. Royaume du Maroc, Ministère de l'Énergie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement.

Bulletin Officiel (2023). *Arrêté du chef de gouvernement Numero 3-58-23 du 13/10/2023 déclarant le séisme survenu au Royaume du Maroc le 8 septembre 2023 évènement catastrophique. 8039.*

Bulletin Officiel (2018a). *Norme marocaine NM.1097.1 455.*

Bulletin Officiel (2018b). *Norme marocaine NM.1097.2 455.*

Bulletin Officiel (2015). *Décret Numero 2-15-40 du 20/02/2015 1008.*

Bulletin Officiel (2009). *Norme marocaine NM 10-1-008 942.*

Bulletin Officiel (2008). *Norme marocaine NM 10-1-271 120*.

Bulletin Officiel (1995). *Norme marocaine NM 10-1-146 398.*

Bureau de Recherches Géologiques et Minières (2015). *Travaux préparatoires au schéma régional des carrières de midi-pyrénées: Etude sur les ressources régionales en matériaux* (No. BRGM/RP-64918-FR).

Cherifi, H., Chaouni, A.-A., Fattah, G., Jalouni, A., Jabri, I., El Asmi, H., & Raini, I. (2021). Physico-mechanical characterization of schists in Tazzeka complex [Taza Province, Eastern Morocco]. *Case Studies in Construction Materials 15*, e00692. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00692

Comité européen de normalisation, I. (2013). *Essais des propriétés mécaniques et physiques des agrégats-Partie 6: Détermination de la densité des particules et de l'absorption d'eau-1097.6.* Comité européen de normalisation: Bruxelles, Belgique.

Comité européen de normalisation, I. (2011). *Essais des propriétés mécaniques et physiques des agrégats. Partie 1: Détermination de la résistance à l'usure (micro-déval) - 1097.1.* Comité européen de normalisation: Bruxelles, Belgique.

Comité européen de normalisation, I. (2010). *Essais des propriétés mécaniques et physiques des agrégats-1097.2. Determination of loose bulk density and voids.* Comité Européen de Normalisation, Brussels.

Cooley, L.A., & James, R.S. (2003). Micro-Deval Testing of Aggregates in the Southeast. *Transportation Research Record*, *1837*(1), 73-79. https://doi.org/10.3141/1837-08

EarthExplorer (2022). *EarthExplorer [WWW Document]. URL* https://earthexplorer.usgs.gov/

El Haddaoui, K., Jadouane, A., Ennassiri, B., & Mouhiddine, M. (2025). Soil Erosion Estimation Using the E.P.M Model in the Ouaouizeght River Basin—Morocco. In Pal, S.C., Chatterjee, U., Setiawati, M.D., & Ruidas, D. (Eds.) *Remotely Sensed Rivers in the Age of Anthropocene. Environmental Science and Engineering.* Cham. (pp. 285–305). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-82311-4_12

El-Wamdeni, Z., Aqnouy, M., Mhamdi, H.S., Tariq, A., Maate, A., & Hlila, R. (2024). Inventory and Analysis of Quarries Using Geographic Information System and Remote Sensing Techniques for Eco-Friendly Quarrying Practices. *Ecological Engineering & Environmental Technology, 25*(10). https://doi.org/10.12912/27197050/192057

Ennassiri, B. (2021). Modélisation du risque d'érosion des sols dans le bassin versant de N'Fis Utilisation de l'Equation Universelle Révisée des Pertes en Sols (RUSLE). *Revue Marocaine de Géomorphologie*.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.11

Ennassiri, B., & Mouak, S. (2021). Vulnérabilité aux aléas sismique dans la ville d'Agadir–Maroc. Etude par systèmes d'information géographique. *Annals of the University of Bucharest. Geography Series/Analale Universitatii Bucuresti. Seria Geografie 70*. https://doi.org/10.5719/aub-g/70.1/3

Erichsen, E., Ulvik, A., & Sævik, K. (2011). Mechanical Degradation of Aggregate by the Los Angeles-, the Micro-Deval- and the Nordic Test Methods. *Rock Mechanics and Rock Engineering, 44,* 333–337. https://doi.org/10.1007/s00603-011-0140-y

Escavy, J.I., Herrero, M.J., Lopez-Acevedo, F., & Trigos, L. (2022). The progressive distancing of aggregate quarries from the demand areas: Magnitude, causes, and impact on CO2 emissions in Madrid Region (1995–2018). *Resources Policy, 75,* 102506. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102506

Fawad, M., Ullah, F., Irshad, M., Shah, W., Mahmood, Q., & Ahmad, I. (2022). Marble waste site suitability assessment using the GIS-based AHP model. *Environmental Science and Pollution Research*, *29*, 28386–28401. https://doi.org/10.1007/s11356-021-18373-7

Gasquet, D., Ennih, N., Liégeois, J.-P., Soulaimani, A., Michard, A., 2008. The Pan-African Belt. In A. Michard, O. Saddiqi, A. Chalouan, & D.F. Lamotte (Eds.), *Continental Evolution: The Geology of Morocco, Lecture Notes in Earth Sciences* (pp. 33–64). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-77076-3_2

Grădinaru, C.M., Muntean, R., Șerbănoiu, A.A., Ciocan, V., & Burlacu, A. (2020). Sustainable Development of Human Society in Terms of Natural Depleting Resources Preservation Using Natural Renewable Raw Materials in a Novel Ecological Material Production. *Sustainability, 12*(7), 2651. https://doi.org/10.3390/su12072651

Gudissa, L., Raghuvanshi, T.K., Meten, M., & Chemeda, Y.C. (2022). A GIS-AHP based approach for optimization of quarry site location around Harer and Dire-Dawa towns, Eastern Ethiopia. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management, 30*, 151–164. https://doi.org/10.3846/jeelm.2022.16280

Gudissa, L., Raghuvanshi, T.K., Meten, M., & Chemeda, Y.C. (2021). TES analysis for crushed stone aggregate quarry site selection: the case of limestone terrain around Harer-Dire Dawa towns, Eastern Ethiopia. *Arabian Journal of Geosciences, 14,* 315. https://doi.org/10.1007/s12517-021-06614-5

Hydzik-Wiśniewska, J., & Pękala, A. (2019). The evaluation of the physico-mechanical properties of selected carpathian sandstones in terms of their use as a armourstone. *Archives of Mining Sciences, 64*(1), 65-77. https://doi.org/10.24425/ams.2019.126272

Jegede, O.A., Olaoye, M.A., Olagbaju, P.O., Makinde, V., & Badawy, W.M. (2024). Radiation risk assessment of quarry pit soil as construction material in Abeokuta, Nigeria: implications for environmental and public health. *Isotopes in Environmental and Health Studies, 60*, 90–102. https://doi.org/10.1080/10256016.2023.2285002

Johansson, E., Miškovský, K., Bergknut, M., & Šachlová, Š. (2016). Petrographic characteristics of intrusive rocks as an evaluation tool of their technical properties. *SP, 416*, 217–227. https://doi.org/10.1144/SP416.19

Karakaş, A. (2014). Defining the suitability of new crushed rock aggregate source areas in the North of Kocaeli Province using GIS. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, *73,* 1183–1197. https://doi.org/10.1007/s10064-013-0557-5

Khan, F., Das, B., Ram Krishna Mishra, S., & Awasthy, M. (2022). A review on the Feasibility and Application of Geospatial Techniques in Geotechnical Engineering Field. *Materials Today: Proceedings, 49,* 311–319. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.108

Kumar, V., & Yarrakula, K. (2022). Environmental impact assessment of limestone quarry using multispectral satellite imagery. *Earth Science Informatics*, *15,* 1905–1923. https://doi.org/10.1007/s12145-022-00845-0

Langer, W.H. (2001). *Potential environmental impacts of quarrying stone in karst -- a literature review.* Open-File Report. https://doi.org/10.3133/ofr01484

Leblanc, M. (1975). *Ophiolites précambriennes et gites arseniés de cobalt: Bou Azzer (Maroc)*. [These Doctorat d'Etat], Faculte des Science Paris VI, Memoires Centre Geologique et Geophysique.

Leblanc, M., & Lancelot, J.R. (1980). Interprétation géodynamique du domaine pan-africain (Précambrien terminal) de l'Anti-Atlas (Maroc) à partir de données géologiques et géochronologiques. *Canadian Journal of Earth Sciences, 17,* 142–155. https://doi.org/10.1139/e80-012

Mateane, L., Proaño, C.R., & Röhrer, F.E.G. (2024). The impact of aggregate demand shocks on Germany's trade balance and industry. *Applied Economics Letters, 0*, 1–7. https://doi.org/10.1080/13504851.2023.2298417

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.11

Mesrar, L., Aroussi, O.E., Lakrim, M., Lahrach, A., Chaouni, A., & Jabrane, R. (2012). Caractérisation de formations Miocène de la région de Taza pour des valorisations et exploitations industrielles. *MATEC Web of Conferences 2,* 05002. https://doi.org/10.1051/matecconf/20120205002

Messaoudi, B., Kabiri, L., Ait Lahssaine, I., Essafraoui, B., Kassou, A., El Ouali, M., Kadiri, A., Achbarou, Z., & Ouali, L. (2024). Modeling water erosion vulnerability and identifying control measures in the Upper Guir watershed, Southeastern Morocco, through spatial analysis with GIS and MCDM. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, *9,* 2077–2087. https://doi.org/10.1007/s41207-024-00551-x

Ministère de l'équipement et des transports du Royaume du Maroc (1998). *Note circulaire N°214.22-50.5-288-340 relative au contrôle et suivi des travaux routiers.*

Mortaji, A., Gasquet, D., Ikenne, M., Beraaouz, E.H., Barbey, P., Lahmam, M., & El Aouli, E.H. (2007). Les granitoides tardi-panafricains de l'Anti-Atlas sud-occidental (Maroc): Evolution d'un type magnésien à un type ferrifére. Exemple de la boutonniere d'Ifni*. Estudios Geológicos, 63*(1), 7–25.

Musolino, M., Massimo, D.E., Calabrò, F., Malerba, A., & Errigo, R. (2024). Quarry Census in a Regional Area for Future Valuation. In Calabrò, F., Madureira, L., Morabito, FC, & Piñeira Mantiñán, MJ (Eds.), *Networks, Markets & People. NMP 2024,* vol 1188, Cham. (pp. 361–372). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-74716-8_36

Oliva, P. (1978). Karst et structure dans le plateau des Akhsass (Anti-Atlas occidental - Maroc). *Revue de Géographie Alpine*, *66*(3)*,* 313–322. https://doi.org/10.3406/rga.1978.2138

Othman, A.H.A., & Haron, R. (2024). Carbon Footprint of Bank Loans and Climate Change Risk Mitigation: An Experience of Banking Industry in Malaysia. In M. Ma'Sum Billah, R. Hassan, R. Haron, N.R. Mohd Zain (Eds.) *Islamic Sustainable Finance.* Routledge. https://doi.org/10.4324/9781003395447-16

Ozcelik, Y. (2011). Predicting Los Angeles abrasion of rocks from some physical and mechanical properties. *Scientific Research and Essays, 6,* 1612–1619.

Pang, L., Wu, S., Zhu, J., & Wan, L. (2010). Relationship between retrographical and physical properties of aggregates. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed*., *25*, 678–681. https://doi.org/10.1007/s11595-010-0069-0

Pavesi, F.C., Richiedei, A., & Pezzagno, M. (2021). Advanced Modelling Tools to Support Planning for Sand/Gravel Quarries. *Sustainability, 13*, 6380. https://doi.org/10.3390/su13116380

Pires, A., Dias, A., Silva, P., Ferreira, A., Rodrigues, P., Santos, T., Oliveira, A., Freitas, L., Martins, A., Almeida, J., Silva, E., & Chaminé, H.I. (2023). Methodological insights from unmanned system technologies in a rock quarry environment and geomining heritage site: coupling LiDAR-based mapping and GIS geovisualisation techniques. *Arabian Journal of Geosciences, 16*(604), 1–18. https://doi.org/10.1007/s12517-023-11714-5

Punia, A., & Singh, S.K. (2024). Impacts of Mining and Quarrying Activities in the Himalayas: An Overview. In A. Borthakur, P. Singh (Eds.), *The Himalayas in the Anthropocene* (pp. 203–217). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-50101-2_9

Rejith, R.G., Anirudhan, S., Abinash, S., Thomas, P.M., Ashikraj, R.S. 2024a). Chapter 38 - Impacts of rock quarrying on land use and soil environment of a tropical mountain landscape in south Kerala, India. In S. Dharumarajan, S. Kaliraj, K. Adhikari, M. Lalitha, N. Kumar (Eds.), *Remote Sensing of Soils. Elsevier,* (pp. 609–624). https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18773-5.00005-3

Rejith, R.G., Anirudhan, S., Abinash, S., Thomas, P.M., & Ashikraj, R.S. (2024b). Chapter 38 - Impacts of rock quarrying on land use and soil environment of a tropical mountain landscape in south Kerala, India. In S. Dharumarajan, S. Kaliraj, K. Adhikari, M. Lalitha, & N. Kumar (Eds.), *Remote Sensing of Soils. Elsevier,* (pp. 609–624). https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18773-5.00005-3

Schulte, B., Benziane, F., Yazidi, A., Boger, S., & Lehmann, A. (2015). *Notes et Mémoires Serv. Géol. Maroc N° 541 (2015), Carte géologique Maroc (1/50 000), feuille Arbaa sahel.*

Shahane, H.A., & Patel, S. (2024). Comparative environmental life cycle assessment of artificial fly ash aggregates and natural aggregate production in India. *Innovative Infrastructure Solutions, 9*(69), 1–12. https://doi.org/10.1007/s41062-024-01382-z

Sharma, S., Beslity, J.O., Rustad, L., Shelby, L.J., Manos, P.T., Khanal, P., Reinmann, A.B., & Khanal, C. (2024). Remote Sensing and GIS in Natural Resource Management: Comparing Tools and Emphasizing the Importance of In-Situ Data. *Remote Sensing, 16,* 4161. https://doi.org/10.3390/rs16224161

Soulaimani, A. (1998). *Interactions socle/couverture dans l'Anti-Atlas occidental (Maroc): rifting fini-Protérozoïque et orogenèse hercynienne*. [These Doct.], Université Marrakech, Maroc.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.11

Taoufik, M., Loukili, I., Hadi, H.E., & Baghdad, B. (2020). Soil erosion risk assessment in an extraction area: Case of abandoned quarries in the Akreuch region (Morocco). In *2020 IEEE International Conference of Moroccan Geomatics (Morgeo)* (pp. 1–5). Presented at the 2020 IEEE International conference of Moroccan Geomatics (Morgeo). https://doi.org/10.1109/Morgeo49228.2020.9121910

Tarate, S.B., Patel, N.R., Danodia, A., Pokhariyal, S., & Parida, B.R. (2024). Geospatial Technology for Sustainable Agricultural Water Management in India—A Systematic Review. *Geomatics, 4*, 91–123. https://doi.org/10.3390/geomatics4020006

Thomas, R.J., Fekkak, A., Ennih, N., Errami, E., Loughlin, S.C., Gresse, P.G., Chevallier, L.P., & Liégeois, J.-P. (2004). A new lithostratigraphic framework for the Anti-Atlas Orogen, Morocco. *Journal of African Earth Sciences, 39,* 217–226. https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2004.07.046

Wanaim, A., Belfoul, M.A., Bouzid, S., & Faik, F. (2014). Speleogenesis and evidences tectonic into Lakhssas karst system (Western Anti-Atlas, Morocco). *Open Journal of Geology.* https://doi.org/10.4236/ojg.2014.47024

Wani, M.H., & Javed, A., (2013). Evaluation of natural resource potential in semi-arid micro-watershed, eastern Rajasthan, using remote sensing and geographic information system: A case study. *Arab J Geosci, 6*, 1843–1854. https://doi.org/10.1007/s12517-011-0472-7

Whig, P., Bhatia, A.B., Nadikatu, R.R., Alkali, Y., & Sharma, P. (2024). GIS and Remote Sensing Application for Vegetation Mapping. In T. Choudhury, B. Koley, A. Nath, J.S. Um, & A.K. Patidar (Eds.) *Geo-Environmental Hazards Using AI-Enabled Geospatial Techniques and Earth Observation Systems* (pp. 17–39). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-53763-9_2

Yazidi, A., Benziane, F., Schulte, B., Boger, S., Stockhammer, S., & Lehmann, A. (2015). *Notes et Mémoires Serv. Géol. Maroc N° 545 (2015), Carte géologique Maroc (1/50 000), feuille Ait Sbouya.*

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.11

Revista de Estudios Andaluces (REA) | Núm. 50, julio (2025) | e-ISSN: 2340-2776
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50 | © Editorial Universidad de Sevilla 2025
https://editorial.us.es/es/revistas/revista-de-estudios-andaluces
https://revistascientificas.us.es/index.php/REA
CC BY-NC-SA 4.0.

Impacts anthropiques sur la dégradation des sols et la durabilité des écosystèmes oasiens du Moyen Draa (Maroc)

Impact of human activities on soil degradation and sustainability of oasis ecosystems in the Middle Draa (Morocco)

Impactos antropogénicos sobre la degradación del suelo y la sostenibilidad de los ecosistemas de oasis en el Draa Medio (Marruecos)

Mahjoub Benbih
benbihelmahjoub@gmail.com 0009-0008-5759-8097
Equipe de recherche Géographique, Aménagement, Démographie et Développement (GEAMDD), Département de Géographie, FLSH Agadir, Université Ibn Zohr, Cité Dakhla. BP 29/8, Agadir, Maroc.

Abderrahmane Ouammou
a.ouammou@uiz.ac.ma 0009-0000-3579-1947

M'hamed Nmiss
mhamed.nmiss@usmba.ac.ma 0009-0001-4107-3690
Equipe de recherche Milieux naturels, Aménagement et Dynamiques Socio-Spatiales (MNADSS). FLSH Fès-Sais, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah-Fès. BP 59, Route Immouzer, 30000 Fès, Maroc.

Abdourrahmane Boukdoun
abdourrahman.boukdoun@edu.uiz.ac.ma 0009-0000-2703-1622

Hassan Nait-Si
hassan.nait-si@edu.uiz.ac.ma 0000-0003-3299-5447

Equipe de recherche Géographique, Aménagement, Démographie et Développement (GEAMDD), Département de Géographie, FLSH Agadir, Université Ibn Zohr, Cité Dakhla, BP 29/8, Agadir, Maroc.

INFO ARTÍCULO

Reçu: 23/03/2025
Révisé: 20/04/2025
Accepté: 07/05/2025

MOTS-CLÉS

Oasis
Draa moyen
Dégradation des sols
Salinité
Action anthropique

RÉSUMÉ

Cette étude évalue l'impact des activités anthropiques sur la durabilité de l'écosystème oasien du Draa Moyen (Maroc), en intégrant l'analyse de l'évolution démographique, de la dégradation des sols, des transformations des systèmes agricoles, et des effets de carriers non contrôlée sur l'environnement. Une approche méthodologique combinant des investigations de terrain, des analyses de laboratoire et le traitement de données démographiques ont été adoptées. La dégradation des sols a été quantifiée par l'échantillonnage de sites le long d'un gradient amont-aval du Draa Moyen au niveau des oasis de Tinzouline, Ternata et Fezouata. Les analyses ont porté sur la salinité (conductimétrie), la teneur en matière organique (méthode Walkley et Black) et le pH (pH-mètre). L'évolution démographique a été étudiée à partir des données de recensement (1994, 2004, 2014) et d'entretiens de terrain (douars d'Amezrou et Tinfou). Une analyse spatio-temporelle des surfaces agricoles et de la densité des palmiers dattiers a été réalisée par images Google Earth Pro dans l'oasis de Fezouata (2002-2018), de Beni Ali (2010-2019), et dans le Tamegrout (2009-2016). Les résultats indiquent une croissance démographique modérée associée à une répartition spatiale hétérogène et à une extension de l'habitat au détriment des terres agricoles. Une dégradation significative des sols a été mise en évidence, caractérisée par une salinisation (0.299-5.11 mS/cm), une faible teneur en matière organique et un pH élevé, corrélée à des pratiques d'irrigation non durables. L'intensification agricole induite par l'économie de marché entraîne une surexploitation des ressources hydriques et une vulnérabilité accrue des palmeraies. Ces résultats soulignent la nécessité d'une gestion intégrée et durable des ressources pour préserver la viabilité à long terme des oasis du Draa Moyen.

DOI: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.12
Formato de cita / Citation: Benbih, M., Ouammou, A., Nmiss, M., Boukdoun, A., & Nait-Si, H. (2025). Impact of human activities on soil degradation and sustainability of oasis ecosystems in the Middle Draa (Morocco). *Revista de Estudios Andaluces* (50), 266-285. https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.12
Correspondencia autores: benbihelmahjoub@gmail.com (Mahjoub Benbih)

KEYWORDS

Oasis
Middle Draa Valley
Soil degradation
Salinity
Anthropogenic action

ABSTRACT

This study assesses the impact of anthropogenic activities on the sustainability of the oasis ecosystem in the Middle Draa Valley (Morocco), integrating the analysis of demographic evolution, soil degradation, transformations in agricultural systems, and the environmental effects of uncontrolled extraction of materials. A methodological approach combining field investigations, laboratory analyses, and demographic data processing was adopted. Soil degradation was quantified by sampling sites along an upstream-downstream gradient of the Middle Draa Valley (Tinzouline, Ternata, and Fezouata oases). Analyses focused on salinity (conductimetry), organic matter content (Walkley and Black method), and pH (pH meter). Demographic evolution was studied using census data (1994, 2004, 2014) and field interviews (douars of Amezrou and Tinfou). A spatiotemporal analysis of agricultural areas and date palm density was conducted using Google Earth Pro imagery in the Fezouata (2002-2018) and Beni Ali (2010-2019) oases, and in Tamegrout (2009-2016). The results indicate moderate population growth associated with a heterogeneous spatial distribution and the expansion of habitat at the expense of agricultural land. Significant soil degradation was evidenced, characterized by salinization (0.299-5.11 mS/cm), low organic matter content, and elevated pH, correlated with unsustainable irrigation practices. Market-driven agricultural intensification leads to overexploitation of water resources and increased vulnerability of palm groves. These results underscore the need for integrated and sustainable resource management to preserve the long-term viability of the oases in the Middle Draa Valley.

PALABRAS CLAVE

Oasis
Medio Draa
Degradación del suelo
Salinidad
Acción antrópica

RESUMEN

Este estudio evalúa el impacto de las actividades antrópicas en la sostenibilidad del ecosistema de oasis en el Medio Draa (Marruecos), integrando el análisis de la evolución demográfica, la degradación del suelo, las transformaciones en los sistemas agrícolas y los efectos de la extracción no controlada de materiales en el medio ambiente. Se adoptó un enfoque metodológico que combina investigaciones de campo, análisis de laboratorio y el procesamiento de datos demográficos. La degradación del suelo se cuantificó mediante el muestreo de sitios a lo largo de un gradiente aguas arriba-aguas abajo del Medio Draa (oasis de Tinzouline, Ternata y Fezouata). Los análisis se centraron en la salinidad (conductimetría), el contenido de materia orgánica (método Walkley y Black) y el pH (medidor de pH). La evolución demográfica se estudió a partir de los datos del censo (1994, 2004, 2014) y entrevistas de campo (douars de Amezrou y Tinfou). Se realizó un análisis espacio-temporal de las superficies agrícolas y de la densidad de palmeras datileras mediante imágenes de Google Earth Pro en los oasis de Fezouata (2002-2018) y Beni Ali (2010-2019), y en Tamegrout (2009-2016). Los resultados indican un crecimiento demográfico moderado asociado con una distribución espacial heterogénea y una expansión del hábitat a expensas de las tierras agrícolas. Se evidenció una degradación significativa del suelo, caracterizada por la salinización (0.299-5.11 mS/cm), un bajo contenido de materia orgánica y un pH elevado, lo que se correlaciona con prácticas de riego insostenibles. La intensificación agrícola impulsada por la economía de mercado conlleva una sobreexplotación de los recursos hídricos y una mayor vulnerabilidad de los palmerales. Estos resultados subrayan la necesidad de una gestión integrada y sostenible de los recursos para preservar la viabilidad a largo plazo de los oasis en el Medio Draa.

1. INTRODUCTION

La dégradation des sols représente un enjeu environnemental majeur à l'échelle mondiale, menaçant la productivité biologique des sols et, par conséquent, la sécurité alimentaire (Romm *et al.*, 2011; Reynolds *et al.*, 2002). L'intensification de ce phénomène au cours des six dernières décennies est attribuée à une combinaison de facteurs, incluant la croissance démographique, des pratiques non durables d'exploitation des ressources naturelles et l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des aléas climatiques (MEA, 2005). Les populations rurales, en particulier les petites exploitations agricoles familiales des pays en développement, sont parmi les plus affectées par cette dégradation (Kpedenou, 2019). La surexploitation des terres, notamment la réduction drastique des périodes de jachère, limitant la restauration naturelle des sols, est reconnue comme un facteur causal primordial (Kpedenou, 2019).

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.12

Dans ce contexte, la vulnérabilité des sols agricoles est particulièrement préoccupante dans les régions arides et semi-arides, où les ressources en eau sont limitées et les écosystèmes sont fragiles. Le Maroc, situé à l'extrême nord-ouest de l'Afrique, illustre parfaitement cette situation. Avec 93% de son territoire classé comme aride ou désertique (Debbarh, 2001). Le pays est confronté à un défi primordial en matière de la dégradation des sols, nécessitant une attention spécifique dans l'élaboration des politiques publiques. La zone semi-aride, qui représente 15% du territoire, s'étend sur les plaines et plateaux intérieurs, au nord et à l'ouest des montagnes de l'Atlas (Badraoui, 2000). Bien que la durabilité des sols agricoles au Maroc soit une problématique qui dépasse les 9 millions d'hectares de Surface Agricole Utile (SAU), englobant également les terres pastorales, les forêts et les steppes (Laouina, 2010), les efforts de conservation des sols restent souvent limités aux espaces directement productifs, comme en témoignent les pratiques d'irrigation dans les zones oasiennes (Akdim *et al.*, 2007).

Parmi les zones les plus vulnérables au Maroc figurent les oasis, qui abritent une part significative de la population dépendent étroitement a la disponibilité en eau pour l'agriculture. Les oasis, présentes dans les grandes régions sèches du monde (Sahara, Maghreb, Moyen-Orient, Amérique latine, Asie centrale), accueillent environ 150 millions de personnes (Jouve, 2012). Au Maroc, les espaces oasiens jouent un rôle crucial tant sur le plan écologique que socio-économique (Houssni, 2023; Badraoui *et al.*, 2010; Chelleri, 2014). Ces espaces, qui font l'objet d'une stratégie nationale de développement durable (Chehbouni, 2024; Atbir, 2019), couvriraient une superficie d'environ 115 563 km² et abriteraient près de 1,7 million d'habitants (Sbaï, 2011). Ces espaces sont répartis en quatre principaux bassins: Guelmim-Tata, Draa, Ziz et Figuig (ATBIR, 2019). Malgré leur importance écologique et socio-économique, les oasis marocaines sont confrontées à des défis croissants liés à la dégradation des sols, mettant en péril leur durabilité.

Bien qu'intégrées au bassin du Draa, les oasis du Draa moyen présentent une complexité qui en fait un terrain d'étude privilégié pour les chercheurs. Les approches adoptées se répartissent principalement en trois grandes catégories: celles qui mettent l'accent sur la fragilité du milieu et la limitation des ressources, et celles qui soulignent le rôle de l'ingénierie locale dans le façonnement du territoire. La première s'intéresse à l'hydrologie et à l'hydrogéologie, soulignant la rareté et la vulnérabilité des ressources en eau. Ces études mettent en avant le rôle de la gestion de l'eau pour le développement économique et social, en analysant les causes de l'épuisement des ressources, leur lien avec la stabilité humaine et l'impact des transformations socio-économiques sur les structures sociales traditionnelles (Chamayou, 1966; Bahani, 1990; Ouhajou, 1996; Aït Hamza *et al.*, 2010; Ouhajou, 2017; Maimouni, 2018 ; Ait Taleb, 2018). La deuxième privilégie l'analyse de l'organisation de l'espace, de l'évolution des systèmes urbains et ruraux, et de la dynamique démographique, sociale et économique. Ces travaux mettent en évidence le rôle des acteurs locaux dans la production de l'espace et le développement, considérant les transformations actuelles comme le résultat de facteurs tels que les migrations (internationale et nationale), l'urbanisation et la croissance démographique (Bounar, 1993; Benattou, 2014; Benattou, 2015; Zahidi, 2022; Kersit, 2024). Enfin, la troisième adopte une approche intégrée, en étudiant la désertification et ses dimensions spatiales, environnementales, économiques et sociales. Ces études se divisent en deux courants: l'un privilégiant l'influence des facteurs climatiques, l'autre insistant sur le rôle des transformations socio-spatiales (Benmohammadi, 1995; Benmohammadi, 2000; Malaki, 2009; Elbelrhiti, 2014; Chelleri, 2014; Bentalb, 2015; Benbih, 2022; Akdim *et al.*, 2023). L'analyse critique de ces études révèle un besoin de renouvellement. Pour dépasser les limites du diagnostic classique et les glissements interprétatifs, une approche intégrée, ouverte aux autres disciplines, est indispensable, permettant de mieux appréhender la complexité des oasis actuelles et son évolution.

Cet article analyse les impacts des activités anthropiques sur la dégradation des sols et la vulnérabilité des systèmes oasiens dans le Draa Moyen, au Maroc. Trois objectifs principaux ont été définis dans ce travail. Le premier consiste à étudier la dynamique démographique de la région et ses répercussions dans un contexte de pression croissante sur des ressources naturelles limitées. Le deuxième vise à caractériser l'état des sols à travers une analyse physico-chimique menée le long d'un gradient amont-aval des oasis. Enfin, le troisième objectif porte sur l'évaluation de l'impact de l'intensification des pratiques agricoles et du développement anarchique des carrières sur l'environnement local. Afin d'atteindre ces objectifs, une approche méthodologique combinant le prélèvement d'échantillons sur le terrain, leur analyse en laboratoire, ainsi que la cartographie de l'évolution des palmeraies a été adoptée.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.12

2. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Les oasis du Moyen Draa, situées dans le bassin versant du Draa (372 km^2) entre Ouarzazate (barrage Mansour Eddahbi) et M'hamid El Ghizlane (lac Iriki) et délimitées par les latitudes 29°30′ - 31°00′ N et les longitudes 5°30′ - 6°30′ O (figure 1), comprennent six oasis principales, disposées de l'amont vers l'aval: Mezguita (environ 34 km d'Agdz à Foum Tansikht), Tinzouline (48 km de Foum Tansikht vers Foum Azlak), Ternata (environ 30 km entre Foum Azlak et Foum Zagora), Fezouata (37 km entre Foum Zagora, en aval de Ternata, et Foum Takakt), Ktaoua (25 km depuis Foum Takakt vers le sud-ouest jusqu'à Foum Tidri), et enfin M'hamid El Ghizlane, marquant la fin des oasis et le début des dunes aux abords du lac Iriki (tableau 1). Ces oasis sont d'une importance capitale très riche sur le plan biodiversité, culturel, historique, patrimonial, savoir-faire et agronomique (Boudellah *et al.,* 2022). D'ailleurs elles ont agrées dans les réserves de la biosphère par l'UNESCO.

Draa moyen a une géologie complexe, résultant d'une longue histoire tectono-sédimentaire. Il est structuré par des ensembles géologiques allant du précambrien au quaternaire (Clausen *et al.*, 2014; Beraaouz *et al.*, 2017). Du point de vue structural, le Draa moyen se situe dans le domaine géologique de l'Anti-Atlas et de la chaîne du Bani. L'Anti-Atlas présente un vaste bombement anticlinal d'orientation ENE-WSW, caractérisé par des affleurements de socle précambrien (terrains granitisés, magmatiques et métamorphisés) formant des boutonnières, bordées par une couverture sédimentaire paléozoïque (Robert-Charrue, 2006; Beraaouz *et al.*, 2017).

La chaîne du Bani, quant à elle, présente une structure monoclinale, séparée du noyau anti-atlasique par deux larges faijas dans les schistes (Robert-Charrue, 2006). Le substratum géologique est constitué de roches précambriennes et cambriennes (granite, rhyolite) intensément fracturées, surmontées par des massifs calcaires jurassiques dans le Haut Atlas et des basaltes triasiques intercalés (Carrillo-Rivera *et al.*, 2013). Des roches quartzitiques ordoviciennes affleurent également au Jbel Bani. La tectonique est caractérisée par des zones de distension (Ouanaimi & Lazreq, 2008). Les formations quaternaires sont constituées de dépôts qui se distinguent par leur degré de cimentation et leur taille de grain: conglomérats, alluvions détritiques, limons argilo-sableux (Chamayou, 1996). Leur façonnement et leur dynamique sont étroitement liés à l'oued Draa et à ses affluents (Benbih *et al.*, 2023). L'hydrogéologie est influencée par cette complexité géologique; les calcaires du Haut Atlas constituent un aquifère majeur, et Les débits de l'oued du Draa contribuent à l'alimentation des nappes souterraines qui longent les oasis (Carrillo-Rivera *et al.*, 2013).

Du fait de sa situation géologique (appartenance à l›Anti-Atlas et au Bani) et climatique (climat aride), Draa Moyen se caractérise par une prédominance de reliefs variés, différant par leur taille et leur étendue de l›amont vers l›aval. Il se distingue par la dominance d›une unité montagneuse, qui constitue une extension de la chaîne de l›Anti-Atlas et du Bani, entrecoupée de dépressions de taille limitée, localement appelées «Faijas», qui sont souvent parallèles au corridor fluvial de l›oued Draa ou de ses affluents, tel que l›oued Faija.

Le régime pluviométrique présente une forte irrégularité spatio-temporelle (Lahmidi *et al.*, 2020; Amiha *et al.*, 2024), avec des précipitations annuelles variant de 20 à 220 mm entre l'amont et l'aval du bassin. Les données des stations d'Ouarzazate, Agdz et Zagora révèlent une forte variabilité interannuelle : les maxima pluviométriques atteignent respectivement 227,8 mm (2014), 168 mm (1995) et 129 mm (2001), tandis que les minima descendent à 18,5 mm (1983), 21 mm (2001) et 18 mm (2009). Les températures moyennes annuelles varient également, oscillant entre 10°C (janvier) et 31°C (juillet) à Ouarzazate, et entre 10°C (janvier) et 33°C (juillet) à Zagora, avec une amplitude thermique annuelle de 21°C et 23°C, respectivement. Sa situation aux latitudes 30-31°N expose la région à un climat désertique.

Ce climat est également déterminé par la présence de vents chauds et secs en provenance du Sahara. Toutefois, la présence de l'oued engendre un microclimat local au cours des périodes d'écoulement. Ce microclimat se manifeste par l'apparition d'une brise locale, due au contraste thermique entre l'air plus frais au-dessus de l'eau et l'air ambiant plus chaud. Ce phénomène génère une circulation d'air horizontal, souvent ressentie en fin de journée, qui contribue à atténuer les températures élevées, notamment dans les oasis riveraines (Benbih *et al.*, 2023). La flore est adaptée à ces conditions arides, avec des plantes désertiques épineuses et des espèces arborées résistantes à la sécheresse et aux températures élevées,

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.12

telles que *Acacia radiana, Tamarix canariensis, Calotropis procera et Phragmites communis* (Boudellah *et al.*, 2022; Moumane *et al.*, 2025).

Les oasis du Draa moyen sont également caractérisées par la présence des zones dunaires d'étendues spatiales variables. Ces dunes, témoins de la phase terminale de la désertification des écosystèmes, contribuent à accélérer la dégradation des sols et de l'écosystème oasien. On distingue plusieurs unités dunaires hétérogènes, incluant des dunes d'aval de Ternata, les dunes de Fezouata (parallèles au Bani oriental et au Jebel Boujniba), les dunes d'Amezrou (situés entre le Jebel Adfane et les zones agricoles), les dunes de Tinfou (en aval de Foum Zguid et longeant les rives de l'oued Draa), les dunes de ktaoua, et enfin, les vastes ergs de M'Hamid El Ghizlane, s'étendant de Foum Tidir et le lac Iriki (Benbih *et al.*, 2022).

Le long de la bande fluviale de l'oued Draa, entre Agdz (amont) et M'hamid El Ghizlane (aval), les populations se sont installées et ont développé une civilisation basée sur l'exploitation des terrasses fluviales. Ce savoir-faire ancestral a permis l'émergence de techniques d'ingénierie locales, assurant la pérennité de leur présence (Aït Hamza *et al.*, 2010; Janty, 2014). Depuis longtemps, l'homme oasien a développé plusieurs formes d'adaptation et de gestion des ressources en eau à travers d'un système d'irrigation traditionnel complexe tels que les khettaras et les seguia (Laaouane, 2004; Bentalb, 2015; Bahani, 1990; Beraaouz *et al.*, 2022).

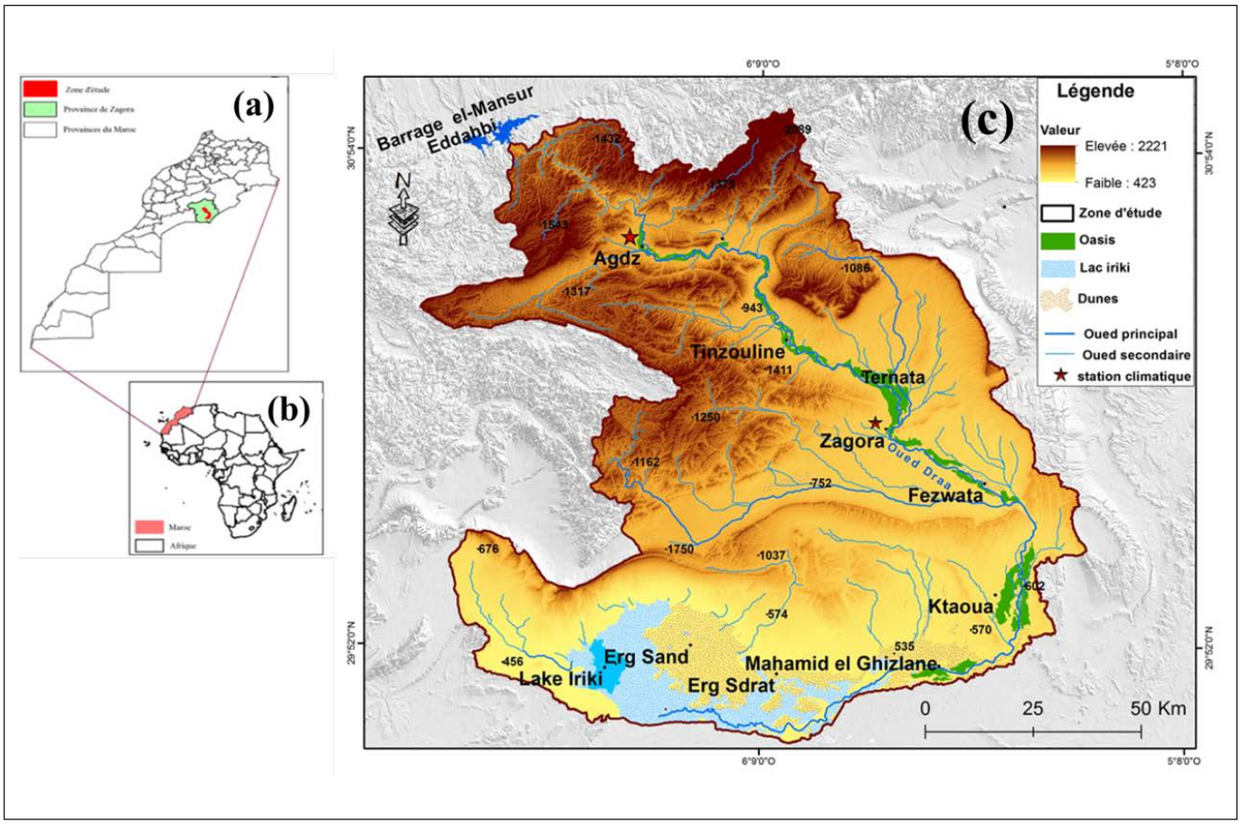


Figure 1. Positionnement de la zone d'étude au sein Maroc (a). Situation du Maroc dans la région Afrique (b). Localisation géographique de la zone d'étude (c). Source: élaboration personnelle à partir du modèle numérique d'élévation (30 m) et des images satellite de Google Earth Pro.

Tableau 1. La superficie totale et agricole des oasis du Draa moyen.

Oasis	Superficie totale (ha)	Superficie agraire (ha)
Mezguita	3596	2419
Tinzouline	5864	4015
Ternata	7831	5858
Fezouata	5581	3825
Ktaoua	11032	7770
M'Hamid El Ghizlane	3305	2231
Total	37209	26118

Source: élaboration personnelle basée sur les données du Centre Régional d'Investissement Agricole d'Ouarzazate.

© Editorial Universidad de Sevilla 2024 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.12

3. METHODES ET MATERIELS

3.1. Caractérisation de la dégradation des sols

L'évaluation de la dégradation des sols a été réalisée grâce à une méthodologie combinant l'échantillonnage de terrain, les analyses en laboratoire, et le travail cartographique. Ces analyses, effectuées au sein des laboratoires de l'INRA à Agadir, ont permis de déterminer des paramètres clés tels que la salinité, la teneur en matière organique ainsi que le pH des sols.

La détermination de la salinité des sols a été effectuée par conductimétrie, une technique basée sur la mesure de la conductivité électrique (CE) d'un extrait aqueux préparé selon un ratio sol/eau distillée de 1:5. La CE a été mesurée à l'aide d'un conductimètre (EC mètre) avec compensation de température à 25°C. La CE est un paramètre qui reflète la concentration des sels dissous et qui est utilisé comme indicateur direct de la salinité du sol (Ingvalson & Rhoades, 1971). Il est important de noter que la CE est influencée par plusieurs facteurs physico-chimiques, notamment la texture, la composition minéralogique, la porosité, l'humidité, la concentration en sels et la température. La compensation de température à 25°C est donc essentielle pour assurer la précision des mesures, étant donné que la CE varie d'environ 2.02% par degré Celsius entre 15 et 35°C (Besson *et al.*, 2008).

La quantification de la matière organique des sols a été réalisée selon le protocole classique de Walkley et Black (1934). Cette méthode repose sur l'oxydation chimique du carbone organique par une quantité connue de dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$), en présence d'acide sulfurique concentré (H_2SO_4). Le dichromate de potassium non consommé est ensuite dosé par titrage, ce qui permet de déterminer la quantité de carbone organique oxydé. Les résultats sont généralement exprimés en pourcentage de matière organique, considéré comme un indicateur direct de la fertilité des sols. Toutefois, bien que largement utilisée, cette méthode ancienne présente plusieurs limites, notamment l'emploi de réactifs dangereux et une sous-estimation partielle du carbone total. Aujourd'hui, plusieurs méthodes plus récentes sont disponibles, telles que la combustion sèche (ou méthode de Dumas), reconnue pour sa précision dans la mesure du carbone organique total. Cette technique repose sur la combustion complète de l'échantillon à haute température, suivie de la détection du dioxyde de carbone (CO_2) émis, offrant ainsi des résultats fiables, reproductibles et exempts de l'usage de substances toxiques (Nelson & Sommers, 1996 ; FAO, 2020).

Pour évaluer l'acidité ou la basicité du sol, le pH a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre électronique. La procédure a consisté à mélanger le sol avec de l'eau distillée (ratio 1:2, poids/volume) pour former une suspension. Après avoir bien agité le mélange, on a attendu que la lecture du pH se stabilise avant de relever la valeur. Cette valeur permet de déterminer si le sol est acide, neutre ou basique (Thomas *et al.*, 2018).

Six échantillons représentatifs ont été prélevés le long d'un gradient amont-aval du Draa Moyen: TS1 et TS2 (oasis de Tinzouline), TRS1 et TRS2 (oasis de Ternata), et FS1 et FS2 (oasis de Fezouata). La localisation géographique et la densité de population ont été les critères principaux guidant le choix de ces sites (tableau 2).

Tableau 2. Localisation des zones d'échantillonnage dans les oasis du Draa Moyen.

Échantillons	Code	Oasis	Coordonnées	
1	TS1	Tinzouline	30°32'45.60»N	6°7'7.57»O
2	TS2	Tinzouline	30°28'19.88»N	6°0'42.66»O
3	TRS1	Ternata	30°21'0.37»N	5°47'41.15»O
4	TRS2	Ternata	30°19'18.11»N	5°49'32.38»O
5	FS1	Fezouata	30°18'0.75»N	5°49'26.76»O
6	FS2	Fezouata	30°15'5.31»N	5°40'14.14»O

Source: élaboration personnelle basée sur les données de terrain collectées à l›aide de GPS.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.12

3.2. Analyse de l'évolution démographique

Pour évaluer l'impact de la croissance démographique sur la durabilité des oasis, une analyse combinant données démographiques (province de Zagora, recensements de 1994, 2004 et 2014) et entretiens de terrain a été menée dans les douars d'Amezrou et de Tinfou. Ce choix est expliqué par les mutations environnementales et socio-économiques importantes qui affectent (ensablement, occupation des sols, systèmes de production), ainsi que par leur position contrastée par rapport au centre urbain de Zagora (proximité pour Amezrou, éloignement pour Tinfou).

3.3. Cartographie de la surface agricoles et le palmier dattier

Une approche cartographique a été mise en œuvre pour localiser la zone d'étude (coordonnées x, y) et analyser l'évolution spatio-temporelle des phénomènes étudiés. L'analyse repose sur l'utilisation des cartes topographiques et les images fournissent par Google Earth pro. Afin de caractériser l'évolution des surfaces agricoles et de la densité des palmiers dattiers, deux zones échantillons ont été sélectionnées. La première, située dans la zone de faija de l'oasis de Fezouata, au Nord-Ouest d'Amezrou, a été analysée sur la période 2002-2018. La seconde, localisée dans la zone d'Anagame, au Sud-Ouest de Beni Ali (partie aval de l'oasis), a été étudiée sur la période 2010-2019 Le choix de l'oasis de Fezouata se justifie par son statut de référence en matière d'évolution des pratiques agricoles à l'échelle du Draa Moyen. En complément de l'analyse spatiale, l'évolution démographique a été étudiée à partir des données des recensements de 1994, 2004 et 2014, ainsi que d'une enquête de terrain menée dans les douars d'Amezrou et de Tinfou. Cette dernière s'est fondée sur un échantillon représentatif de 60 ménages, répartis équitablement entre les deux localités (30 à Tinfou et 30 à Amezrou).

4. RESULTAT

Les résultats de cette étude seront présentés selon trois axes majeurs: l'analyse de la pression démographique sur les ressources limitées, l'évaluation des impacts des activités humaines sur la dégradation des sols, et l'examen de l'influence de ces activités sur la durabilité des écosystèmes oasiens. Dans ce cadre, nous concentrerons sur l'agriculture oasienne, en particulier la tension entre intensification et menaces environnementales, en mettant l'accent sur le problème des carrières non contrôlées.

4.1. Impacts de la croissance démographique sur la capacité de charge environnementale

L'étude des caractéristiques démographiques du Draa Moyen, à travers l'analyse des données issues des recensements de la population de 1994, 2004 et 2014, ainsi que d'observations de terrain, révèle une croissance démographique significative. Cette dynamique est considérée comme une manifestation des transformations économiques et sociales qui affectent ce territoire.

L'évolution démographique du Draa Moyen, se caractérise par une croissance continue, mais à un rythme modéré. La population est passée de 255 805 habitants en 1994 à 283 336 en 2004, soit un taux de croissance annuel de 1,03%, puis à 307 306 en 2014, avec un taux de croissance annuel de 0,81% (tableau 3). Le taux de croissance global sur la période 1994-2014 s'établit à 0,88%, un niveau inférieur à la moyenne nationale (1,31%) (Atiki, 2019; Kidou *et al.*, 2019), ce qui souligne la fragilité socio-économique de ce territoire. Cette population présente une répartition spatiale hétérogène, s'étendant de manière parallèle au cours des anciennes terrasses fluviales supérieures de l'oued Draa.

Les formes d'installations des populations sont déférentes dans le faija et prendre une forme dispersée en raison de l'étendue des surfaces disponibles. À l'inverse, il se concentre dans les secteurs des gorges (Foum). Les populations locales réservent les zones proches de l'oued aux activités agricoles, tandis que

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.12

les parties restantes sont consacrées à l'habitat, qui coïncide souvent avec des formations rocheuses topographiquement élevées. Cependant, l'accroissement démographique récent conduit à une extension de l'habitat sur des versants montagneux adjacents, plus favorables, et des terres agricoles avoisinantes. Cette répartition est influencée par plusieurs dimensions géomorphologiques. Au premier plan, la configuration topographique générale, suivie par le facteur altitudinal. Les altitudes diminuent de l'amont vers l'aval selon une pente moyenne de 3%, avec des variations internes. Ce déterminant topo-géomorphologique engendre des disparités non seulement dans la concentration de la population, mais aussi dans la détermination de la valeur foncière de la terre.

L'analyse des taux de croissance démographique dans le Draa moyen (1994-2014) révèle une hétérogénéité spatiale significative. On observe des zones à forte croissance (Agdz, Zagora), des zones à croissance modérée (Tamegroute et Ternata), des zones à croissance faible (Aflanndra et Tassifte), et des zones en déclin démographique (Ktaoua, M'Hamid El Ghizlane, Blaidia et Aït Boudad). Cette répartition inégale, avec une croissance plus marquée à proximité de l'oued Draa et en amont du bassin, suggère une corrélation avec la dégradation des sols, exacerbée dans les zones riveraines de l'oued. Ces disparités s'expliquent par des facteurs historiques (occupation ancienne, architecture traditionnelle), géographiques (proximité de l'eau et des axes routiers), et stratégiques (politiques d'aménagement du territoire).

L'analyse densité de population révèle des disparités typiques liées aux contextes socio-économiques et environnementaux. Les communes riveraines de l'oued (oasis) présentent généralement des densités plus élevées que les autres. On peut identifier trois types de zones :

- Densités fortes: Zagora (évolution de 1454 habitants/km² en 1994 à 2226 habitants/km² en 2014, la plus forte densité du Draa moyen) et Agdz (de 294 à 534 habitants/km² sur la même période).
- Densités moyennes: Bouzeroual, Bnizouli et Fezouata, avec une densité comprise entre 40 et 80 habitants/km².
- Densités faibles à très faibles: Ternata, M'Hamid El Ghizlane et Lktaoua, étalant moins de 40 habitants/km².

Tableau 3. Evolution de la population du Draa moyen entre 1994 et 2014.

Année	Nombre de Population	Période statistique	Croissance annuelle (%)	Croissance totale	Taux d'croissance annuel
1994	255805	1994-2004	1,03	27531	2753
2004	283336	2004-2014	0,81	23970	2397
2014	307306	1994-2014	0,88	51501	2575

Source: élaboration personnelle à partir des données démographiques (province de Zagora, recensements de 1994, 2004 et 2014).

4.2. Impacts anthropiques sur la dégradation des sols

Les analyses de salinité ont mis en évidence une variabilité des valeurs allant de 0.299 à 5.11 mS/cm, avec une valeur moyenne de 1.57 mS/cm. Ce niveau de salinité élevé témoigne d'une dégradation des sols, imputable aux épisodes de sécheresse prolongée et aux pratiques d'irrigation par submersion, qui favorisent l'évaporation et l'accumulation des sels (tableau 4). En conséquence, le recours à des amendements organiques apparaît comme une stratégie incontournable pour améliorer la fertilité des sols et atténuer les effets de la salinisation.

Les résultats mettent en évidence des valeurs moyennes de 1.33 mS/cm à Tinzouline, 0.396 mS/cm à Ternata et 2.996 mS/cm à Fezouata, traduisant une augmentation générale de la salinité le long du gradient amont-aval du Draa Moyen. Des variations significatives de la salinité sont également observées à l'intérieur des oasis, avec par exemple des valeurs allant de 0.299 à 0.493 mS/cm à Ternata et de 0.88 à 5.11 mS/cm à Fezouata.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.12

Ces résultats indiquent que les sols du Draa Moyen présentent un niveau de salinité allant de modéré à élever. Ce phénomène, bien que paradoxal, est étroitement lié à la gestion de l'eau: l'eau, bien qu'essentielle à la vie dans les zones arides, est un facteur majeur d'augmentation de la salinité des sols en raison d'une gestion irrationnelle (Boodt, 1993). Dans les climats désertiques, les sels sont répartis de manière relativement homogène dans les profils de sol humidifiés par les précipitations ou l'irrigation. L'évaporation intense, induite par les températures élevées, entraîne la précipitation des sels dissous à la surface du sol sous forme de croûtes blanches, conduisant à la salinisation, à la perte de fertilité et à la diminution de la productivité (Loyer, 1991; Casenave *et al.,* 1989).

La salinisation engendre une dégradation de la structure du sol et entrave l'absorption de l'eau par les plantes, pouvant provoquer leur mort. C'est pourquoi il est essentiel de souligner que la réduction de la salinité des sols passe par une compréhension approfondie de leurs propriétés physico-chimiques et par l'adoption de techniques d'irrigation modernes (Boodt, 1993). Parallèlement à l'augmentation de la salinité, une hausse du pH est également constatée le long du gradient amont-aval du Draa Moyen. Les valeurs de pH mesurées dans les oasis de Tinzouline (7.75-7.57), Ternata (7.45-7.35) et Fezouata (7.69-8.02) indiquent un caractère neutre à une tendance vers des pH basiques des sols. L'analyse aussi révèle une hétérogénéité spatiale de la teneur en matière organique, avec des valeurs variant significativement entre les oasis de Tinzouline (1.538%-1.812%), Ternata (0.609%-1.078%) et Fezouata (0.917%-1.607%). Néanmoins, ces valeurs permettent de classer globalement les sols du Draa Moyen comme pauvres à très pauvres en matière organique.

Les résultats de cette étude mettent en évidence une dégradation de des sols du Draa Moyen, caractérisée par une faible teneur en matière organique, une salinité élevée et des valeurs de pH élevées. Cette situation expose les sols à une série de risques, nécessitant des interventions pour garantir leur durabilité, en particulier dans le contexte climatiques actuelle et les changements des systèmes de production agraires, qui exacerbent ce problème (photo 1).

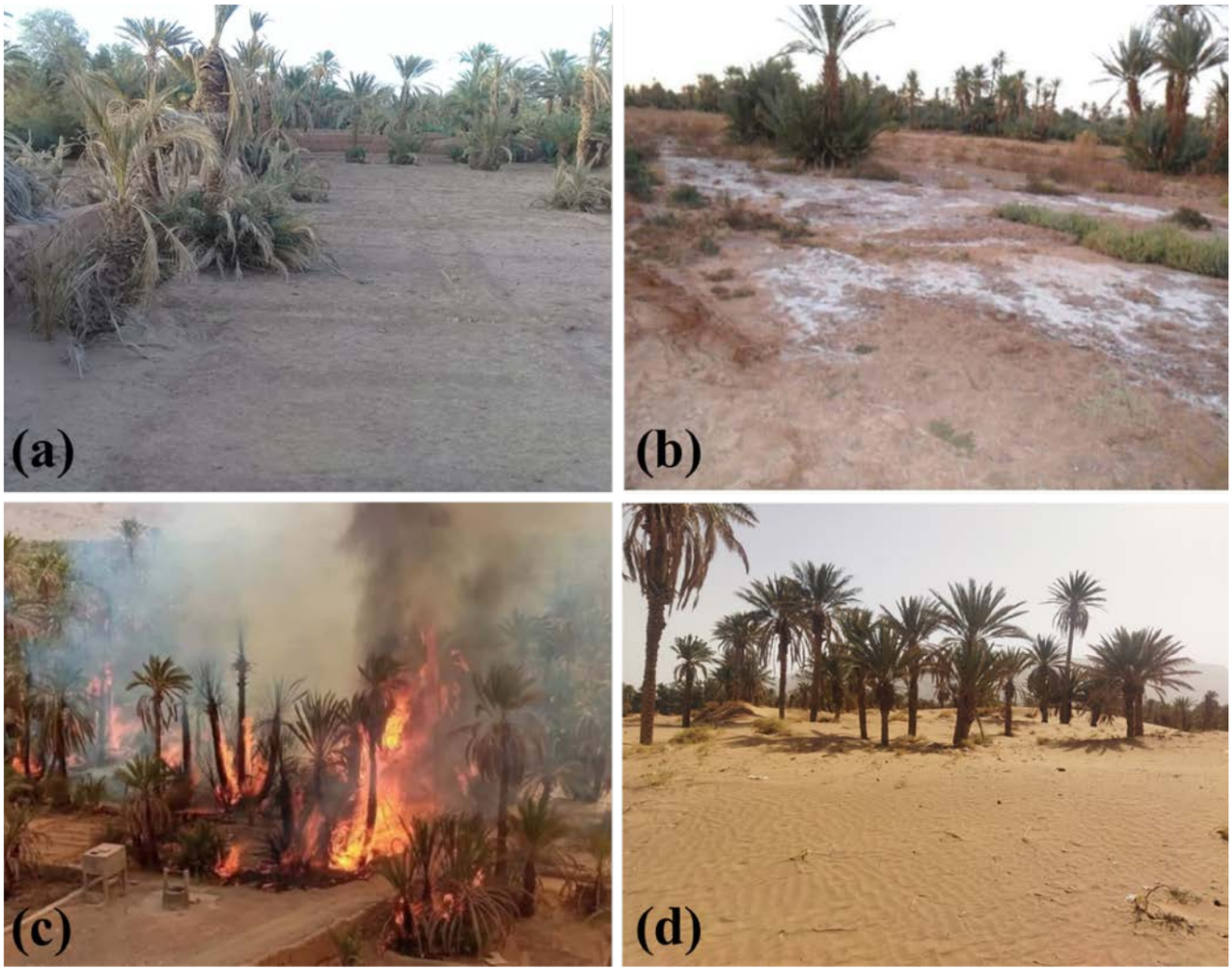


Photo 1. L'abondement de champs agricoles par les populations à cause de l'absence de l'eau (a). L'augmentation de la salinité de sols a couse de l'irrigation par la submersion (b). L'effet d'incendie sur le palmaire dataire et les champs agraires (c). Remplissages des champs agricoles par la dynamique éolienne (d). Source: photographie personnelle (14/05/2024).

© Editorial Universidad de Sevilla 2024 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.12

Tableau 4. Indicateurs de la qualité des sols: Salinité, matière organique et pH dans les oasis du Draa moyen.

Échantillon	Paramètre	Résultat	Unité	Méthode	Interprétation
TR1	pH	7,45	–	1:2	Basique
	Conductivité électrique (EC)	0,299	mS/cm à 25C°	1:5	Non salin
	Matière Organique	1,078	%	Walkely-Black	Sol pauvre
TR2	pH	7,35	–	1:2	Basique
	Conductivité électrique (EC)	0,493	mS/cm à 25C°	1:5	Légèrement salin
	Matière Organique	0,609	%	Walkely-Black	Très pauvre
FS1	pH	7,69	–	1:2	Basique
	Conductivité électrique (EC)	0,883	mS/cm à 25C°	1:5	Modérément salin
	Matière Organique	1,607	%	Walkely-Black	Pauvre
FS2	PH	8,02	–	1:2	Basique
	Conductivité électrique (EC)	5,11	mS/cm à 25C°	1:5	Extrêmement salin
	Matière Organique	0,917	%	Walkely-Black	Très pauvre
TS1	pH	7,75	–	1:2	Basique
	Conductivité électrique (EC)	1,56	mS/cm à 25C°	1:5	Très salin
	Matière Organique	1,812	%	Walkely-Black	Pauvre
TS2	pH	7,57	–	1:2	Basique
	Conductivité électrique (EC)	1,117	mS/cm à 25C°	1:5	Très salin
	Matière Organique	1,538	%	Walkely-Black	Pauvre

Source: élaboration personnelle à partir de l'analyse des échantillons à l'INRA d'Agadir.

4.3. Impacts anthropiques sur la durabilité d'écosystème oasien

La croissance démographique exerce une pression sur l'agriculture oasienne, entraînant une intensification des pratiques agricoles qui menace la durabilité de ces écosystèmes fragiles (El Khoumsi *et al.*, 2017).

Les oasis du Draa moyen se caractérisent par un paysage phoenicicole typique, localement désigné sous le terme jnane. Ces entités agraires se composent par des plantations denses sur des propriétés bien délimitées dans l'espace, ne dépassant généralement pas 1 hectare. Ils sont principalement localisés le long de l'oued Draa, et sont constituées par des éléments physiques, pratiques et fonctionnels en interaction. Du point de

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.12

vue économique, ces paysages jouent un rôle primordial dans le développement du paysage oasien et de ses secteurs avoisinants. Ce patrimoine végétal se caractérise également par une diversification de la production.

L'organisation du paysage phoenicicole des oasis du Draa moyen tire parti du microclimat, de l'espace, de la luminosité et du vent. Cette organisation se manifeste par une superposition des cultures en trois strates agroforesteries. La strate supérieure, la plus haute, est formée de palmiers dattiers. La strate intermédiaire est constituée d'arbres fruitiers. La strate inférieure, à l'ombre, est constituée de plantes herbacées. Bien que les fellah exploitent des conditions microclimatiques favorables, l'agriculture est tributaire de l'oued Draa, source principale d'irrigation (Aït Hamza *et al.,* 2010). La superficie cultivable est limitée par la topographie, les conditions pédologiques et la présence de terrasses limoneuses d'âge actuel et subactuel.

Actuellement, une dynamique importante anime ce paysage oasien, orientée vers l'augmentation et la diversification de la production pour répondre à la demande du marché. Cette évolution, qui transforme l'agriculture oasienne de l'autoconsommation à la commercialisation, menace l'équilibre de ce secteur clé et la durabilité des ressources de l'écosystème, notamment en favorisant le déficit hydrique, la salinisation des sols et la propagation de la fusariose vasculaire (maladie du bayoud) (Ahmed *et al.,* 2024).

L'évolution de l'agriculture oasien se traduit par une diversité de processus, incluant la mécanisation de la production et l'optimisation des techniques d'extraction de l'eau (motopompes modernes), l'intégration de sources d'énergie renouvelable (énergie solaire) pour réduire les coûts, l'introduction de nouvelles cultures (pastèque), la transformation des qualités organoleptiques des produits, l'augmentation des rendements, le développement de réseaux de fournisseurs d'intrants et de techniques agricoles, et l'aménagement de bassins d'accumulation.

L'analyse cartographique diachronique de secteurs agricoles sélectionnés dans les oasis du Draa moyen révèle une évolution important de la superficie agricole utile et du nombre de champs irrigués. Cette dynamique est particulièrement visible dans les zones de Faija Fezouata, au nord-ouest d'Amezrou (2002-2018) (figure 2), et dans la zone d'Anagame, au sud-ouest de Beni Ali (2010-2019) (figure 3).

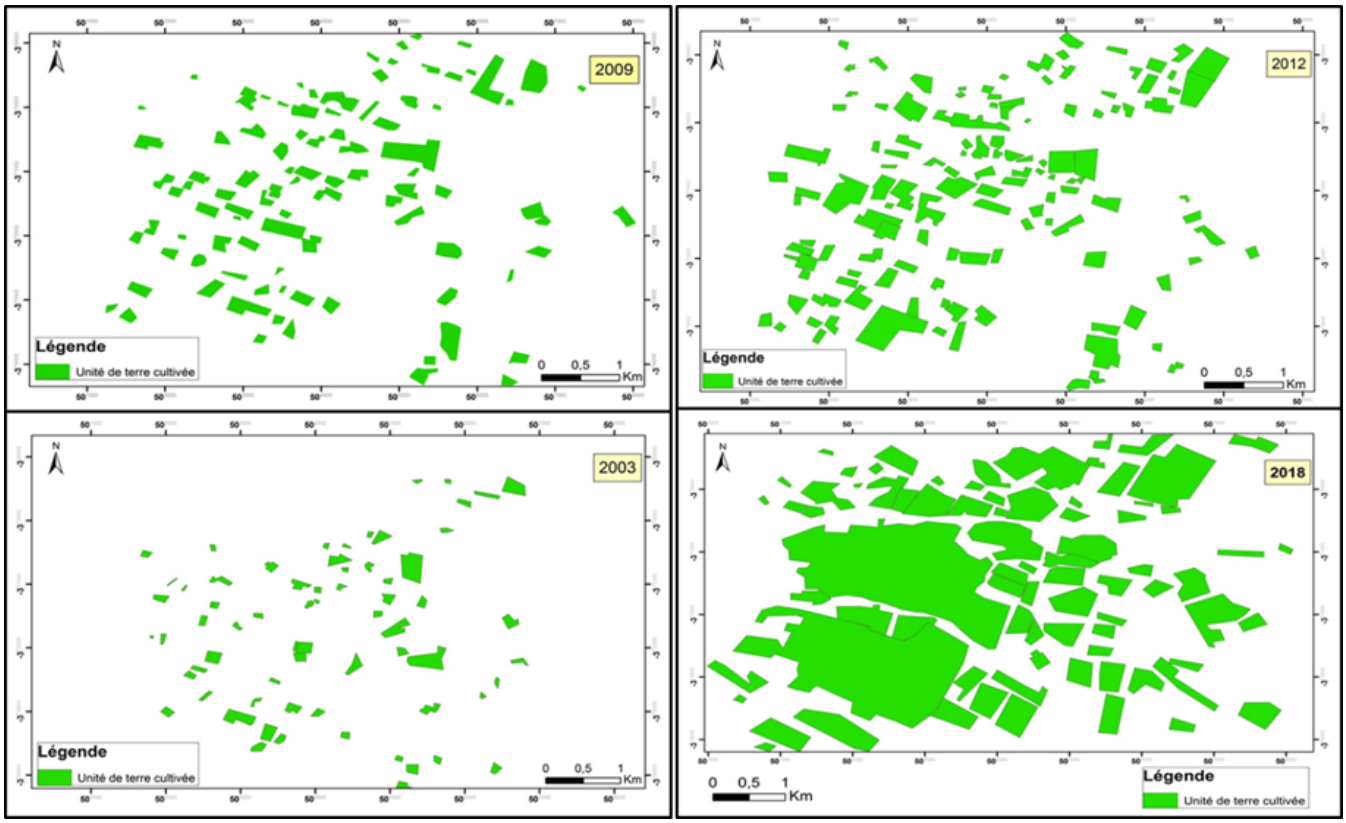


Figure 2. L'évolution de la surface agricole dans le Faija de Fezouata. Source: élaboration personnelle à partir des images de Google Earth Pro.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.12

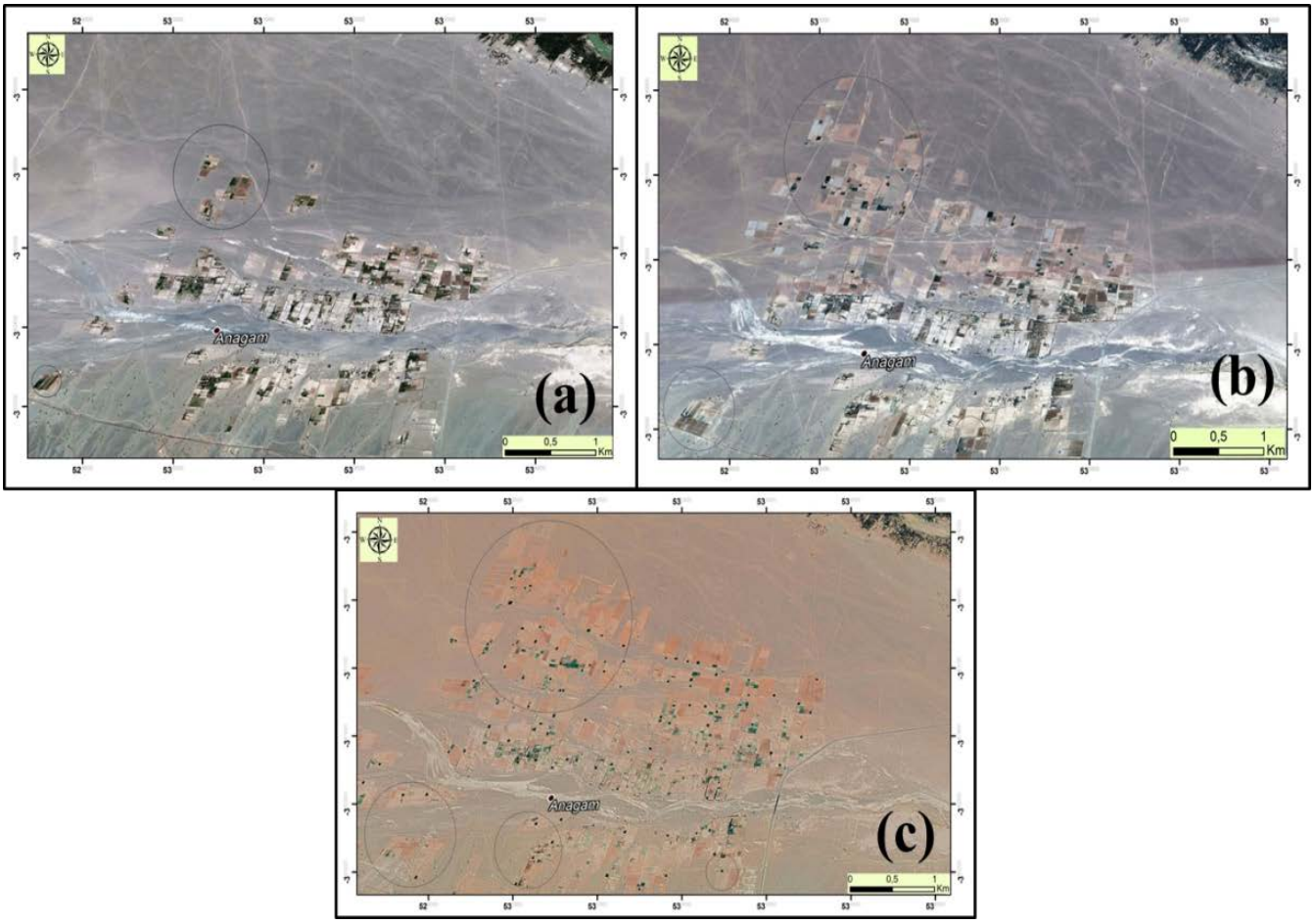


Figure 3. Evolution de la surface agricole dans Anagame, aval de Fezouata. situation de 2010 (a), situation de 2016 (b), situation de 2019 (c). Source: élaboration personnelle à partir des images de Google Earth Pro.

Ces secteurs se caractérisent par des pratiques agraires intensives et une productivité élevée, favorisées par l'adoption de techniques modernes, ainsi que par la présence de cultures fourragères alimentées par l'oued faija lors des précipitations et par une nappe phréatique peu profonde.

Le palmier dattier (Phoenix dactylifera), espèce structurante des oasis du Draa moyen, assure un équilibre environnemental et socio-économique grâce à son adaptation aux conditions climatiques arides (Ben Abdallah *et al.,* 200; Ipgri *et al.*, 2005; Gros-Balthazard *et al.,* 2013) et à son interaction avec les pratiques agricoles. Sa dégradation constitue donc une menace pour la durabilité de ces écosystèmes et la pérennité des modes de vie oasiens (figure 4 a et b) . L'état du palmier dattier dans les oasis du Draa moyen présente une évolution contrastée selon les zones. Le secteur de Beni Ali a connu une dégradation dominante, avec une diminution du nombre de palmiers due à leur utilisation pour la construction et la production de bois. En revanche, le secteur de Tamegrout a connu une augmentation du nombre de palmiers, principalement au Nord-Ouest et à l'Est-Ouest, grâce à un programme d'arborisation et de fixation des dunes mené par les services des eaux et forêts depuis 1979 (figure 4 c et d). Ces résultats soulignent la nécessité d'une gestion intégrée et durable pour préserver à long terme cette ressource essentielle.

Le paysage oasien du Draa moyen a connu également des mutations spécifiques liées à la croissance démographique, aux changements dans l'occupation des sols et à l'évolution des modes de vie. Ces facteurs ont favorisé une intensification des systèmes de production agricole, dans un contexte de sensibilité accrue aux changements globaux et aux enjeux territoriaux (Odghiri, 2023). Ces évolutions ont induit des transformations à la fois dans la forme et dans l'intensité des systèmes de production, ainsi que des changements structurels au sein des communautés oasiennes. On distingue principalement deux types de systèmes de production, caractérisés par des pratiques et des dynamiques distinctes:

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.12

- Le système traditionnel caractérise par une main-d'œuvre intensive tout au long du cycle agricole, au sein d'une structure familiale peu mécanisée. L'irrigation repose principalement sur la gravité, grâce à des khettaras (systèmes de captage des eaux souterraines) et des canaux acheminant l'eau vers les parcelles cultivées. Ce système est actuellement en déclin et perçu par les populations comme une source de vulnérabilité. La dégradation de ce patrimoine agricole millénaire est liée à la détérioration de la société patricienne (Akdim, 2009), ksour (villages fortifiés) pailleurs, les aspects religieux jouent un rôle important dans la réglementation de ces systèmes traditionnels.
- Les systèmes modernes se subdivisent en deux catégories, selon la taille des exploitations et le niveau d'intensification. D'une part, le système de mise en valeur de petites et moyennes parcelles se caractérise par une approche familiale et une mécanisation limitée, intermédiaire entre le système traditionnel et les grandes exploitations. Les agriculteurs visent une intensification et une diversification de la production, ce qui se traduit par une augmentation des prélèvements d'eau, notamment par le forage de nouveaux puits. D'autre part, le système de mise en valeur des grandes parcelles concerne les grandes exploitations, avec une mécanisation intensive et l'utilisation de techniques agricoles modernes à toutes les étapes de la production. Ce système, que l'on trouve notamment dans faija, correspond à une agriculture industrielle, avec des exploitations de l'ordre de 60 à 90 hectares.

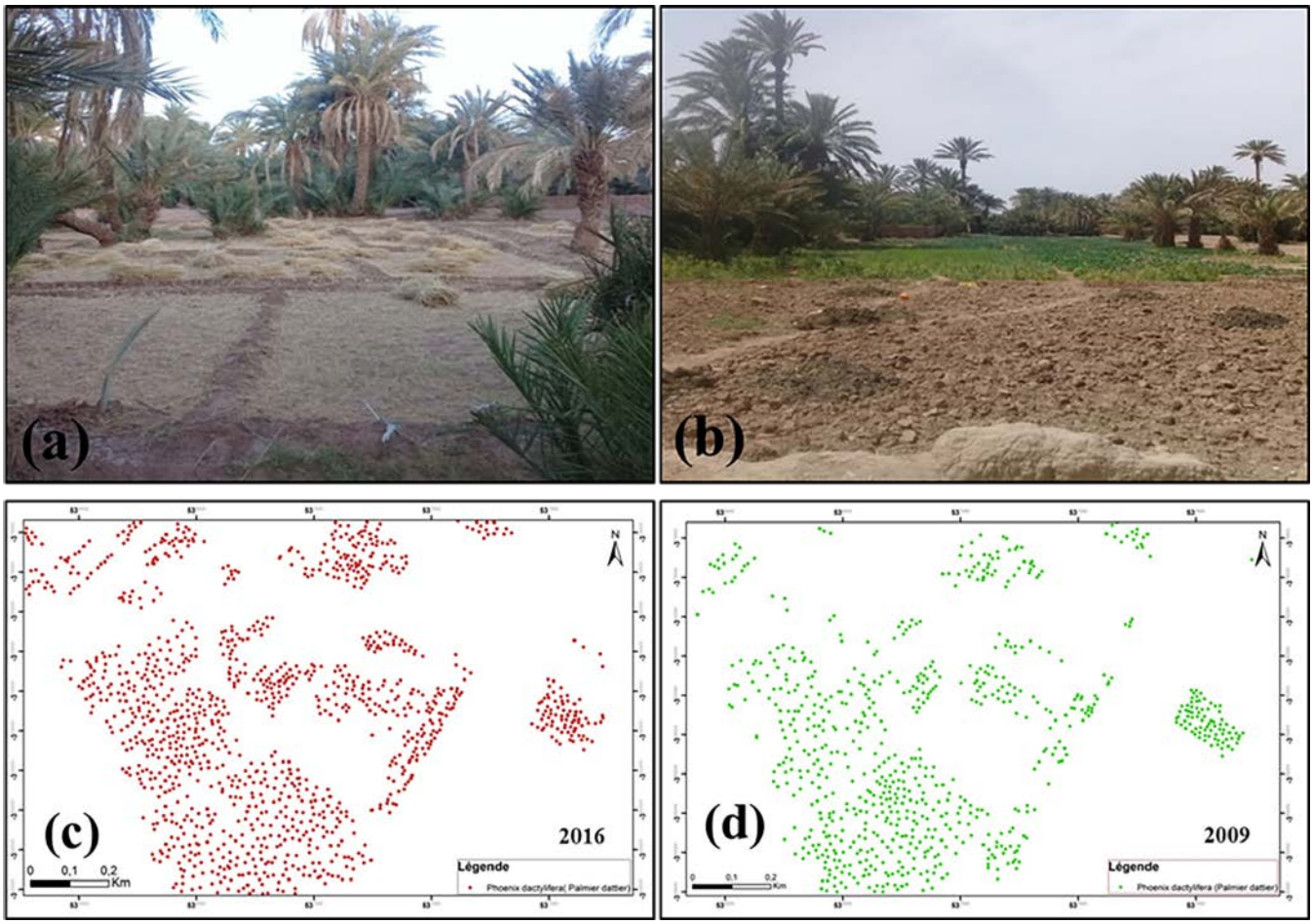


Figure 4. Evolution du palmier dattier dans le Tamgrout. Source: élaboration personnelle basée sur les images de Google Earth Pro et les photographies personnelles (05/12/2022).

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.12

4.4. Augmentation aléatoire des carrières et ses impacts environnementaux

Le Draa Moyen est marqué par la présence de nombreuses carrières informelles d'extraction des sables, en plus de quelques carrières autorisées. L'exploitation de ces carrières dépasse souvent la capacité de restauration des nappes alluviales, avec des impacts multiples: perturbation du bilan sédimentaire, dégradation du paysage (notamment près des zones touristiques comme Zagora (contamination de la qualité paysagère visuelle) et perturbation du régime hydrologique de l'oued en réduisant le volume des sables des terrasses fluviatiles du cours d'eau (lis mineur, moyen et majeur). Bien que l'exploitation des carrières puisse avoir des effets négatifs, certains résidents locaux estiment que les carrières informelles situées à proximité des puits contribuent à la recharge de la nappe phréatique (photos 2).

L'impact de l'exploitation des carrières dépasse la simple altération du paysage géomorphologique et s'étend aux différentes composantes de l'écosystème oasien. Parmi les atteintes observées, on peut citer la pollution potentielle des eaux souterraines due au rejet de déchets (huiles de moteur, emballages plastiques) et la dégradation de la végétation naturelle des berges de l'oued Draa, compromettant ainsi la stabilité de ces dernières et favorisant les phénomènes d'érosion. L'extraction intensive de sable, largement utilisée dans le secteur du bâtiment et des travaux publics.

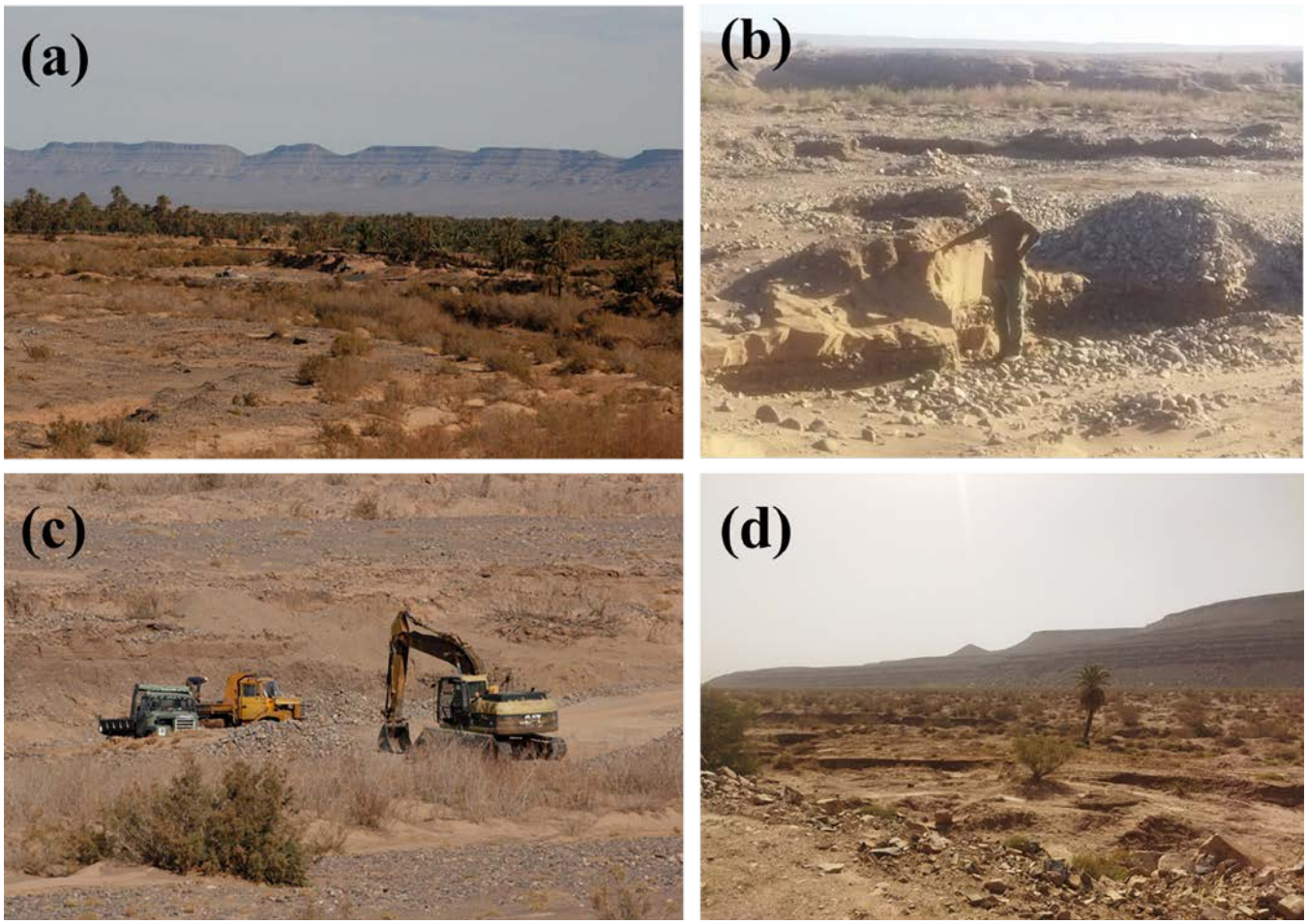


Photo 2. L'effet de l'exploitation des carrières sur la morphologie fluviale de l'oued Draa (a). L'effet de la carrière sur la terrasse actuelle (b). Carrière récente (c). Ancienne carrière (d). Source: cliché Benbih Mahjoub (16/05/2024).

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.12

5. DISCUSSION

Les oasis du Draa Moyen, comme d'autres écosystèmes arides du monde, subissent des pressions environnementales et socio-économiques particulières dues à une pression démographique modérée mais croissante (0,88% de croissance annuelle entre 1994 et 2014), exerce une pression croissante sur les ressources hydriques et pédologiques limitées. Cette tendance observée aussi dans les oasis d'Asie centrale (Karthe *et al.*, 2015), engendre une intensification de l'agriculture et une surexploitation des nappes phréatiques. Et par conséquences, des problématiques environnementale comme la dégradation des sols et l'exploitation informelle des ressources, exacerbent la vulnérabilité de ces écosystèmes, à l'instar des défis rencontrés dans les oasis du Tafilalet (Khardi *et al.*, 2024).

L'analyse de la salinité des sols a montré des niveaux relativement élevés, en particulier dans l'oasis de Fezouata, où les pratiques d'irrigation par submersion et les sécheresses prolongées ont contribué à une forte accumulation de sels. Cette salinisation des sols est une caractéristique commune des oasis arides, et elle est exacerbée par des techniques agricoles peu adaptées aux contexte climatiques locales (Lahlou *et al.*, 2002). L'intensification des pratiques agricoles entraîne des modifications importantes de la structure du sol, affectant sa fertilité et sa capacité à retenir l'eau. Ce phénomène est également observé dans d'autres oasis, notamment en Tunisie et en Égypte, où l'exploitation excessive des sols pour l'agriculture commerciale a provoqué la dégradation des sols, la perte de biodiversité et une diminution des rendements agricoles (Fargette *et al.*, 2019). L'introduction de techniques modernes, telles que la mécanisation et l'utilisation de pompes à motopompes, représente un défi supplémentaire pour la durabilité des écosystèmes. Bien que ces pratiques augmentent la productivité agricole, elles entraînent également une surexploitation des ressources naturelles, en particulier l'eau et les sols. En comparaison, dans les oasis du Moyen-Orient, comme celles du Yémen et de l'Arabie Saoudite, des études ont révélé que l'adoption de techniques d'irrigation plus durables, telles que l'irrigation goutte-à-goutte, a amélioré l'efficacité de l'utilisation de l'eau tout en réduisant les risques de salinisation (El-Rawy *et al.,* 2023).

L'exploitation des carrières informelles dans le Draa Moyen, bien que souvent considérée comme une source de revenus pour les habitants, présente des risques environnementaux considérables. L'exploitation excessive du sable perturbe le bilan sédimentaire, modifie Le paysage géomorphologique et affecte la recharge des nappes phréatiques, en plus d'introduire des déchets polluants dans l'environnement (Besser *et al.*, 2021). L'impact de ces carrières informelles est comparable à celui observé dans d'autres régions désertiques, telles que l'Algérie et la Libye, où l'exploitation non régulée des ressources naturelles a entraîné des changements irréversibles dans la stabilité des écosystèmes (Lamara *et al.*, 2024 ; Ghodbani *et al.,* 2015).

L'état des lieux environnemental du Draa Moyen, comparé à celui d'autres oasis arides, révèle que la pression démographique, l'intensification agricole et l'exploitation des ressources naturelles sont des facteurs clés de la dégradation de ces écosystèmes fragiles. Par conséquent, une approche intégrée est essentielle pour garantir la durabilité de ces oasis, englobant à la fois l'adoption de pratiques agricoles durables, le renforcement de la gestion de l'eau et la régulation de l'exploitation des ressources naturelles.

6. CONCLUSION

L'approche combinée, associant l'analyse des données de recensement (1994-2014), les analyses pédologiques (salinité, pH, matière organique) et l'évaluation des pratiques agricoles, offre de nouvelles perspectives pour étudier l'impact des activités humaines sur l'environnement oasien du Draa Moyen. Les résultats obtenus dans cette étude révèlent une augmentation de la population du Draa moyen, mais à un rythme inférieur à la moyenne nationale, ce qui souligne la fragilité socio-économique de cette zone. La répartition de cette population est hétérogène, concentrée le long de l'oued Draa et influencée par des facteurs géomorphologiques tels que la topographie et l'altitude. L'extension de l'habitat, induite par la croissance démographique, empiète sur les terres agricoles et les versants montagneux adjacents, accentuant la pression sur l'environnement.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.12

L'évaluation de l'état des sols; de salinité, de pH et de matière organique révèlent une dégradation dominante des sols du Draa Moyen. La salinité, en particulier, présente une variabilité importante et une augmentation le long du gradient amont-aval, liée aux pratiques d'irrigation et à l'évaporation intense. La faible teneur en matière organique et le pH élevé contribuent à la vulnérabilité des sols. Cette dégradation est une conséquence directe des activités anthropiques et des changements dans les systèmes de production agricole.

L'intensification de l'agriculture oasienne, motivée par la transition de l'autoconsommation à la commercialisation, menace aussi la durabilité de l'écosystème. L'augmentation des prélèvements d'eau, l'introduction de nouvelles cultures et la mécanisation de la production conduisent à un déficit hydrique, à la salinisation des sols et à la propagation de maladies (bayoud) affectant les palmiers dattiers. Bien que certains programmes de reboisement soient mis en œuvre, la dégradation de l'état des palmiers dattiers dans certaines zones souligne la nécessité d'une gestion plus intégrée.

L'évolution des systèmes de production, du système traditionnel (en déclin) aux systèmes modernes (intensifs), accentue cette pression sur les ressources. De plus, L'exploitation non contrôlée de carrières de sable informelles perturbe le bilan sédimentaire, dégrade le paysage et modifie la distribution des éléments hydrologiques. Ainsi, elle contribue à la pollution des eaux souterraines et à la dégradation de la végétation riveraine de l'oued Draa. Face ces menaces qui altèrent le fonctionnement de l'écosystème oasien, une gestion intégrée et durable est impérative.

Remerciements

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à M. Jamal Halam, professeur chercheur à l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Agadir, que nous remercions vivement pour sa contribution à l'analyse des échantillons de sol.

Responsabilités et conflits d'intérêts

Les auteurs s'engagent à divulguer tout conflit d'intérêts existant ou potentiel en relation avec la publication de cet article. En outre, les contributions des auteurs concernés sont présentées comme suit:

- Mahjoub Benbih : Méthodologie, Logiciel, Investigation, Rédaction.
- Abderrahman Ouammou : Supervision, révision et édition, Validation.
- M'hamed Nmiss, Abdourrahmane Boukdoun, Hassan Nait-si: Analyse des données, Rédaction – révision et édition.

RÉFÉRENCES

Ahmed, A.A.A., & Daoud, M. (2024). Dynamique agricole et enjeux hydriques dans la Moyenne vallée de Draa (Maroc) cas de l'oasis de Mezguita et ses marges. *Geomaghreb,* (20), 1-16.

Aït Hamza, M., El Faskaoui, B., & Fermin, A. (2010). Les oasis du Drâa au Maroc: Rupture des équilibres environnementaux et stratégies migratoires. *Hommes & migrations,* (1284), 56–69. https://doi.org/10.4000/hommes migrations.1241.

Ait Taleb, A. (2018). *Étude des ressources en eau et de leur rôle dans le développement spatial des oasis du Drâa moyen à l'aide des systèmes d'information géographique et de la télédétection: Cas de l'oasis de Mezguita*. [Thèse de doctorat], Université Hassan II, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines de Mohammedia.

Akdim, B., Laaouane, M., Tribak, A., Amyay, M., & Obda K. (2007). *La Khettara et le Faïd: enjeux et perspectives des techniques traditionnelles de mobilisation des eaux dans le Moyen et Bas Rhéris*, *dans GCES au Maroc*. Public. Fac. Let. Sc. Hum. Rabat, p. 103-112.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.12

Akdim, M., Akdim, H., Sabiri, A., & Alami, A. (2023). Land-use change and sustainability in the south-eastern oases of Morocco. *Bulletin of Geography. Socio-economic Series,* (59), 95-109. https://doi.org/10.12775/bgss-2023-0007

Amiha R., Kabbachi B., Ait Haddou M., Hamma K., Bouchriti Y., & Gougueni H. (2024). Climate vulnerability and adaptation strategies in the Zagora Oasis, southern Morocco: a time series analysis and projection to 2050. *Theoretical and Applied Climatology, 155,* 9767–9781. https://doi.org/10.1007/s00704-024-05213-0

Atbir, H. (2019). Les facteurs de dégradation de l'espace oasien dans la province de Guelmim, Sud-Ouest Marocain. *Cinq Cont, 9*, 103-124.

Atiki, N. (2019). *Dynamique des dunes de sables dans le Souss-Massa: Formes d'intervention humaine, enjeux environnementaux et impacts socio-économiques*. [Thèse de doctorat en Géographie], Université Ibn Zohr, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Agadir.

Badraoui, M., Agbani, M., & Soudi, B. (2000). *Evolution de la qualité des sols sous mise en valeur intensive au Maroc*. Séminaire 'Intensification agricole et qualité des sols et des eaux', Rabat, Maroc, 2-3.

Bahani, A., (1990). *Les structures agraires et les systèmes d'irrigation dans la palmeraie de Fezouata (le Draâ moyen, Maroc)*. [Thèse de doctorat], Rouen.

Ben Abdallah, A., Stiti, K., Du Jardin, P., & Lepoivre, P. (2000). Identification de cultivars de palmier dattier (Phoenix dactylifera L.) par l'amplification aléatoire d'ADN (RAPD). *Cahiers Agricultures, 9*(2).

Benattou, M. (2014). Nouveaux Aspects Démographiques Au Regard Du Développement Dans Le Pré-Sahara Marocain: Cas Du Darâa-Tafilalt. *Rev. Afn Maroc,* (12), 14.

Benattou, M. (2015). La petite ville présaharienne entre «militarisation» de l'espace urbain, tribalisme et planification: le cas de Bouizakarne dans le Sud du Maroc. *Revue AFN Maroc N, 17*, 18.

Benbih, M., Laaouane, M., & Ouammou, A. (2022). Etat du lieu environnemental et Evolution d'habitat dans les zones arides oasiennes: cas de Fezouata, moyen Draa (Maroc). *Revue de Geomaghreb,*(18), 32-42.

Benbih, M., Laaouane, M., Ouammou, A., Akonad, H., & Nmiss, M. (2022). *Dynamique des systèmes dunaires et devenir des unités pheoniciculture de Fezouata, Moyenne Draa, Maroc.* Conférence, Colloque International: Les risques hydroclimatiques et géomorphologiques: typologie, cartographie et gestion. Oujda les 14 et 15 juin 2022.

Benmohammadi, A., Benmohammadi, L., Ballais, J. L., & Riser, J. (2000). Analyse des inter-relations anthropiques et naturelles: leur impact sur la recrudescence des phénomènes d'ensablement et de désertification au sud-est du Maroc (vallée de Drâa et vallée de Ziz). *Sécheresse, 11*(4), 297-308.

Benmohammadi, L.B., (1995). *Désertification et ensablement dans la vallée moyenne du Dra: étude géomorphologique des formations dunaires (sud marocain)*. [Thèse de doctorat], Université Joseph Fourier.

Bentaleb, A. (2015). Vulnérabilité Oasienne: valorisation et développement territorial dans les zones arides marocaines. Cas: Oasis du Drââ moyen. In *XIV th Annual International Conference of Territorial Intelligence «Sustainable development of vulnerable territories».*

Beraaouz, M., Abioui, M., Hssaisoune, M., & Martínez-Frías, J. (2022). Khettaras in the Tafilalet oasis (Morocco): contribution to the promotion of tourism and sustainable development. *Built Heritage, 6*(1), 24. https://doi.org/10.1186/s43238-022-00073-x

Beraaouz, M., Macadam, J., Bouchaou, L., Ikenne, M., Ernst, R., Tagma, T., Masrour, M. (2019). An Inventory of Geoheritage Sites in the Draa Valley (Morocco): a Contribution to Promotion of Geotourism and Sustainable Development. *Geoheritage, 11*, 241–255. https://doi.org/10.1007/s12371-017-0256-x

Bertrand, G., & Tricart, J. (1968). Paysage et géographie physique globale. Esquisse méthodologique. *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, *39*(3), 249-272. https://doi.org/10.3406/rgpso.1968.4553

Besser, H., & Hamed, Y. (2021). Environmental impacts of land management on the sustainability of natural resources in Oriental Erg Tunisia, North Africa. *Environment, Development and Sustainability, 23*(8), 11677-11705. https://doi.org/10.1007/s10668-020-01135-9

Besson, A., Cousin, I., Dorigny, A., Dabas, M., & King, D. (2008). The temperature correction for the electrical resistivity measurements in undisturbed soil samples: Analysis of the existing conversion models and proposal of a new model. *Soil Science, 173*(10), 707-720. https://doi.org/10.1097/SS.0b013e318189397f

Boodt, M. D. (1993). Soil conditioning, a modern procedure for restoring physical soil degradation. *Pedologie (Belgium), 43*(1).

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.12

Bouabid, R., Rouchdi, M., Badraoui, M., Diab, A., & Louafi, S. (2010). Assessment of land desertification based on the MEDALUS approach and elaboration of an action plan: The case study of the Souss River Basin, Morocco. *Land degradation and desertification: Assessment, mitigation and remediation*, 131-145. https://doi.org/10.1007/978-90-481-8657-0_10

Boudellah, A., El Moustaine, R., Maliki, A., Moutaouakil, S., El Gharmali, A., Boulanouar, M., El Hachimi, Y., & Ghamizi, M. (2022). Impacts of Anthropogenic Factors on the Groundwater Ecosystem of Fezouata in South-East of Morocco. *Journal of Ecological Engineering, 23,* 30–43. https://doi.org/10.12911/22998993/146678

Bounar, A. (1993). *L'urbanisation dans un milieu d'oasis présahariennes:(la vallée du Draâ et le pays de Ouarzazate)*. [Doctoral dissertation] Poitiers.

Carrillo-Rivera, J.J., Ouysse, S., & Hernández-Garcia, G.J. (2013). Integrative approach for studying water sources and their vulnerability to climate change in semi-arid regions (Drâa Basin, Morocco*). International Journal of Water Resources and Arid Environments, 3*(1), 26-36.

Casenave, A., & Valentin, C. (1989). *Les états de surface de la zone sahélienne: influence sur l'infiltration*. Orstom.

Chamayou, J., (1966). *Hydrogéologie de la vallée du Dra moyen.* [Thèse], Université de Montpellier Faculté des Sciences.

Chehbouni, J., Tlemçani, N.E.B., Daadaoui, L., & Harrouni, C. (2024). Le tourisme, alternative pour la durabilité des écosystèmes oasiens au Maroc. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires, 12*(4), 313-326.

Chelleri, L., Minucci, G., Ruiz, A., & Karmaoui, A. (2014). Responses to drought and desertification in the Moroccan Drâa Valley Region: Resilience at the expense of sustainability? *The International Journal of Climate Change: Impacts and Responses, 5*(2), 17. https://doi.org/10.18848/1835-7156/CGP/v05i02/37199

Clausen, S., Álvaro, J. J., & Zamora, S. (2014). Replacement of benthic communities in two Neoproterozoic–Cambrian subtropical-to-temperate rift basins, High Atlas and Anti-Atlas, Morocco. *Journal of African Earth Sciences, 98*, 72-93. https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2014.03.025

Debbarh, A., & Badraoui, M. (2001). Irrigation et environnement au Maroc: situation actuelle et perpectives. In *Atelier du PCSI (Programme Commun Systèmes Irrigués) sur une Maîtrise des Impacts Environnementaux de l'Irrigation* (pp. 14-p). Cirad-IRD-Cemagref.

El Khoumsi, W., Hammani, A., Kuper, M., & Bouaziz, A. (2017). La durabilité du système oasien face à la détérioration des ressources en eaux souterraines: cas de la palmeraie de Tafilalet. *Revue Marocaine des sciences agronomiques et vétérinaires, 5*(1), 41-51.

Elbelrhiti, H., Kamal, S., Elbelrhiti, K., Amimi, T., Ennouali, Z., Benmohammadi, A., & Chao, J. (2023). Sand Dunes and Sand Encroachment in Moroccan Atlantic Sahara, Current Situation, Threat and Perspective. In *Sand Dunes of the Northern Hemisphere: Distribution, Formation, Migration and Management* (pp. 20-33). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781003290629-3

El-Rawy, M., Batelaan, O., Al-Arifi, N., Alotaibi, A., Abdalla, F., & Gabr, M. E. (2023). Climate change impacts on water resources in arid and semi-arid regions: a case study in Saudi Arabia. *Water, 15*(3), 606. https://doi.org/10.3390/w15030606

FAO. (2020). *Soil Organic Carbon Mapping Cookbook, 3rd edition. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations*. https://doi.org/10.4060/ca7471.

Fargette, M., Loireau, M., Sghaier, M., Raouani, N., & Libourel, T. (2019). The future of oases in North Africa through the prism of a systemic approach: towards which type of viability and coviability. In *Coviability of Social and Ecological Systems: Reconnecting Mankind to the Biosphere in an Era of Global Change*. Vol. 2: *Coviability Questioned by a Diversity of Situations*, (pp. 19-59). https://doi.org/10.1007/978-3-319-78111-2_2

Ghodbani, T., Milewski, A., & Bellal, S. A. (2015). Un écosystème littoral fragile menacé sur la rive sud de la Méditerranée. La région côtière de Terga et ses zones humides (ouest de l'Algérie). Méditerranée. *Revue géographique des pays méditerranéens / Journal of Mediterranean geography*, (125), 153-164. https://doi.org/10.4000/mediterranee.8104

Gros-Balthazard, M., Newton, C., Ivorra, S., Pintaud, J. C., & Terral, J. F. (2013). Origines et domestication du palmier dattier (Phoenix dactylifera L.). État de l'art et perspectives d'étude. *Revue d'ethnoécologie*, (4). https://doi.org/10.4000/ethnoecologie.1524

Houssni, M., Kassout, J., El Mahroussi, M., Chakkour, S., Kadiri, M., Ater, M., & Petrisor, A. I. (2023). Evaluation and structuring of agrodiversity in oases agroecosystems of southern Morocco. *Agriculture, 13*(7), 1413. https://doi.org/10.4000/ethnoecologie.1524

Ingvalson, R.D., & Rhoades, J.D. (1976). Correlation of Alfalfa Yield with Various Index of Salinlly. *Soil Science, 122*(3), 145-153. https://doi.org/10.1097/00010694-197609000-00004

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.12

Ipgri, I., Inram, I., & FEM, P. (2005). *Descripteurs du Palmier dattier (Phoenix dactyliferaL)*. Institut international des ressources phytogénétiques, Rome, Italie.

Janty, G. (2013). Capacité d'adaptation des pratiques traditionnelles de gestion et de partage de l'eau dans l'oasis de Figuig (Maroc). *Autrepart, 65*(2), 129-150. https://doi.org/10.3917/autr.065.0129

Jouve, P. (2012). Les oasis du Maghreb, des agro-écosystèmes de plus en plus menacés. Comment renforcer leur durabilité. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA, 62*(62), 113-122.

Karthe, D., Chalov, S., & Borchardt, D. (2015). Water resources and their management in central Asia in the early twenty first century: status, challenges and future prospects. *Environmental Earth Sciences, 73*, 487-499. https://doi.org/10.1007/s12665-014-3789-1

Kersit, F., Chérif, H., & Noureddine, B.T. (2024). La permaculture une nouvelle alternative pour la planification des villes oasiennes de la vallée du Drâa. *African & Mediterranean Journal of Architecture & Urbanism (AMJAU), 6*(2).

Khardi, Y., Taleb, Z. Z., Imache, A., Kuper, M., Bouarfa, S., Hammani, A., & Taky, A. (2024). *Penser la gestion de l'eau à l'échelle territoriale dans les oasis du Maroc: le cas de Ferkla*. Alternatives Rurales.

Kidou, B., Tnourji, H., & Atiki, N. (2019). *Dynamics and transformations of the Moroccan immigration in the world: a synthetic overview.*

Kpedenou, K. D., & Koumoi, Z. (2019). Cartographie et analyse spatiale de la dégradation des terres dans le sud-est du Togo: une approche basée sur la télédétection. *Annales de l'Université de Parakou, Série Science Naturelle et Agronomie, 9*(1), 67-78. https://doi.org/10.56109/aup-sna.v9i1.64

Lahlou, M., Badraoui, M., Soudi, B., Goumari, A., & Tessier, D. (2002). Modélisation de l'impact de l'irrigation sur le devenir salin et sodique des sols. In *Atelier du PCSI (Programme Commun Systèmes Irrigués) sur une Maîtrise des Impacts Environnementaux de l'Irrigation* (pp. 19-p).

Lahmidi, S., Lagnaoui, A., Bahaj, T., El Adnani, A., & Fadli, D. (2020). First inventory and assessment of the Geoheritage of Zagora province from the project Bani Geopark (South-Eastern Morocco). *Proceedings of the Geologists' Association, 131*(5), 511-527. https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2020.05.002

Lamara, M., Chiker, T., Amara, S., & Gueddouda, M. K. (2014). *Protection de l'environnement à travers la valorisation du sable de dune dans les régions arides*. Actes du Colloque International du CBE, 27–28 Mai 2014, (pp. 1–10).

Laouina, A. (2010). Conservation des eaux et des sols au Maroc: prise en compte de la diversité géographique. *Norois. Environnement, aménagement, société*, (214), 85-99. https://doi.org/10.4000/norois.3156

Loyer, J. Y. (1991). Classification des sols salés: les sols Salic. *Cah. ORSTOM Série Pédologie, 61*, 51-61.

Maimouni, B. (2018). *Impact des changements climatiques et des transformations socio-spatiales sur la gestion des ressources en eau dans les oasis du Drâa moyen*. [Thèse de doctorat en Géographie], Université Hassan II, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines de Mohammedia.

Malaki, A., Wartiti, M.E., & Ghannouchi, A.E. (2009). Sand dunes evolution and desertification in southeastern Morocco: a new approach to an old problem. In *Desertification and Risk Analysis Using High and Medium Resolution Satellite Data: Training Workshop on Mapping Desertification* (pp. 199-206). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8937-4_17

MEa, M.E.A. (2005). *Ecosystems and Human Well-Being: wetlands and water synthesis*. Millennium Ecosystem Assessment, World Resources Institute.

Moumane, A., Bahouq, T., Karmaoui, A., Laghfiri, D., Yassine, M., Karkouri, J.A., & Youssef, A.A. (2025). Lake Iriqui's Remarkable Revival: Field Observations and a Google Earth Engine Analysis of Its Recovery After over Half a Century of Desiccation. *Land, 14*(1), 104. https://doi.org/10.3390/land14010104

Nelson, D. W., & Sommers, L.E. (1996). Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. In D. L. Sparks (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods,* (pp. 961–1010). Soil Science Society of America. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c34

Odghiri, M. A. (2023). *Les mutations sociospatiales dans le Maroc présaharien: Entre identité tribale et mondialisation*.

Ouanaimi, H., & Lazreq, N. (2008). *The 'Rich'group of the Drâa Basin (Lower Devonian, Anti-Atlas, Morocco): an integrated sedimentary and tectonic approach*. https://doi.org/10.1144/SP297.22

Ouhajou L, (1996). *Espace Hydaulique et société au Maroc cas des systémés d'irrigation dans la vallée du Drâa.* Publication de la faculé des lettres et sciences humaines Agadir Université Ibn Zohr, Série thèses et mémoires n° 7, 343 p.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.12

Ouhajou, L., Jadaoui, M., & El Mahdad, E.H. (2017). La gestion de l'eau et le changement climatique dans les oasis marocaines. *Hespéris-Tamuda LII* (1) 193-218.

Reynolds, M. P., Trethowan, R., Crossa, J., Vargas, M., & Sayre, K. D. (2002). Physiological factors associated with genotype by environment interaction in wheat. *Field crops research, 75*(2-3), 139-160. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(02)00023-0

Robert-Charrue, C. G. (2006). Géologie structurale de l'Anti-Atlas oriental, Maroc. [Doctoral dissertation] Université de Neuchâtel.

Romm, H., Wilkins, R. C., Coleman, C. N., Lillis-Hearne, P. K., Pellmar, T. C., Livingston, G. K., & Prasanna, P. G. (2011). Biological dosimetry by the triage dicentric chromosome assay: potential implications for treatment of acute radiation syndrome in radiological mass casualties*. Radiation research, 175*(3), 397-404. https://doi.org/10.1667/RR2321.1

Sbaï, L. (2011). *Oasis du Maroc: Cadre Juridique et Institutionnel*. IUCN: Gland, Switerland.

Talbi, M. (1997). Action anthropique et dégradation de l'environnement aride: la désertification en Tunisie du Sud-Est. *Méditerranée, 86*(1), 25-31. https://doi.org/10.3406/medit.1997.2986

Thomas, G.W., (2018). Soil pH and Soil Acidity. In D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston, & M.E. Sumner, (Eds.), *SSSA Book Series. Soil Science Society of America* (pp. 475–490). American Society of Agronomy, Madison, WI, USA. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c16.

Walkley, A., Black, I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science, 37*, 29–38. https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003

Zahidi, M., & Ayegou, J. (2022). The Organization of the Date Sector in Morocco: A Lever for Valorization and Local Development. The Case of the Ziz Valley in the Tafila-Let Region of Morocco. *Regional and Sectoral Economic Studies, 22*(1), 37-60.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.12

Summary of Articles



Revista de Estudios Andaluces (REA) | Núm. 50, julio (2025) | e-ISSN: 2340-2776
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50 | © Editorial Universidad de Sevilla 2025
https://editorial.us.es/es/revistas/revista-de-estudios-andaluces
https://revistascientificas.us.es/index.php/REA
CC BY-NC-SA 4.0.

SUMMARY OF ARTICLE: HTTPS://DX.DOI.ORG/10.12795/REA.2025.I50.01

Impact of land instability on road infrastructure in the Southern Central Rif (Case of PK 144 on regional road 408 - Taounate, Morocco)

Khalid El-Moudni
khelmoudni@gmail.com 0009-0005-5453-6710
Ministère de l'Éducation nationale, du Préscolaire et des Sports. Académie Régionale de L'Education et de Formation, Tanger – Tétouan - Al Hoceïma. BP 5183 - Tétouan. Av Mohammed Bannouna, Boujarrah. 93040 Tétouan, Maroc.

Abdelghani Houari
gartet.abdelghani@gmail.com 0000-0002-7037-584X
Département de Géographie, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines Sais-Fès, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès. BP 59, Route Immouzer. 30000 Fès, Maroc.

El Houssaine Afkir
elafkir@gmail.com 0009-0009-4233-4491
Equipe d'Etudes et Recherches en Géographie et Développement Durable, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Tétouan, Université Abdelmalek Essaâdi, Maroc. RN 16. BP 210. 93150, Martil, Maroc.

KEYWORDS

Southern central Rif
Structural unit
Instability
Landslide

INTRODUCTION

This study is situated within the **context of natural hazards** that affect, to varying degrees, all regions of the world. These hazards have detrimental impacts on ecological balances, ecosystem quality, socio-economic development, and result in significant material and human losses. Morocco is particularly vulnerable to these threats, facing an increasing frequency of phenomena such as droughts, climate change, floods, desertification, earthquakes, landslides, collapses, rockfalls, solifluction, and mudflows.

In Morocco, the Rif region stands out for its heightened vulnerability to these hazards due to its unique geological and geomorphological characteristics. A combination of factors, including the fragility of rock formations, steep slopes, dense hydrographic networks, instability of geological units, seismic activity, and extreme climatic conditions, promotes the occurrence of hazards. Furthermore, anthropogenic pressures related to deforestation, urbanization, and infrastructure development exacerbate these risks.

This study focuses on the southern central Rif (the central Rif nappe zone). This region is characterized by a wide variety of instability phenomena affecting both slopes (landslides, mudflows, rockfalls) and valley bottoms (lateral bank erosion). These phenomena cause recurrent problems, leading to high maintenance costs for public authorities and hindering local development.

DOI: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.01
Formato de cita / Citation: El-Moudni, K., Houari, A., & Afkir, El H. (2025). Impact of land instability on road infrastructure in the Southern Central Rif (Case of PK 144 on regional road 408 - Taounate, Morocco). *Revista de Estudios Andaluces* (50), 8-32. https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.01
Correspondencia autores: khelmoudni@gmail.com (Khalid El-Moudni)

METHODOLOGY

Regional road 408, located in the Mesorif zone, is particularly affected by these instabilities related to mass movements and fluvial dynamics. At kilometer 144, the road is subject to a combination of complex processes: surface phenomena such as gully erosion and material removal, as well as deeper-seated mass movements manifested by subsidence and landslides.

This study aims to enhance our understanding of natural hazards associated with instability phenomena, within a fragile structural and geological context that favors the development of morphodynamic and morphostructural processes. More specifically, it seeks to characterize these phenomena, identify their controlling factors, quantify their temporal evolution, and assess their spatial and socio-economic impacts.

To achieve these objectives, a geographical and geomorphological methodology was adopted. This methodology includes several steps that can be divided into three main parts:

- **Fieldwork** involved the precise monitoring of mass movements using 18 metal markers installed along the scarp. Photogrammetric surveys were conducted at regular intervals to document morphological and spatial changes on the slope. Additionally, supplementary data was collected from public administrations (climatic data, geotechnical reports, etc.) to enhance the analysis of the factors controlling these movements;
- Our study was based on a comprehensive review of scientific literature pertaining to the Rif region, with a particular focus on the southern central Rif. In parallel, we utilized available geotechnical data for the study site, including the results of boreholes conducted by the Taounate Department of Equipment and Transport in collaboration with the Public Laboratory for Studies and Tests (LPEE). These boreholes included pressuremeter tests (PMT) and dynamic penetration tests (DPT), which allowed for the determination of soil bearing capacity and dynamic resistance, respectively. Additionally, robotic drilling was carried out, followed by laboratory analyses. The results of these investigations enabled the characterization of soil behavior through the measurement of creep pressure (CP), limit pressure (LP), and modulus of elasticity (EM), according to Ménard's method;
- **Laboratory Work:** The laboratory work involved a grain size analysis and Atterberg limits tests:
    - ***Grain Size Analysis*:** A soil sample was subjected to sieve analysis, where it was passed through a stack of sieves with progressively smaller openings. Particles larger than the sieve opening were retained, while smaller particles passed through and were collected in the sieve below. The equipment used included a set of standardized sieves (NF P 18-552), a mechanical shaker, a precision balance, a bottom collector, and a brush. The procedure involved: preparing the sample (drying and determining the total mass M), assembling the sieves in descending order of aperture size, pouring the dry sample onto the top sieve, shaking for 10 minutes, weighing the retained material on each sieve, and finally calculating the percentage of each grain size fraction relative to the total mass of the sample. The percentage passing through sieve i was calculated using the equation (M-Σmj (j=1 to i)/M* 100), and the percentage retained on sieve i was calculated using (mi / M) * 100.
    - ***Atterberg Limits Tests*:** To identify and evaluate the soil's behavior, Atterberg limits tests were conducted according to the NF P94-051 standard. These tests determined the following:
        - Liquid limit (LL): the water content at which the soil behaves as a viscous liquid;
        - Plastic limit (PL): the water content below which the soil loses its plasticity;
        - Plasticity index (PI): the difference between the liquid limit and the plastic limit, characterizing the plasticity of the soil;
        - Consistency index (CI): used to characterize the water content of the soil and evaluate its consistency. The formula used is: CI = (LL - w) / IP (where LL is the liquid limit, w is the water content, and PI is the plasticity index).

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.01

RESULTS

The methodological approach adopted in this study of slope instability at kilometer 144 of regional road 408 has led to several findings, namely:

- ***Results concerning the triggering and/or reactivating factors of the phenomena***, which can be classified into two groups:
    - Factors related to the increase in slope (forces) and the removal of underlying support by erosion, the surcharge exerted either by natural agents (water) or by anthropogenic activities (road cutting);
    - factors related to the decrease in material resistance, whether intrinsic factors related to the nature of the original materials, so the minerals and rocks constituting the soil, or active factors indirectly affecting the affected materials, such as weathering due to atmospheric agents, increased interstitial pressures, and modification of the intergranular structure.

- ***Findings regarding the characteristics of instabilities***: Field investigations revealed two primary types of mass movements within the study area:
    - Localized subsidence**:** A rapid subsidence occurred at the center of the slope in April 2018, induced by water saturation of the materials;
    - Large-scale landslide**:** A tongue-shaped landslide, approximately 286 meters long and 160 meters wide, was identified. Borehole investigations revealed an average failure depth of about 3.5 meters. The average annual movement rate of this landslide, measured between 2016 and 2021, was approximately 30.7 cm. It is important to note that these mass movements exhibited significant spatial and temporal variability. Movement velocities were greatest between measurement points P4 and P7, with a marked decrease towards the edges. The most substantial movements occurred during the rainy seasons (autumn and winter).

- ***Impact assessment results***: This study assessed the impacts of the dynamic processes at two levels: morphological changes, including surface subsidence, material erosion, and the development of deep gullies that fragmented the slope; and socio-economic impacts, such as road and infrastructure degradation, leading to traffic disruptions. This situation is particularly prevalent in the southern central Rif region.

CONCLUSION

In conclusion, this study highlights the complexity of geomorphic processes in the southern central Rif, resulting from the interaction of multiple physical and anthropogenic factors. To better understand these processes, it is essential to identify critical thresholds (precipitation, hydrogeological conditions, slopes, material properties) beyond which the system transitions from a stable to an unstable state.

To achieve this goal, a detailed geotechnical study of the soils is indispensable, with a particular focus on clays. This study will allow for the identification of degradation mechanisms, quantification of triggering factors for instabilities, and determination of critical failure thresholds.

The data obtained will provide a solid foundation for developing accurate risk maps and implementing appropriate mitigation measures, particularly for road infrastructure located on similar slopes.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.01

Revista de Estudios Andaluces (REA) | Núm. 50, julio (2025) | e-ISSN: 2340-2776
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50 | © Editorial Universidad de Sevilla 2025
https://editorial.us.es/es/revistas/revista-de-estudios-andaluces
https://revistascientificas.us.es/index.php/REA
CC BY-NC-SA 4.0.

SUMMARY OF ARTICLE: HTTPS://DX.DOI.ORG/10.12795/REA.2025.I50.02

Analysis of the development of 15-minute cities in Andalusia using Twitter and OpenStreetMap data

Joaquín Osorio-Arjona
joaosoarj@geo.uned.es 0000-0002-0102-8756
Departamento de Geografía, Facultad de Geografía e Historia, C/ Senda del Rey, 7, 4ª planta, despacho 426 , Universidad Nacional de Educación a distancia (UNED). Moncloa - Aravaca, 28040 Madrid, España.

KEYWORDS

15-minute city
Big Data
Infrastructure types
Residential isochrones
Geographically Weighted Regression

INTRODUCTION

Technological developments over the past two centuries have shaped the way cities have been designed. One of the most negative aspects of contemporary urban planning is the implementation of urban mobility models that prioritize private vehicle travel. In recent years, cities worldwide have begun to adopt urban planning mechanisms aimed at reducing car use and slowing climate change. In this regard, the global pandemic caused by the COVID-19 virus had a major impact, paralyzing daily activities in cities for several months. Based on this experience, many cities sought to restore the provision of basic services that are accessible near people's homes, making them easily reachable on foot.

In this context, the concept of the 15-minute city has gained particular relevance in urban planning and management models. This paradigm is based on the central idea of allowing citizens access to all basic services within a maximum distance of 15 minutes on foot, covering six essential urban functions: housing, work, commerce, healthcare, education, and leisure. This model aims to reduce the need for travel by replacing long commutes with shorter trips made on foot or by bicycle. To achieve this, the 15-minute city model relies on four basic operational dimensions: proximity to resources, density that enables comfortable living with available resources, land-use diversity, and digitalization of society.

SOURCES AND DATA

Regarding the latter dimension, the 15-minute city framework establishes significant connections with the smart city paradigm, a concept supported by information and communication technologies that allow for the collection and processing of large volumes of data in near real-time. One of these new data sources is Twitter, a social network that enables the download of geolocated data with high spatial and temporal detail, facilitating multi-scale analysis and constant information updates. This allows valuable insights into mobility patterns and population distribution at any given time.

Twitter data is downloaded as points, making it easier to analyze and map using a Geographic Information System. OpeStreetMap is another Big Data-based data source. This platform is a collaborative project

DOI: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.02
Formato de cita / Citation: Osorio-Arjona, J. (2025). Analysis of the development of 15-minute cities in Andalusia using Twitter and OpenStreetMap data. *Revista de Estudios Andaluces,*(50), 33-51. https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.02
Correspondencia autor: joaosoarj@geo.uned.es (Joaquín Osorio-Arjona)

consisting of free and open data about locations and services that can be updated by any citizen with a mobile phone. OpenStreetMap data is particularly valuable because, being generated by individuals, it can provide information about small businesses that institutions and official bodies do not include.

This research leverages the potential of these new geolocated Big Data sources to observe the spatial distribution of possible places of residence and infrastructures located within a 15-minute walking radius at a regional scale. It sets two main objectives: analyzing the degree of implementation of the 15-minute city concept in the autonomous community of Andalusia, considering the geographical and demographic diversity of the region, and studying the reliability of new geolocated data sources for obtaining knowledge related to the 15-minute city model.

Compared to previous studies on the implementation of the 15-minute city concept, this work presents three original contributions: the use of accessible and free Big Data sources as an alternative to cadastral data, which is typically used in such studies; the analysis at a regional scale instead of the usual urban scale; and the design of a regression model that accounts for the spatial component of the data. The study scale consists of spatial population grids downloaded from the National Institute of Statistics, enabling homogeneous and uniform analysis across the Andalusian territory, considering variations not only in the landscape but also within the cities themselves.

METHODOLOGY

The methodology employed in this work begins with a process of cleaning, processing, and enriching the geolocated Twitter data in point format, removing bot accounts and selecting only messages posted on weekdays, at night, and in parcels where the primary land use is residential according to cadastral information. This approach estimates potential places of residence, which serve as central points from which influence areas are calculated, setting travel time parameters at 15 minutes and assuming walking as the mode of transport. Once these influence areas are mapped, they are spatially joined with the OpenStreetMap layer of amenities.

These amenities are classified into ten categories (supermarkets, food stores, other shops, other services, health centers, educational centers, leisure centers, bars and restaurants, green spaces, and transport stops). After calculating the number of amenities per category within each isochrone, the total count was summed for each population cell in Andalusia, integrating the number of amenities and estimated residences into each cell.

Subsequently, a series of regression models were developed to examine, for each population cell in Andalusia, the relationship between the estimated number of residences and the distribution of different mapped amenities, identifying areas closest to meeting the 15-minute city criteria. The first two models were Ordinary Least Squares regressions, using the estimated number of residences as the dependent variable. The first model included all ten categories of points of interest as independent variables, while the second model included only eight, excluding bars, restaurants, and public transport stops due to their high variance, which introduced noise. Since this second model showed strong spatial autocorrelation, a third model was applied using Geographically Weighted Regression, maintaining the same eight explanatory variables as the second model.

RESULTS

The exploratory data analysis results indicate a predominance of amenities mainly located along the coastline, the Guadalquivir Valley, and the historic centers of Andalusia's major cities. The primary infrastructure category corresponds to bars and restaurants, which are distributed across the region, with higher concentrations in historic centers and along the Mediterranean coast. Supermarkets are also widespread, while small retail shops are found in suburbs, peripheral metropolitan areas, and medium-sized cities in the

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.02

interior. In contrast, there is a low number of points related to education and green spaces. Twitter users' residences are also primarily located along the coastline and in Andalusia's most populated cities, revealing a relationship between residence and service location.

The best-fitting regression model was the Geographically Weighted Regression, which considered eight of the ten infrastructure types and achieved the highest R^2 value, the lowest residual variance, and no spatial correlation. Leisure centers, retail shops, and green spaces were the statistically significant variables that best explained the spatial distribution of Twitter users. This model highlights an approximation to the 15-minute city concept in the interior of Granada and Jaén provinces and along the Mediterranean coast. Conversely, the Campo de Gibraltar and several areas along the Atlantic coast show low accessibility due to the region's terrain. In major Andalusian cities, the most accessible areas include residential suburban neighborhoods and commuter towns within metropolitan areas. However, historic centers do not closely align with the 15-minute city model, as they lack sufficient basic infrastructures for their population, an issue that may be attributed to high levels of tourism-driven gentrification.

CONCLUSION

In conclusion, this study validates the use of alternative data sources such as Twitter and OpenStreetMap for studying the 15-minute city model at a regional scale, allowing different urban behaviors to be observed across Andalusia while considering the varying characteristics of cities based on their demographic, economic, and geographical features. Unlike census data, Twitter enables the mapping of residential isochrones thanks to its high spatial detail, making it possible to identify service locations from specific points. Additionally, the spatial flexibility of these data allows for defining analytical units adapted to the study's needs. Meanwhile, OpenStreetMap provides information on different infrastructure types classified into thematic categories, some of which are absent from official datasets.

However, it is essential to consider biases in these data sources, such as Twitter's predominant use by young people with medium to high income levels and the low number of users in rural or sparsely populated areas. Another significant limitation is that data accessibility depends on platform owners. Regarding OpenStreetMap, its main limitation is that participants tend to prioritize mapping leisure spots, restaurants, and bars. Future research directions include using tourism-related infrastructure to measure the degree of gentrification in population cells within the 15-minute city framework, creating time series to analyze the evolution of the 15-minute city concept over the years, and jointly considering work locations and commuting times among Twitter users to explore another key concept within urban proximity theory: the location of workplaces within a maximum 45-minute public transport commute.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.02

Revista de Estudios Andaluces (REA) | Núm. 50, julio (2025) | e-ISSN: 2340-2776
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50 | © Editorial Universidad de Sevilla 2025
https://editorial.us.es/es/revistas/revista-de-estudios-andaluces
https://revistascientificas.us.es/index.php/REA
CC BY-NC-SA 4.0.

SUMMARY OF ARTICLE: HTTPS://DX.DOI.ORG/10.12795/REA.2025.I50.03

Brotherhood marketing in Andalucia: prospective analysis through the Delphi method

Franscisco Javier Cristófol-Rodríguez
franciscojavier.cristofol@unir.net 0000-0002-0967-3514
Universidad Internacional de La Rioja (UNIR).
Avenida de la Paz, 137. 26006 Logroño, La Rioja, España.

Diego Berraquero-Rodríguez
diegobr@euosuna.org 0009-0007-4238-0098
Escuela Universitaria de Osuna, Centro Adscrito a la Universidad de Sevilla.
Campo de los Cipreses, 1. 41640 Osuna, Sevilla, España.

KEYWORDS

Cofrade marketing
Territorial branding
Holy Week
Brotherhoods
Delphi

INTRODUCTION

Cofrade marketing, or marketing in the context of religious brotherhoods and confraternities, is an increasingly discussed subject in contemporary society, particularly within the Spanish context. Spain is home to more than three million cofrades (brotherhood members), marking this as a highly relevant concept with significant social and cultural implications. The cultural and religious traditions tied to Semana Santa (Holy Week), processions, and other cofrade activities represent an intricate sector of society that blends spirituality, tradition, and modern marketing principles. Cofrade marketing, therefore, plays a vital role not only in promoting these events but also in organizing and managing the communities behind them. It is a unique field of study, diverging from general marketing practices due to its focus on faith, community service, and religious identity, while also intersecting with elements of tourism, heritage conservation, and cultural promotion.

In Spain, where religious traditions such as Semana Santa are pivotal to both local and national identity, cofrade marketing has emerged as an essential tool for brotherhoods and confraternities to promote their cultural significance. The increasing globalization of religious celebrations, coupled with the rise of digital platforms, makes it necessary to explore how traditional organizations can adapt to modern marketing practices. Marketing is no longer limited to the promotion of products or services; it now extends to social, cultural, and religious communities, positioning cofrade marketing as a vital and evolving discipline.

METHODOLOGY

To explore the nuances of cofrade marketing and its impact on brotherhoods and confraternities, a qualitative research approach was adopted. The study used the Delphi method, a well-established qualitative technique

DOI: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.03
Formato de cita / Citation: Cristófol-Rodríguez, F.J. & Berraquero-Rodríguez, D. (2025). Marketing cofrade en Andalucía: análisis prospectivo a través del método Delphi. *Revista de Estudios Andaluces,*(50), 52-70. https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.03
Correspondencia autores: franciscojavier.cristofol@unir.net (Francisco Javier Cristófol-Rodríguez)

that gathers expert opinions in a systematic way. A panel of eight marketing experts, all with experience in both the religious sector and in traditional marketing fields, was assembled for the study. These experts were selected based on their expertise in marketing strategies, cultural heritage management, and religious or faith-based organizations. The Delphi method enabled iterative rounds of discussion, with the experts providing insights on various aspects of cofrade marketing, including its challenges, strategies, and potential areas for improvement. Their responses were then analyzed to identify recurring themes and key findings. The qualitative nature of this research provided an in-depth understanding of the complexities and potential of cofrade marketing in the contemporary landscape.

The Delphi technique is particularly well-suited for this type of exploratory study, as it allows for a comprehensive understanding of expert opinions while minimizing biases that may arise from face-to-face discussions. By synthesizing these expert insights, the research aimed to develop a well-rounded perspective on cofrade marketing and provide actionable recommendations for enhancing its management and implementation in religious and cultural contexts.

RESULTS

The research findings revealed several key insights regarding cofrade marketing and the management practices of brotherhoods and confraternities. It was evident that while these organizations had a significant presence in local communities, their marketing efforts were often underdeveloped or fragmented. Most brotherhoods were primarily focused on maintaining their religious and cultural traditions, and there was a lack of strategic planning in how to manage and promote their activities, particularly in the context of modern marketing practices.

Several of the marketing experts noted that the brotherhoods and confraternities often operated without clear organizational structures for marketing or public relations. As a result, their ability to attract new members, engage with existing members, and raise awareness of their activities was limited. The traditional reliance on word-of-mouth and local networks was no longer sufficient in the digital age, where visibility on social media and other digital platforms plays a crucial role in reaching wider audiences.

A recurring theme among the expert opinions was the need for a more comprehensive approach to marketing within these organizations. Experts emphasized that cofrade marketing required not only strategies for promoting religious events but also the development of a long-term brand identity that could attract younger generations and tourists. Many brotherhoods struggled with defining their identity in a way that resonated with modern values while maintaining their religious integrity. Additionally, there was a recognition that the cultural and heritage aspects of these organizations were becoming increasingly important in attracting visitors and tourists, particularly during high-profile events like Semana Santa.

The panel also highlighted the lack of professional marketing expertise within many brotherhoods. Many members of these organizations were volunteers with limited knowledge of modern marketing techniques. As a result, marketing efforts were often inconsistent and lacked a cohesive strategy. There was also concern about the potential commercialization of religious events, which could detract from their spiritual significance if not handled carefully.

In terms of specific marketing tactics, the experts pointed to the importance of digital tools, particularly social media, in reaching younger audiences and promoting the values of the brotherhoods. They also discussed the potential for cross-promotion with local businesses, cultural organizations, and tourism agencies to enhance the visibility of these traditions. The panel concluded that a more professional and strategic approach to cofrade marketing was essential for the long-term sustainability of the brotherhoods, particularly in a highly competitive cultural and tourism market.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.03

CONCLUSIONS

The study concluded that cofrade marketing is a distinct discipline that shares similarities with both religious marketing and the marketing of non-profit organizations but also has unique characteristics. One of the most important distinctions of cofrade marketing is the need to balance commercial interests with the preservation of religious and spiritual values. While marketing is often associated with promoting goods and services, cofrade marketing must also respect the sacred traditions and cultural heritage of the organizations involved.

Furthermore, cofrade marketing requires a careful integration of faith-based and cultural promotion with modern marketing techniques. The digital transformation has fundamentally changed how audiences engage with religious and cultural content, making it essential for brotherhoods to adopt more modern and professional marketing practices. This could include the creation of digital content, the strategic use of social media platforms, and the development of partnerships with tourism and cultural organizations.

In terms of implementation, the study found that there was significant room for improvement in the way brotherhoods and confraternities managed their marketing efforts. A more structured and professional approach could help these organizations not only enhance their visibility but also ensure their continued relevance in the changing landscape of religion and culture in Spain. The implementation of more robust marketing strategies could also aid in attracting younger generations, who are increasingly turning to digital platforms for information and engagement with cultural and religious activities.

Finally, the study stressed the importance of understanding the broader socio-cultural context in which cofrade marketing operates. While cofrade marketing shares some commonalities with other forms of cultural or religious marketing, it also requires a deep understanding of the traditions, values, and social dynamics that shape these organizations. By approaching cofrade marketing with sensitivity and respect for its religious roots, these organizations can enhance their appeal to both local communities and the broader public, ensuring that their traditions continue to thrive in the 21st century.

In summary, cofrade marketing is an emerging field that blends religious, cultural, and marketing principles in a unique way. It represents a key opportunity for brotherhoods and confraternities to adapt to modern challenges while preserving their spiritual and cultural heritage. The implementation of more strategic, professional, and digital-focused marketing approaches will be crucial in securing the long-term sustainability and relevance of these organization.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.03

Revista de Estudios Andaluces (REA) | Núm. 50, julio (2025) | e-ISSN: 2340-2776
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50 | © Editorial Universidad de Sevilla 2025
https://editorial.us.es/es/revistas/revista-de-estudios-andaluces
https://revistascientificas.us.es/index.php/REA
CC BY-NC-SA 4.0.

SUMMARY OF ARTICLE: HTTPS://DX.DOI.ORG/10.12795/REA.2025.I50.04

Conventional and innovative financing strategies for local public transport: insights from the italian context

Tiziano Pavanini
tiziano.pavanini@edu.unige.it 0000-0001-8709-3710
Faculty of Economics, University of Genoa. Via Francesco Vivaldi, 5. 16126 Genova, Italy.

KEYWORDS

Public Transport
Public-private partnerships
Sponsorship in public transport
Corporate Mobility Management
Italian Public Transport Market

INTRODUCTION

The present study investigates the financial evolution of Local Public Transport (LPT) in Italy, addressing the growing need for sustainable funding models amidst economic austerity, increased environmental expectations, and declining public investment. The LPT sector has historically been characterised by a strong dependence on government subsidies, yet it has increasingly struggled to meet rising operational costs and passenger expectations. Recent global crises, including the 2008 financial crash and the COVID-19 pandemic, have led to increased budgetary pressures on national and local administrations. This has created an urgent need for alternative financing strategies that do not compromise service quality or accessibility. In this context, the research seeks to assess how conventional funding mechanisms are currently used, and more importantly, how innovative solutions — particularly those involving private actors — can play a complementary role in ensuring the financial resilience and modernisation of Italian public transport systems.

The primary objective of the present study is to explore, categorise, and critically evaluate emerging forms of public-private collaboration in the Italian LPT sector. These include the commercial exploitation of branding opportunities through naming rights and vehicle decoration, as well as strategic cooperation with private firms through Corporate Mobility Management (CMM). It is evident that CMM initiatives, in particular, represent a relatively unexplored but promising avenue. In this regard, companies co-finance transport services for their employees in exchange for customised mobility solutions, branding visibility, or other strategic returns. The objective of the present study is to analyse these mechanisms in order to offer a comprehensive understanding of how market-based instruments can enhance both operational efficiency and user engagement in public transport.

METHODOLOGY

In order to achieve this objective, the author employs a mixed methodology, integrating theoretical, empirical, and qualitative approaches. The initial phase entailed an exhaustive examination of international literature pertaining to sponsorship and mobility financing, with a focus on the potential adaptation of

DOI: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.04
Formato de cita / Citation: Pavanini, T. (2025). Conventional and innovative financing strategies for local public transport: insights from the italian context. *Revista de Estudios Andaluces,*(50), 71-89. https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.04
Correspondencia autor: tiziano.pavanini@edu.unige.it (Tiziano Pavanini)

marketing and branding strategies employed in sports, entertainment, and cultural domains to the context of public transportation. Despite the paucity of academic studies on sponsorship in LPT, valuable insights were drawn from other sectors where naming rights and brand integration are widely applied and assessed using return-on-investment (ROI) and return-on-objectives (ROO) models. Theoretical frameworks identified in the academic literature provided the conceptual foundation for evaluating sponsorship outcomes in terms of visibility, brand loyalty, and symbolic association.

The second stage of the research involved a detailed analysis of financial reports and publicly available documents from the ten largest public transport authorities (PTAs) in Italy by annual turnover and market share. The objective of the study was to quantify sponsorship income, identify branding practices, and detect patterns or discrepancies between different regional contexts. Moreover, the author conducted a comprehensive examination of official PTA websites and secondary data sources, including media articles and policy reports. This approach enabled the integration of financial insights with narrative data, thereby enriching the study's scope and depth. A particular emphasis was placed on the territorial characteristics of the PTAs' areas of operation, population density, economic sectors, and urban versus regional settings, with the objective of comprehending the manner in which these factors influence the feasibility of sponsorship and the design thereof.

In conclusion, a semi-structured interview was conducted with the communications director of ASSTRA, the national association representing the majority of Italian public transport operators. This key stakeholder provided practical insights into current challenges, regulatory frameworks, and strategic opportunities for sponsorship in the Italian context. The triangulation of these three methods resulted in a robust and nuanced dataset that underpins the study's conclusions.

RESULTS

The findings demonstrate a predominantly underdeveloped sponsorship culture across Italian PTAs, with the majority of authorities relying predominantly on advertising revenues from physical and digital ad space on vehicles and stations. It is evident that only a limited number of cities, notably Milan and Genoa, have experimented with more ambitious strategies, such as renaming or fully branding stations in partnership with major corporations. A pertinent example of this phenomenon is the case of Milan's M5 metro line, in which the sale of station naming rights to companies such as Coca-Cola and Allianz was a key element of the project. However, following criticism regarding the erosion of cultural identity, the city modified its strategy to exclusive interior advertising, without altering station names.

In contrast, the "Your Metro" initiative was launched by Genoa's AMT, in which five out of eight stations were renamed in partnership with private sponsors. This initiative has yielded modest but steadily increasing revenue, thereby inspiring further endeavours, including the "Adopt a Bus" campaign. Despite these efforts, an analysis of AMT's financial statements reveals that sponsorship revenues remain underdeveloped, typically accounting for less than 1% of total value of production. This suggests significant room for expansion if properly regulated and strategically managed.

Perhaps the most innovative finding is the detailed case study of Bologna's TPER, which exemplifies a successful and scalable model of Corporate Mobility Management. In collaboration with Philip Morris Manufacturing & Technology Bologna, TPER developed two public bus lines — routes 676 and 677 — designed to connect the company's factory with urban transport hubs. It is important to note that these services are available not only to employees but also to the general public, reflecting a new form of shared value creation between public and private interests. Furthermore, TPER has established over 40 additional CMM agreements with local businesses and institutions, including Bologna Airport, providing customised and subsidised subscriptions to thousands of users. The partnerships have been shown to have a positive effect on ridership, congestion, and broader environmental goals.

From a corporate perspective, participation in CMM projects engenders numerous benefits, including enhanced employee satisfaction and retention, brand positioning as a socially responsible actor, and reduced

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.04

logistical inefficiencies caused by car dependence. From a public perspective, these partnerships contribute to increasing the reach and reliability of public transport services, particularly in industrial zones and peri-urban areas that are traditionally underserved. Furthermore, the integration of various transportation modes, including buses, regional trains, car-sharing services, and shuttle systems, is facilitated to create a cohesive and user-oriented network.

The paper also explores the regulatory, cultural and operational barriers to broader implementation of sponsorship-based financing in public transport. The primary challenges confronting PTAs are as follows: public scepticism with regard to the commercialisation of civic spaces; legal ambiguities surrounding the sale of naming rights; and the limited in-house capacity of PTAs to negotiate and manage sponsorship deals. In a multitude of instances, the management of sponsorship is outsourced, resulting in diminished margins and diminished strategic control. Furthermore, cultural resistance remains particularly pronounced in smaller cities and rural areas, where alterations to station names or bus routes may provoke public disapproval. The extant literature on toponymic commodification and place identity suggests that such practices have the potential to disrupt collective memory and civic cohesion if not carefully implemented.

Nevertheless, the author argue that when carefully designed and transparently implemented, sponsorship and CMM can become valuable instruments in the financial toolkit of public transport authorities. The research identifies three major sponsorship models: renaming rights (e.g., metro or bus stations), branding of infrastructure and vehicles, and co-financing of services via mobility agreements with private firms. Each of these models proffers a distinct risk-reward profile, a divergent timeline, and a varying level of stakeholder involvement. Consequently, the PTA is able to adapt this matrix to local conditions and policy priorities.

CONCLUSION

The conclusion emphasises the urgent need to diversify revenue streams for LPT in Italy, particularly in the face of decarbonisation mandates and budgetary limitations. The study provides evidence that innovative financing, when embedded in strong institutional frameworks and accompanied by clear communication strategies, can enhance the quality, resilience, and public perception of the public transport system.

In sum, this paper contributes a comprehensive and practice-oriented analysis of how conventional and innovative financing strategies are reshaping the Italian public transport landscape. It highlights not only the financial potential of sponsorship and mobility partnerships but also their capacity to redefine how public infrastructure is funded, perceived, and used. The integration of commercial logic with public service goals, if pursued thoughtfully and inclusively, offers a promising path forward in the quest for sustainable and equitable urban mobility. The Bologna case, in particular, may serve as a reference point for future policy design at the intersection of urban planning, transportation economics, and corporate social responsibility. In the years ahead, as cities seek to balance economic recovery, environmental urgency, and growing urbanization, these hybrid models of governance and investment could become not just useful, but essential.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.04

Revista de Estudios Andaluces (REA) | Núm. 50, julio (2025) | e-ISSN: 2340-2776
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50 | © Editorial Universidad de Sevilla 2025
https://editorial.us.es/es/revistas/revista-de-estudios-andaluces
https://revistascientificas.us.es/index.php/REA
CC BY-NC-SA 4.0.

SUMMARY OF ARTICLE: HTTPS://DX.DOI.ORG/10.12795/REA.2025.I50.05

Rockfalls in the Zireg watershed: factors of genesis and mapping of risk zones (Middle Atlas - Morocco)

Mohamed Benaissa
mohamed.benaissa1@usmba.ac.ma 0009-0004-6716-6512
Université Sidi Mohamed Ben Abdellah – Fès. Laboratoire Espace, Histoire, Dynamique et Développement durable. Faculté Polydisciplinaire Taza. Route d'Oujda–B.P. 1223, Taza, Maroc.

Jaouad Gartet
jaouad.gartet@usmba.ac.ma
Université Sidi Mohamed Ben Abdellah – Fès. Laboratoire Milieux naturels, Aménagement et Dynamiques Socio-spatiales. Faculté des Lettres et des Sciences Humaines Saïs-Fés. BP 59 Route Immouzer. 30000 Fès, Maroc.

KEYWORDS

Rockfall
Modeling
Zireg watershed
Middle Atlas
Morocco

INTRODUCTION

Rockfalls are characterized by the sudden separation of a rock mass from a sloping slope, descending rapidly downstream under the influence of gravity. These events represent one of the most common risks in mountainous areas, potentially causing damage to people and property, as well as generating significant financial costs, especially when they affect homes and essential infrastructure (roads, railways and power lines, etc.). Rockfalls represent a considerable challenge for farmers on fallow land and also on mountain roads. They expose users and personnel to dangers that continue to increase with the increase in traffic (Zireg tourist road connecting Oued Amlil and Bab Boudir) on the one hand, and on the other hand, by widening works.

The study of rockfalls in the Middle Atlas range remains essential due to their properties that contribute to the initiation of this phenomenon. The following article focuses on the development of a new approach to detect the risk of potentially unstable rocks and blocks falling on the slopes of the Zireg watershed, which represents a Middle Atlas landscape. This is achieved through a detailed knowledge of the lithological conditions that contribute to the formation of rocks and blocks, as well as the factors that affect their subsequent descent (inclination and land use) through the use of GIS.

Studying rockfall risk is crucial for improving their prevention and mitigating their impacts. It is also essential for assessing how this risk is triggered, depending on geographical conditions.

This research enhances the tourist appeal of the surrounding landscapes (Bab Boudir, Tazzeka National Park), protects users of the surrounding roads and also opens the way to a new method for describing rock falls in other mountain ranges.

STUDY AREA

The Zireg watershed is located on the left bank of the Inaouene watershed, representing a part of the Middle Atlas Mountains. It extends over an area of 73.2km² between the parallels 34°2'46" and 34°10'19" of

DOI: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.05
Formato de cita / Citation: Benaissa, M., & Gartet, J. (2025). Rockfalls in the Zireg watershed: factors of genesis and mapping of risk zones (Middle Atlas - Morocco). *Revista de Estudios Andaluces,*(50), 90-109. https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.05
Correspondencia autores: mohamed.benaissa1@usmba.ac.ma (Mohamed Benaissa)

North latitude, as well as the meridians 4°10’23” and 4°20’31” of East longitude. This watershed is located in the province of Taza, integrated into the Fez-Meknes region. It is found in the municipalities of Bouchfaa, Ghiyata Al-Gharbia and Bou-Hellou. It has a small extension towards the north.

The Zireg watershed presents a combination of diverse morphological landscapes manifested in mountains, hills and depressions. The highest altitudes of the basin are found in the south, crossing the limits of 1900 m, particularly at the summit of Tazekka (1980 m). On the other hand, the lowest places are located in the alluvial plain of Oued Inaouene, where it is observed that the altitude can drop below 300 m. This watershed is distinguished by the presence of sedimentary, metamorphic and volcanic rocks.

Geological and hydrostratigraphic research has revealed a lithological diversity within the buried and surface formations, composed respectively of Paleozoic shales and low-permeability Triassic clay formations. The latter are superimposed or juxtaposed by permeable Liassic carbonate formations. The Zireg watershed is characterized by significant plant diversity, particularly evident in the peaks of the northern Middle Atlas in the south (upper part of the watershed). In this area, the vegetation is dominated by holm oak and cork oak. In addition to these two types of formations, the landscape contains areas with mixed vegetation, including a variety of plants, artificial deciduous and coniferous forests, oak, Mount Tazekka cedar, thuja, and pine.

Rainfall patterns are an undeniable factor in the occurrence of ground movements. The speed of propagation of rock fragmentation processes is accelerated or slowed down by the water content of the rocks. Regarding precipitation, stations located near the Zireg watershed record the highest annual precipitation in the Inaouene watershed.

Landsat 8 satellite image analysis from June 15, 2019, revealed uneven variation in vegetation cover density in this basin. Nearly 52% of the area has a vegetation density ranging from 50 to 75%, encompassing an approximate area of 38 km^2, while 10% of the area has a density varying between 75% and 100%, encompassing an approximate area of 7.3 km^2. Forest cover is an element that affects the stability of rock masses on a slope through various key processes. One of its key elements is in situ rock fragmentation and block immobilization, where vegetation reduces the speed of propagation.

METHODOLOGY

Estimating rockfall hazard levels requires access to accurate information and a detailed analysis method combined with a solid geomorphological perspective depending on the intended purpose.

The approach adopted is based on a geomorphological diagnosis of the Zireg watershed, during which we identified the triggers of rock falls based on Flageolet’s definition (Flagiollet, 1989). The processes of thermoclasty, hydroclasty and cryoclasty are marked by climatic conditions that facilitate the degradation of rocks (limestone). In the absence of obstacles and on a steep slope, stones and blocks move downwards.

The method combines the three elements that control the production and movement of blocks (slope, lithology and land use), through a modeling that respects the importance of each factor, the data were reported on a graphic document: summary maps. The map was then presented according to the cartographic mode: map of the degrees of risk related to the class of block fall and collapse.

The risk map is a graphical synthesis that merges the levels of determining factors (slope, lithology and land use), created using ArcGIS software. To simplify the reading of the risk index summation map, we grouped the global index (GI) values into four large classes, thus reducing the probability results to four levels of increasing risk.

RESULTS

We coded the response of each rock category to weathering processes, the effect of tilt on rock movement, and then the surface condition in relation to plant cover, which promotes block stability or facilitates their descent in the event of insufficient cover.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.05

According to the descriptive study, we have shown that 4% of the total area is marked by high and very high degrees of risk, mainly linked to the presence of carbonate rock slopes, high to very high slopes and low or medium density plant cover.

The movement of blocks is accelerated by the slope, in accordance with the principle of gravity. Due to local fragmentation of the rock, its fall is controlled according to the slope's inclination and the volume that has been displaced. The inclination also has an impact on the rhythm of streams on the slope. Indeed, a steeper slope results in a shorter duration of water concentration on the cracks, which makes the hydroclasty process more important.

The study of the land use map reveals that the forest (dense forest and low density forest) covers 66% of the total area, distributed between the upstream and middle zones of the watershed. The matorrals represent 13%, occupying areas within the forest and in the middle section.

The dense forest that covers almost the entire upper part protects the slopes from rock fragmentation processes, which explains the rarity of rockfall incidents, which is why we observe that the low and medium risk levels occupy a wide area. In the rest of the study area, there is a strong correlation between the factors examined, which justifies the presence of high and very high risk levels.

In the Zireg watershed, rockfall hazard modeling demonstrates a proportional correlation with the analyzed variables. This means that rockfall and boulder hazards are geomorphologically linked to high slopes and carbonate rocks in the absence of dense forest cover. The risk can occur on moderate slopes, in sparsely forested areas and in areas made of rocks prone to fragmentation (limestone).

CONCLUSION

Mapping rockfalls is a complex and meticulous task that requires a solid understanding of morphological features. Modeling this type of movement is particularly challenging because the source areas do not have comparable geological and geomorphological characteristics. As part of a study focused on rock triggering and propagation, the source area and its path were used to develop the rockfall sensitivity model.

The model is designed for its adaptation to the causal conditions of land movements of the block fall and collapse class in the Mediterranean climate in general and particularly in the Inaouene basin. Preliminary results have already made it possible to superimpose and analyze several factors, such as slope, material hardness (fragmentability and degradability of rocks) and land use type. A model that is based on the representation of factors such as slope, lithology and land use in a particular climate (high precipitation and significant annual thermal amplitude).

The analysis of rockfalls in the Zireg watershed, carried out using the approach used, demonstrates that the geomorphological features of the site constitute a geomorphological basis for the initiation of land movement processes of the rockfall and collapse class. The study demonstrated that 4% of the entire terrain is affected by high and extremely high risk levels. The factors studied facilitate the occurrence of more or less severe risks, hence the need to use the risk map as a reference point for considering the development of this landscape, a planning model that takes into account geomorphological perspectives.

It is clear that special attention must be paid to slopes identified as high and very high risk, by widening the route and starting tree planting from the base to the top of the slope. The objective is to reduce the slope gradient from flat surfaces with a high concentration of trees in order to reduce the energy of the blocks during a fall.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.05

Revista de Estudios Andaluces (REA) | Núm. 50, julio (2025) | e-ISSN: 2340-2776
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50 | © Editorial Universidad de Sevilla 2025
https://editorial.us.es/es/revistas/revista-de-estudios-andaluces
https://revistascientificas.us.es/index.php/REA
CC BY-NC-SA 4.0.

SUMMARY OF ARTICLE: HTTPS://DX.DOI.ORG/10.12795/REA.2025.I50.06

The study of social capital through the social network analysis for a participatory tourism management: a governance network proposal for Tierra Bobal (Valencia)

Ruben Arnandis-i-Agramunt
ruben.arnandis@uv.es 0000-0002-8928-530X
J. Javier Serrano-Lara
j.javier.serrano@uv.es 0000-0003-0349-4176

Departamento de Geografía, Facultat de Geografia i Història, Universitat de València.
Avenida de Blasco Ibáñez, 28. 46010 Valencia, España.

KEYWORDS

Stakeholders
Decision-making
Public Management of Tourism
E-I Index

INTRODUCTION

The need for more participatory decision-making on tourism management, greater inter-organizational learning and knowledge sharing that allows for the acquisition of social capital, helps to understand the ecosystem of relationships between the parties, and to assume that the increasingly complex nature of tourism requires a management system capable of responding to change. Tourism cannot be planned and managed from either the public or the private sector alone, as if the two were unconnected, antagonistic or disparate. The socioeconomic, cultural and territorial multidimensionality of tourism development justifies this need, which, by the way, is different depending on the particular characteristics of each destination, which is why tourism management models based on the principles of governance are more necessary than ever. Thus, governance networks have emerged in response to the increasing complexity of public policies and as a consequence of the shortcomings of traditional public management models. While it is true that interaction between actors is not a new phenomenon, this concept of governance network allows for a different way of conceptualizing the interaction between relevant stakeholders affected by public decisions.

METHODOLOGY

The linkage of social capital to development processes has traditionally been linked to different areas or sectors such as, for example, education, health, rural development, but also gradually to the tourism sector. Social capital can contribute positively or negatively, as it can be used both for common or societal benefit and for self-benefit or the development of clientelist networks. The search for effective leadership in the territories is fundamental for the improvement of problem management. Although achieving leadership in the study of social networks is complex, since it is necessary to delve into three concepts: leadership, prestige and trust. This is why networks of actors are embedded in governance because of the interest in

DOI: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.06
Formato de cita / Citation: Arnandis-i-Agramunt, R., & Serrano-Lara, J.J. (2025). The study of social capital through the social network analysis for a participatory tourism management: a governance network proposal for Tierra Bobal (Valencia). *Revista de Estudios Andaluces,*(50), 110-135. https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.06
Correspondencia autores: ruben.arnandis@uv.es (Ruben Arnandis-i-Agramunt)

collaborative decision-making processes and the establishment of public policies, establishing a new form of interaction (more horizontal, more participatory, more democratic).

The main objective of this article is to evaluate the stock of social capital present in Tierra Bobal for the construction of a governance team with a high degree of involvement in tourism development processes.

From the methodological point of view, a double analysis was carried out. On the one hand, from the perspective of social capital meetings were held with public, private and civil informants considered key to tourism development processes, generating an initial database of 150 people. From this list, the sample was filtered on the basis of a set of KPIs, distributed in two blocks, related to the optimal profile of the people who should form part of the governance team. KPIs (acronym for key performance indicator) are factors that are constructed and applied in the evaluation of activities, processes and people (Badawy *et al.,* 2016). For this research, a first block of seven KPIs was determined, which were used by the researchers to filter the first set of 150 candidates to form part of the governance team. After this first filter, only 45 relevant people remained, of which 26 agreed to take part in the subsequent interview, which lasted approximately 20 minutes and in which they had to assess a second set of eleven new KPIs. In one of these indicators, they were asked to rate on a scale of 1 to 10 their 'interest in participating', as this was considered a critical KPI due to the importance of personal motivation for the achievement of this participatory body. 9 of the 26 people interviewed were left out of the EGOS network, but not out of the ALTERS network, as their interest in participating was rated below 8.

On the other hand, an analysis of the E-I index has been carried out, which allows the disaggregation of internal and external social capital based on substructures present in the network of actors. All this was done using the UCINET software. The study focuses on the configuration and coordination of the tourist brand Tierra Bobal, which is territorially contextualized in the Plana de Utiel-Requena. This is the westernmost and outermost region of the Comunitat Valenciana (Spain), with an important traditional and cultural value linked to the exploitation and commercialization of products derived from viticulture.

RESULTS

Among the main results, the network of actors interviewed presents a high density, but with a medium distance between the actors in the network, i.e., despite being a densely connected network, the distance between them is not so close. With respect to the entry of relationships between actors, despite having a high prestige of entry to the network (there are a large number of actors who are identified by others as prestigious), the truth is that the degree of exit is low, since the actors tend to identify few people as relevant. Reciprocity, knowledge and recognition among the actors is low, which is related to the indicator of the degree of exit, and is also a negative aspect. Actors recognize few actors in the network and also do not recognize each other. In other words, recognition is concentrated in very few people and they hardly recognize the other actors. The indicators and the network of trust are less density and the network of relationships is much closer than that of prestige, but tends to be more concentrated in a few people. Therefore, it is a network with great control of information and, in short, great power.

Regarding the selection of the governance network, nine stakeholders have been selected, plus two reserves, which concentrate the most positive levels of the SNA indicators. This classification is made with those stakeholders that lead the different indicators, from highest to lowest, and considering the limit of nine actors that, although it is related to the number of municipalities in Tierra Bobal, does not correspond directly to each of the territories. In addition, it was considered relevant to leave two actors as a reserve, in case any of the nine selected actors dropped out in any of the assumptions. In general, very few actors have very high levels in the different indicators, except for proximity. Finally, among the main evidences of the analysis of internal and external social capital (E-I Index), the presence of a large number of external relationships is demonstrated, which is very positive for the sustainability and maintenance of tourism development processes. However, some substructure analyses show a worrying lack or non-strengthening of internal relationships and, therefore, of bonding social capital.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.06

CONCLUSION

In short, the results of SNA and the E-I index show a network with weak internal structures, but whose territorial and social dynamics are based on the development, maintenance and strengthening of external links. However, these external links tend to be made on an individualized or personal basis with the outside world, which is why they are associated with active positions within the network, i.e., with those actors who are better positioned and more central to the network. The fact that there is an excessive concentration of information, power, prestige, etc. among only four actors can influence the correct development of the internal SC and the network.

Endogamic networks tend to concentrate information and may even use it as a tool for control and power, which can lead to large and serious differences among the actors in the area. Failure to exclude some of its most central actors would certainly affect the construction of a decentralized governance network. It would move the network away from a PNG (Participant-Governed Network), where the actors have informal and horizontal relationships, with decentralized bottom-up management in which all are responsible for internal management and share common objectives, and towards a LOG (Lead Organization-Governed Network) in which centralized management and asymmetric power prevail.

The study highlights the need to continue supporting tourism development by following a process of evaluation and analysis of the different actors or groups to improve the processes of participation and, especially, decision-making, but in a more objective, coherent and efficient manner, without necessarily responding to other parameters framed within the clientelistic networks of development programs and projects.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.06

Revista de Estudios Andaluces (REA) | Núm. 50, julio (2025) | e-ISSN: 2340-2776
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50 | © Editorial Universidad de Sevilla 2025
https://editorial.us.es/es/revistas/revista-de-estudios-andaluces
https://revistascientificas.us.es/index.php/REA
CC BY-NC-SA 4.0.

SUMMARY OF ARTICLE: HTTPS://DX.DOI.ORG/10.12795/REA.2025.I50.07

Spatial analysis of CO_2 emissions and their relationship with economic activity in the states of Mexico

Abril Yuriko Herrera-Ríos
yurikoherrera@uas.edu.mx 0000-0001-9301-9285
Facultad de Ciencias Económicas y Sociales, Universidad Autónoma de Sinaloa, Ciudad Universitaria, Blvd. Universitarios, Avenida de las Américas, Unidad 3, s/n. 80010 Culiacán - Sinaloa, México.

KEYWORDS

Spatial econometrics
CO_2 emissions
Spatial error model

INTRODUCTION

Climate change represents one of the greatest global challenges of the 21st century, with significant impacts on natural and socioeconomic systems. Greenhouse gas (GHG) emissions, particularly carbon dioxide (CO_2), are recognized as major contributors to global warming. Global CO_2 emissions from human activity reached 36.3 gigatonnes in 2021, according to data from the Global Carbon Project. This level of emissions reflects a post-pandemic economic recovery but also underscores the persistent dependence on fossil fuels.

At the national level, Mexico is one of the leading emitters of GHG in Latin America, with approximately 440 million tonnes of CO_2 emitted in 2021, according to the National Institute of Ecology and Climate Change (INECC, for its acronym in Spanish) (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2022). These emissions are closely linked to economic activity, as sectors such as transport, electric power generation and the manufacturing industry are responsible for a substantial part of the national total. Furthermore, the emissions pattern in Mexico presents significant geographic heterogeneity, reflecting the differences in the distribution of economic and industrial activities between states.

On the other hand, environmental and economic literature has widely discussed the relationship between economic growth and CO_2 emissions. While developed countries have made progress in decoupling economic expansion from emissions through technological innovation and policy interventions, developing economies continue to exhibit a strong correlation between GDP growth and increased emissions.

This issue is particularly relevant in Mexico, where economic and environmental disparities across regions create spatial heterogeneity in emissions. Industrialized states like Nuevo León and the Estado de México generate significantly higher emissions than less developed regions like Chiapas and Oaxaca. Despite Mexico's commitment to international climate agreements such as the Paris Agreement, the country faces substantial challenges in reducing greenhouse gas emissions while sustaining economic growth. This research contributes to understanding these challenges by applying a spatial econometric approach to examine CO_2 emissions across Mexican states.

The primary objective of this study is to analyze the spatial distribution of CO_2 emissions in Mexico and their relationship with economic activity. Specifically, the research seeks to identify spatial patterns in emissions, examine the correlation between Gross State Domestic Product (GSDP) and CO_2 emissions, evaluate potential spillover effects where emissions in one state influence those in neighboring states, and

DOI: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.07
Formato de cita / Citation: Herrera-Ríos, A.Y. (2025). Spatial analysis of CO_2 emissions and their relationship with economic activity in the states of Mexico. *Revista de Estudios Andaluces,*(50), 136-152. https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.07
Correspondencia autora: yurikoherrera@uas.edu.mx (Abril Yuriko Herrera-Ríos)

provide insights for policymakers on how regional economic structures impact environmental sustainability. To achieve these objectives, official data sources were used, including emissions data from the National Institute of Ecology and Climate Change (INECC) and economic indicators from the National Institute of Statistics and Geography (INEGI). Additionally, demographic and spatial variables were incorporated to capture regional economic activity and population density differences.

METHODOLOGY AND DATA

The data used come from official sources and were selected for their relevance to the analysis:

- CO_2 emissions (2022): Calculated based on the energy consumption reported by the Ministry of Energy (SENER, for its acronym in Spanish) and the emission factor provided by the RENE calculator (https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/registro-nacional-de-emisiones-rene-17015).
- State Gross Domestic Product (GDP, 2022) Obtained from the National Institute of Statistics and Geography (INEGI).
- State population (2022): Reported by the National Population Council (CONAPO).
- Spatial data: Extracted from the Geostatistical Framework of the 2020 Population and Housing Census shapefile, published by INEGI.

The integration of economic and demographic data with spatial information was carried out using the standard geographic key (NOMGEO). Subsequently, a spatial neighborhood matrix was generated using the Queen Contiguity criterion with the spdep library in R, allowing modeling of spatial interactions between neighboring states.

The methodological approach employed in this study is based on spatial econometric techniques. First, a spatial exploratory analysis was conducted using Moran's I statistic to measure spatial autocorrelation in emissions, allowing the identification of clustering patterns. The Local Indicators of Spatial Association (LISA) methodology was then applied to generate maps visually representing regions with high and low emissions. Following the exploratory analysis, a Spatial Error Model (SEM) was implemented to examine the relationship between economic activity and CO_2 emissions while accounting for spatial dependence. This model controls for additional variables such as population size and industrial density to isolate the impact of economic factors on emissions.

RESULTS

The results reveal several key findings. First, there is strong spatial dependence on emissions across Mexican states. Moran's I and LISA maps confirm that emissions are not randomly distributed but exhibit clustering, particularly in highly industrialized states. Second, the SEM model results indicate that economic activity, as measured by GSDP, is a significant determinant of CO_2 emissions. This finding confirms that as economic output increases, so do emissions, reinforcing the traditional environmental concern that economic growth may come at an ecological cost. Third, the study provides evidence of spillover effects, showing that states with high emissions tend to influence emissions levels in neighboring states.

This suggests that emissions are not solely a local issue but a regional phenomenon requiring coordinated policy responses. Lastly, the study highlights significant regional disparities in emissions. While industrialized states in northern and central Mexico, such as Nuevo León and the Estado de México, exhibit the highest emissions levels, southern states, such as Chiapas and Oaxaca, maintain lower emissions, primarily due to their lower levels of industrial activity. These findings align with global patterns observed in other developing economies, where industrial hubs tend to have higher environmental footprints due to increased energy consumption and production activities.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.07

In discussing these results, it is essential to place them within the broader literature on economic growth and environmental sustainability. The findings are consistent with previous research supporting the Environmental Kuznets Curve (EKC) hypothesis, which suggests that economic development initially leads to increased emissions before stabilizing at higher income levels. However, Mexico has not yet reached this turning point, indicating that additional policy interventions are needed to achieve sustainable growth.

The study also compares with global case studies in developed economies, such as Germany and Sweden, which have successfully decoupled economic growth from CO_2 emissions through proactive policies. These countries have implemented measures such as investing in renewable energy, enforcing stringent emission regulations, and promoting economic diversification to reduce dependence on carbon-intensive industries. The experience of these nations highlights the importance of well-designed policies in shaping environmental and financial outcomes.

CONCLUSION

The findings of this study have several policy implications. First, economic policies should integrate environmental considerations to ensure that growth does not come at the expense of sustainability. The Mexican government should consider implementing stricter emissions regulations, providing incentives for clean energy investments, and encouraging industries to adopt greener technologies. Second, regional cooperation is essential in addressing emissions, as the study demonstrates that emissions spillover effects transcend state borders.

Effective mitigation strategies should be designed at a regional level rather than focusing solely on state-specific policies. This is particularly important given that industrialized states with high emissions influence the environmental conditions of their neighboring regions. Third, further research should explore long-term policy impacts and sector-specific emissions reductions. Future studies could refine spatial models by incorporating more granular data on energy consumption, industrial production, and environmental regulations across different states.

By incorporating spatial econometrics into the analysis of CO_2 emissions and economic activity, this research provides a more nuanced understanding of Mexico's environmental challenges. The study demonstrates that emissions are not merely an issue of economic expansion but also regional disparities and spatial interdependencies. As Mexico continues to navigate the complexities of balancing economic growth with environmental sustainability, the insights from this research can inform policies aimed at reducing emissions while fostering sustainable development. Balancing economic expansion and ecological responsibility requires comprehensive, evidence-based strategies that account for financial and spatial dynamics.

In conclusion, the relationship between economic activity, population and CO_2 emissions in Mexico reflects a critical challenge in the transition towards a sustainable development model. This study shows that mitigation policies must be comprehensive and regionally adapted, taking advantage of the analytical tools of spatial econometrics to maximize their effectiveness. By integrating spatial considerations into the design of environmental strategies, we can move towards a more equitable and resilient future, where economic growth is not in conflict with environmental sustainability.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.07

Revista de Estudios Andaluces (REA) | Núm. 50, julio (2025) | e-ISSN: 2340-2776
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50 | © Editorial Universidad de Sevilla 2025
https://editorial.us.es/es/revistas/revista-de-estudios-andaluces
https://revistascientificas.us.es/index.php/REA
CC BY-NC-SA 4.0.

SUMMARY OF ARTICLE: HTTPS://DX.DOI.ORG/10.12795/REA.2025.I50.08

Dynamics of forest landscapes associated with bours crops in Morocco's High Atlantic Atlas (case of the lower Oued Tamri valley)

Hicham Irifi
Hicham.irifi@usmba.ac.ma 0000-0003-4323-060X
Université Sidi Mohamed Ben Abdellah- Fès. Laboratoire Milieux naturels, Aménagement et Dynamiques Socio-spatiales (MNADSS). FLSH Sais-Fès.Faculté des Lettres et des Sciences Humaines Saïs-Fés. BP 59 Route Immouzer. 30000 Fès, Maroc.

Abdellatif Tribak
abdellatif.tribak@usmba.ac.ma 0000-0002-1564-5886
School of Geography. Sidi Mohamed Ben Abdellah University. FLSH –SAIS.BP: 59, Route Immouzer. 30000 Fès, Maroc.

KEYWORDS

Argan and thuya landscapes
Landscape dynamics
Natural regeneration
Degradation
Lower Oued Tamri valley
High Atlantic Atlas
Morocco

INTRODUCTION

The forest landscape of the lower wadi Tamri is shaped by a complex interplay between the natural environment and human activities, influenced by both ecological and human factors. The present study is concerned with the analysis of the dynamics presented by Argania spinosa (Argan) and Tetraclinis articulata (Thuya) in the lower Oued Tamri valley, Morocco. The aim is to understand the climatic, geomorphological, ecological and anthropogenic processes that control the dynamic trajectory of this forest ecosystem and to assess their implications for forest conservation and development policies. In addition, this research will provide a characterization of the forest landscape of the mountainous lower wadi Tamri valley and apply a landscape approach to examine the dynamics of its argan forest. The main objectives are twofold: first, to understand the prevailing physical conditions and second, to assess the influence of human and natural factors on biodiversity, regeneration processes and the dynamics of landscape structures. Ultimately, this will enable the development of more effective strategies to promote natural regeneration and improve the resilience of these forest ecosystems

This study therefore seeks to examine the relationship between rainfall variations and their effects on land use and forest structure. The main objectives are to assess the potential for natural regeneration of Argania spinosa and Tetraclinis articulata in the region and to identify the key factors in this regeneration. A comprehensive methodology was used to achieve these objectives, based primarily on field surveys, vegetation measurements and spatial analyses using geographic information systems (GIS) and remote sensing.

DOI: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.08
Formato de cita / Citation: Irifi, H., & Tribak, A. (2025). Dynamics of forest landscapes associated with bours crops in Morocco's High Atlantic Atlas (case of the lower Oued Tamri valley). *Revista de Estudios Andaluces,*(50), 153-184. https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.08
Correspondencia autores: Hicham.irifi@usmba.ac.ma (Hicham Irifi)

METHODOLOGY

Using a landscape approach, this study examines the evolution of a landscape unit of argan and cedar trees associated with livestock production in the Ait Khmiss forest in the lower valley of the wadi Tamri. After describing the structures and geographical features of this unit, the spatio-temporal dynamics were assessed using Landsat 5, 7 and 8 satellite images (taken in 1984, 2000 and 2022) and ArcGIS software. Field data were used to validate the results of digital processing and land cover sampling. Floristic studies carried out on circular plots completed the study by assessing the natural regeneration of argan and cedar trees. The spatial evolution of the forest landscape was estimated using Landsat images of October 1984, June 2000 and August 2022, with a resolution of 30 m. Based on this landscape approach, we were able to delineate three homogeneous landscape units within the forest in question.

These units are the result of a combination of different landscape elements. These features, which can be visually identified in the field and on satellite images, have been arranged into classes using visual interpretation of the images in ArcGIS software. For the diachronic analysis, the same classes were used in the digital processing of the three satellite images, by applying a controlled classification using the 'maximum likelihood' algorithm. On the basis of the sampling (learning zones), the classification proved to be the most effective in identifying the different thematic classes: cedar and argan forest cover, argan cover associated with livestock farming and marl outcrops with low forest cover. These classes, together with four forest landscape density classes, were used to assess the dynamics of land use and forest density. Fieldwork was also used to define training zones and provide spectral signatures.

The aim of these surveys was to provide a comprehensive analysis of the dynamics of the various landscape components within the unit under consideration. This approach aimed to confirm specific physical conditions and provide an overview of the study area. GIS assisted in the integration of spatial information, such as land use, density structures, regenerated seedlings, exposure, cover tree density and slope aspect, with vegetation data to identify landscape patterns and relationships. Ultimately, the combination of field surveys, vegetation measurements and GIS-based spatial analysis enabled a comprehensive overview of the natural regeneration processes of Argania spinosa and Tetraclinis articulata) in the study area.

RESULTS

The main results of the study reveal the diversity of parameters influencing the dynamics of the forest landscape and the natural regeneration of Argania spinosa and Tetraclinis articulata. From an ecological point of view, the forest landscapes of this unit have functioned and evolved in a Mediterranean climate, which explains the characteristic floristic, phytogeographic and anthropic diversity of these areas. Organized into heterogeneous structures based on a model of agro-sylvo-pastoral use, these landscapes are functioning correctly, but their proper performance is compromised by recurrent and prolonged drought, as evidenced by the low rates of natural regeneration, the decline in floral biodiversity and the increase in decline of these stands. The ecological, biophysical and anthropogenic conditions generally make it possible to distinguish multiple functional and dynamic landscape structures. The plant inventories revealed a total of 23 species in this forest unit, divided into 21 genera and 12 orders in 16 botanical families. There are 16 families and their associated species in the study area. The most represented families in this landscape unit are Fabaceae and Lamiaceae (13%), followed by Solanaceae, Asparagaceae and Anacardiaceae (9%). The remaining 11 families are represented by a single species (4%).

Fabaceae are represented by species such as *Ononis natrix, Genista tricuspidata*, and *Chamaecytisus albidus*. The Lamiaceae include *Lavandula multifida, Lavandula dentata*, and *Thymus satureioides*. The Solanaceae are represented by *Lycium intrecatum* and *Withania frutescens*. In this unit, Argan and Thuya are mainly associated with common species such as *Genista tricuspidata, Olea europea, Pistacia lentiscus, Chamaecytisus albidus*, and *Globularia alypum*, forming plant groupings like the Argan and Thuya grouping with *Globularia alypum* (2477.89 ha), followed by the Argan-Thuya group with *Olea europea* (1380.29 ha), and the Argan-Thuya group

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/IESTSCIENTIA.2025.i01.08

with *Genista tricuspidata* (1154.57 ha). The grouping of Argan and Thuya with *Pistacia lentiscus* (182.08 ha) represents the smallest area, at 3% of the total.

This forest unit presents fragile landscapes and low resilience that reflect spatial degradation resulting from the combined action of biophysical and anthropogenic factors. As a result, dense and medium-dense forest formations have become preferred grazing areas. Similarly, the area of pure forest landscapes has decreased considerably since 1984, showing a regression of 37% between 1984 and 2000 (falling from 21% to 16% of the forest unit). This decline continued between 2000 and 2022, with a further reduction of 181.25 hectares. The class of marl outcrops with low forest cover increased from 45% to 49% over the same period. The area of forest cover associated with bours crops initially increased by 35% between 1984 and 2000, then decreased by 18% between 2000 and 2022. Conversely, the area of marl outcrops with low forest cover decreased by 16% between 1984 and 2000, then increased by 30% in the following period. The decrease in the area of forested landscapes between 2000 and 2022, in favor of marl outcrops with low forest cover, indicates a transformation of forested areas into landscapes with less dense vegetation.

CONCLUSION

The results of the diachronic analysis confirm this "matorral formation" of forest landscapes, which is linked to persistent drought and the expansion of agricultural land, especially in the northeast of the landscape unit. Between 1984 and 2022, the forest area decreased by 307.56 ha (-5%), while the cultivated land with low forest cover increased by 605.79 ha. The class of bare or very low forest cover lost 295.86 ha (-5%) of its total area over these 38 years. The medium forest cover increased by 32% between 1984 and 2000. Meanwhile, the area of low-density forest cover increased steadily over the whole period, from 23% in 1984 to 33% in 2022. This steady increase is probably due to the medium forest cover class and the bare ground or very low forest cover class, which show an evolution rate of 42% between 1984 and 2022. The regressive dynamics of the bare ground or very low forest cover class is reflected in some plant reclamation, with the appearance of shrubs such as Genista tricuspidata, Launea arborescens or Lycium intrecatum on these slopes, or as a result of land conversion to farmland. The study suggests that a variety of factors impact the regeneration of Argania spinosa and Tetraclinis articulata. These factors include tree cover density, altitude, slope exposure and anthropogenic activities such as grazing and agricultural practices. The main results of the study indicate that different factors influence the regeneration of the two forest species, Argania spinosa and Tetraclinis articulata. These factors depend on the density of the vegetation cover, the topography and human activities such as grazing and agricultural practices. The analysis reveals different levels of natural regeneration potential in different landscape units, with some areas having higher seedling densities than others.

During this period, the study area experienced increasingly frequent and intense droughts. Despite their adaptation to arid and semi-arid environments, the resilience of argan and thuya trees has been compromised by these prolonged or extreme episodes. This affects their growth, reproduction and natural regeneration. This water stress is a threat to the sustainability of these ecosystems and results in a significant weakening of young plants. Furthermore, despite the current low level of deforestation, the regeneration of the argan tree, which is subject to strong anthropogenic pressure, in particular from the significant livestock farming in the lower Oued Tamri valley, is severely compromised by intensive grazing, especially by goats. The combined effects of climate change-induced droughts and persistent human pressure result in limited resilience of Argan and Thuya stands. This is manifested in a reduced ability to resist and recover, a significant decrease in forest density leading to an opening up of the landscape and a challenge for regeneration, especially for the argan tree. The decline in landscape dynamics is mainly due to human impact. This has resulted in the opening up of the forest landscape. Simultaneously, frequent droughts have exacerbated the decreasing forest density.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/IESTSCIENTIA.2025.i01.08

Revista de Estudios Andaluces (REA) | Núm. 50, julio (2025) | e-ISSN: 2340-2776
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50 | © Editorial Universidad de Sevilla 2025
https://editorial.us.es/es/revistas/revista-de-estudios-andaluces
https://revistascientificas.us.es/index.php/REA
CC BY-NC-SA 4.0.

SUMMARY OF ARTICLE: HTTPS://DX.DOI.ORG/10.12795/REA.2025.I50.09

Impact of hydro-morphometric characteristics on the hydrological response of the Adoudou river watershed (Western Anti-Atlas, Morocco)

Hassan Nait-Si
hassan.nait-si@edu.uiz.ac.ma 0000-0003-3299-5447
Equipe de recherche: Géographie, Aménagement, Démographie et Développement (GEAMDD), Département de Géographie, FLSH Agadir, Université Ibn Zohr. Cité Dakhla, BP 29/8, Agadir, Maroc.

M'hamed Nmiss
mhamed.nmiss@usmba.ac.ma 0009-0001-4107-3690
Equipe de recherche: Milieux naturels, Aménagement et Dynamiques Socio-Spatiales (MNADSS). FLSH Fès-Sais, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah-Fès. BP 59, Route Immouzer. 30000 Fès, Maroc.

Mahjoub Benbih
benbihelmahjoub@gmail.com 0009-0008-5759-8097
Abdourrahmane Boukdoun
abdourrahman.boukdoun@edu.uiz.ac.ma 0009-0000-2703-1622
Abderrahmane Ouammou
a.ouammou@uiz.ac.ma 0009-0000-3579-1947

Equipe de recherche: Géographie, Aménagement, Démographie et Développement (GEAMDD), Département de Géographie, FLSH Agadir, Université Ibn Zohr. Cité Dakhla, BP 29/8, Agadir, Maroc.

KEYWORDS

Hydrological response
Hydro-morphometric characteristics
Ungauged watershed
Hydrological risk
GIS

INTRODUCTION

The Oued Adoudou catchment area is part of the Western Anti-Atlas, located in central-west Morocco. It is bounded to the north and north-west by coastal dune complexes and the Atlantic Ocean, to the south by the Ifni massif and the Lakhssas plateau and to the east by the Kerdous massif. The Oued Adoudou rises from the Kerdous tributaries in the south-east of the basin. It then flows downstream, where it receives several tributaries from the anti-atlasic mountain massifs and the Tiznit plain, before emptying into the Atlantic Ocean to the north-west after a journey of 97.3 km. In the plain, two major tributaries join the Oued Adoudou: the Oued Bounaâmane, which originates in the Lakhssas plateau, and the Oued Tamdroust, which comes from Kerdous.

Climatically, the basin is subject to an arid climate, characterised by low annual rainfall that is often irregular in time and space, with low annual averages downstream (Tiznit station = 168 mm; Youssef Ibn Tachfin station = 146 mm) compared with upstream (Amaghouz station = 289 mm). The arid climatic conditions of the region have a strong influence on the plant cover, which is degraded.

This study aims to evaluate and analyze the hydro-morphometric characteristics that influence the hydrological response to intense rainfall events in an arid, ungauged basin context.

DOI: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09
Formato de cita / Citation: Nait-Si, H., Nmiss, M., Benbih, M., Boukdoun, A., & Ouammou, A. (2025). Impact of hydro-morphometric characteristics on the hydrological response of the Adoudou river watershed (Western Anti-Atlas, Morocco). *Revista de Estudios Andaluces,* (50), 185-217. https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09
Correspondencia autores: hassan.nait-si@edu.uiz.ac.ma (Hassan Nait-Si)

METHODOLOGY

The present study aims to analyze the impact of hydro-morphometric characteristics of the Adoudou watershed on the hydrological response. The absence of sufficient hydrometric data, typical of ungauged basins, justifies this approach, based a quantitative analysis focused on the calculation and interpretation of key hydro-morphometric parameters such as the basin's geometry, topography, and hydrography. Geometric parameters provide insights into the watershed's shape and drainage area; topographic parameters address elevation and slope characteristics; and hydrographic parameters quantify and describe the drainage network's structure. Together, these elements offer a comprehensive understanding of the watershed's physical evolution and the interaction of its attributes on hydrological behavior and flash flood generation.

To ensure the reliability and accuracy of the results, the study utilized Geographic Information Systems (GIS) tools, incorporating a 30-meter resolution Shuttle Radar Topography Mission Digital Elevation Model (SRTM-DEM) and 1:50,000 scale topographic maps. The watershed boundary and hydrographic network were extracted from the topographic maps. To correct inherent errors in the raw DEM, a hydrological correction was applied based on the hydrographic network using spatial analysis tools in ArcGIS. The hydro-morphometric parameters were then calculated using GIS analysis and Microsoft Excel, following established mathematical equations introduced by experts in hydrology and hydraulics.

RESULTS

Geometric parameters analysis:

The surface and the perimeter of a watershed give an initial idea of its shape and the quantity of water it can receive, and can influence the hydrological response and hence the amplitude of flood hydrographs. Several parameters were calculated to determine the influence of size and shape on the hydrological response of the Adoudou watershed. Our study basin has a surface area of 834.7 Km^2 and a perimeter of 183.3 Km. The Gravelius compactness index, the aspect ratio and the circularity ratio results indicate that our watershed has an elongated shape marked by a strong relief. The equivalent rectangle results reveals that the contours are fairly tight upstream of the basin (Elevation between 1304 m and 500 m), testifying to a steep slope and strong relief. In the downstream part (Elevation between 500 m and 100 m), the contours become progressively more widely spaced towards the basin outlet, reflecting the decrease in slope.

Topographic parameters analysis:

The hypsometric curve is slightly concave with a steep slope. The straight line intersects the diagonal between 23% and 35% elevation, indicating that the Adoudou watershed is in a mature state, meaning that the basin is in equilibrium with regard to erosion and transport processes within the fluvial system. The characteristic altitudes reveal that the mean altitude is higher than the median altitude, with a standard deviation of 56 m. This means that the basin has an irregular relief. Altitudes are high in the upstream, where mountains predominate, and become gentler in downstream. The average slope of the whole basin is high, reaching 16 m/km, indicating that our basin has steep slopes. The overall slope index Ig is equal to 13.22 m/km, and the specific gradient Ds of the basin is 382 m.

According to the ORSTOM relief classification, our basin has a strong relief character. The slope map reveals a very particular distribution from upstream to downstream, controlled by both lithology and tectonics. The southern and western parts of the basin are characterized by the predominance of very steep and steep slopes (occupying 11% and 9% of the basin surface respectively), which are typical of the western Anti-Atlas range, made up of ancient Precambrian and Cambrian geological outcrops. Medium slopes (occupying 27%) are predominant at the foothills, at the contact of the Anti-Atlas range with the Tiznit plain, and are formed

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09

by Quaternary-age alluvial fans nested against the bordering slope. As for the lower slopes (54% surface area), they occupy the Quaternary formations of the Tiznit plain.

Hydrographic parameters analysis:

From a hydrographic point of view, BVOA is designated as a Seventh Order basin, with a total of 2876 streams covering a total length of 1944.13 Km. The 1st order streams make up the majority of the area's drains at around 78%, with a total length of 1025.05 Km; 17.3% for the 2nd order with a length of 425.47 Km; 3.7% for the 3rd order with a length of 205. 39 Km; 1% for the 4th order with a length of 161.42 Km; 0.17% for the 5th order with a length of 63.23 Km; 0.07% for the 6th order with a length of 41.18 Km and 0.03% for the 7th order with a length of 22.39 Km. the hydrographic network shows a typical disorganization, which can be explained by several geological, structural, topographical and climatic factors. Two geographical zones can be distinguished according to the density and typology of the hydrographic network:

- Upstream: characterized by a dense dendritic network with a tree-like morphology due to the steep slope and geological nature of the outcrops. The flow regime has a torrential character and the presence of a large number of streams means that the surface is undergoing erosion;
- Downstream: the drainage network is less developed of the parallel type, as well as the presence of endoreic systems (the locals call them 'TALAT'), which can communicate exceptionally during major floods and induce sheet flow. The network is controlled by Plio-Quaternary geological soils of high permeability associated with low and medium slopes in mountain-piedmont contact zones.

The confluence ratio (RC) and stream length ratio (RL) indicate a strongly hierarchical drainage network, heavily influenced by slope and bedrock characteristics. In low-slope, permeable regions, stream numbers are limited but individual lengths are greater. Conversely, steep and impermeable zones support a higher number of shorter streams. The drainage density (Dd) is 2.33 km/km^2, signifying an efficient drainage system. The hydrographic density (Fs) is 3.45 km^{-2}, indicating a strong surface flow response to rainfall. The infiltration index is 8.03, highlighting a low capacity for water retention and infiltration, hence high surface runoff. The drainage density map reveals that the upstream part of the basin is characterized by very high drainage density, which can be explained by the steep slope and semi-permeable substrate. In contrast, in the downstream region where the substrate ranges from permeable to semi-permeable and the slope is gentle, the drainage density is generally moderate in areas drained by the Oued Adoudou. However, it tends to be high near confluences and low in other parts of the plain.

Main stream gradients show that Oued Adoudou has an average slope of 1.3%, while its tributaries, Oued Bounaâmane and Oued Tamdroust, have steeper slopes of 1.8% and 2%, respectively. Longitudinal profiles exhibit generally concave shapes with slope breaks. Oued Tamdroust has a smooth, concave profile, while Oued Adoudou and Oued Bounaâmane display irregularities and abrupt slope changes. These features are controlled by contrasting geological settings between the Western Anti-Atlas (upstream) and the Tiznit plain (downstream). Upstream slopes average 4.2% (Tamdroust), 2.6% (Bounaâmane), and 1.6% (Adoudou), compared to 1.1% downstream, underscoring the geological and topographic influence on flow behavior and confirming the watershed's susceptibility to flash floods.

Based on the above findings, we can assume that the Adoudou watershed characterized by a contrasting geomorphology between upstream and downstream areas, which controls the typology and density of the drainage network. The basin's hydrological response to a rainfall event is strongly influenced by several factors: geology, topography and hydrography. The mountainous upstream area, with its steep slopes and high drainage density, favors rapid runoff. In contrast, the flatter downstream zone shows a delayed response, resulting in spatial disparities in flood risk. This geomorphological complexity, which characterizes the Adoudou watershed, highlights an increased vulnerability to hydrological hazards, particularly in the downstream. The extreme hydro-meteorological event of November 2014, which impacted the study

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09

area, highlights the significant influence of the basin's characteristic hydro-morphometric features on the generation, intensity, and propagation of flash floods. This event caused extensive downstream damage, with the most severely affected areas located in the commune of Tnine d'Aglou, particularly within the alluvial plains of the Oued Adoudou, between El Aouina upstream and Zaouiya Sidi Ouaggag downstream.

CONCLUSION

This study highlights the key role of spatial analysis using GIS tools in the mapping and assessment of hydro-morphometric characteristics. Precise delimitation of the Adoudou watershed, digitization of the hydrographic network from 1:50,000 topographic maps and hydrological correction of the raw DEM have enabled us to build a reliable database for calculating hydro-morphometric indices. This latter approach helps to improve the accuracy of the results, thus ensuring the accuracy of interpretations aimed at understanding hydrological response and identifying the major factors influencing hydrological risks in our basin.

For an ungauged basin, hydro-morphometric analysis is a key method for understanding the influence of morphometric and hydrographic parameters on hydrological behavior. This approach represents a major challenge, because of the extent of the basin studied and the diversity of its geomorphological features. Indices calculated on the scale of the entire basin provide a global view of its hydrological dynamics, making it possible to identify the relevant geomorphological factors influencing the genesis of flash floods.

The Adoudou wadi watershed exhibits highly diverse topography, characterized by a stepped plateau structure in the downstream area and rugged mountainous relief upstream. The upstream region benefits from both orographic effects and more intense rainfall compared to the downstream area. Despite its elongated configuration, the Adoudou watershed is marked by torrential flows, primarily driven by geological, topographical, and hydrographic factors that exacerbate hydrological risks during heavy rainfall events. Two distinct zones can be identified based on topographical and hydrological variations: the upstream zone, dominated by mountainous relief, steep slopes, exposed hard rock outcrops, and a high drainage density, which collectively favor abundant torrential runoff heavily laden with solid materials. These torrential inflows are conveyed downstream, where the lower part of the watershed acts as a receiver of these floodwaters, thereby intensifying soil erosion in arable lands and causing floods in urbanized alluvial plains. This presents a significant risk to urban areas and infrastructure. The findings obtained contribute to a better understanding of the drainage patterns and hydrological functioning of the Adoudou wadi watershed. Furthermore, they can support the anticipation and management of hydrological risks associated with torrential floods in the basin.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.09

Revista de Estudios Andaluces (REA) | Núm. 50, julio (2025) | e-ISSN: 2340-2776
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50 | © Editorial Universidad de Sevilla 2025
https://editorial.us.es/es/revistas/revista-de-estudios-andaluces
https://revistascientificas.us.es/index.php/REA
CC BY-NC-SA 4.0.

SUMMARY OF ARTICLE: HTTPS://DX.DOI.ORG/10.12795/REA.2025.I50.10

Services, economic development and demographic revitalisation in La Campana de Oropesa y Cuatro Villas (Toledo)

Daniel Casas-Casas
danicc1986@usal.es 0000-0002-9921-1566
Departamento de Geografía, Facultad de Geografía e Historia. Calle Cervantes s/n. 37002 Salamanca, España.

KEYWORDS

Service provision
Depopulation
Demographic ageing
Western Toledo
Castilla-La Mancha

INTRODUCTION

This study examines in depth the interrelationship between the provision of essential services, economic development, and demographic dynamics in the region of La Campana de Oropesa y Cuatro Villas, located in the western part of the province of Toledo. This area has been experiencing a pronounced population decline for decades, characterised by the progressive ageing of its demographic structure, a reduction in the active population, and a continuous outmigration towards larger urban centres.

The objective of this study is to evaluate the influence of the provision and accessibility of essential services on the demographic dynamics of the region. In addition, it seeks to identify the relationship between these factors and depopulation, proposing comprehensive strategies to promote economic development, territorial cohesion and population settlement in the area. To assess the extent to which the provision of services contributes to mitigating or reversing the negative demographic trends in the region, an analysis of the main current demographic and economic indicators has been carried out.

METHODOLOGY

Through a multifactorial methodology integrating quantitative, qualitative and econometric analyses, the research aims to identify the structural factors that explain this regressive dynamic, as well as to formulate viable strategies for territorial revitalisation. The approach combines the use of official secondary sources, spatial analysis with GIS tools, a multiple regression model, and qualitative fieldwork consisting of semi-structured interviews with a representative sample of 420 residents across the 21 municipalities that comprise the region. The study is framed within a line of research focused on rural territories affected by depopulation—a phenomenon that not only concerns the Spanish context but also manifests in other European regions with similar characteristics.

DOI: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.10
Formato de cita / Citation: Casas-Casas, D. (2025). Services, economic development and demographic revitalisation in La Campana de Oropesa y Cuatro Villas (Toledo). *Revista de Estudios Andaluces* (50), 218-244. https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.10
Correspondencia autor: danicc1986@usal.es (Daniel Casas-Casas)

RESULTS

The results of the demographic analysis reveal a negative trend between 2001 and 2023, with an average loss of 0.58% in the region's total population. This decline affects the territory unevenly: while some municipalities close to Talavera de la Reina have recorded slight growth due to their residential function and the development of complementary economic activities, the majority have undergone significant regression. In municipalities such as Valdeverdeja, Torralba de Oropesa or Caleruela, population loss exceeds 25%, placing them at critical levels of demographic viability. This decline is largely associated with the lack of employment opportunities, weak economic diversification, and the scarce presence of basic services. The multiple regression model developed within the framework of the study identifies that the variables with the greatest explanatory weight for depopulation rates are employment opportunities (coefficient $\beta = -0.58$), access to healthcare services ($\beta = -0.42$), and investment in rural development ($\beta = -0.45$). These statistically significant results confirm that stable employment, healthcare provision, and strategic investment planning are key factors in reversing the regressive trend.

The age structure reveals a marked ageing, with an old-age index of 27.38%, which significantly exceeds both provincial and regional averages. In 19 of the 21 municipalities, this figure surpasses 30%, indicating a situation of demographic stagnation. Furthermore, the outmigration of young people of reproductive age, particularly women, has contributed to an imbalance in the population pyramid, with increasing masculinisation and an ever-narrowing base. The regional birth rate (7.13 ‰) is insufficient to offset the high mortality rate (14.45 ‰), resulting in a negative natural growth of -0.73%. This situation not only compromises demographic sustainability but also poses serious challenges in terms of social services, elderly care, and economic vitality. Meanwhile, the presence of immigrant populations, although limited (4.21% of the total), plays a relevant role in certain municipalities such as Calera y Chozas and Alcolea de Tajo, where it helps to sustain the active population, especially in sectors such as agriculture, hospitality, and construction.

The economic analysis of the region reveals a structural trend towards tertiarisation, with a 26% growth in employment within the service sector between 2001 and 2023, contrasting with an overall decline of -8.61% in total workers. The secondary sector registered a reduction of 39%, while the primary sector barely declined by 0.37%. This transformation has occurred unevenly across municipalities: some, like Oropesa and Las Ventas de San Julián, have managed to increase their workforce due to the expansion of tourism and local commerce; others, such as Caleruela or Montesclaros, have experienced employment losses across all sectors, reflecting structural vulnerability. Public investment, although it increased by 183.86% across the region, has not always shown a positive correlation with job creation, indicating that the effectiveness of investment depends on strategic direction and the mobilisation of local capabilities. Municipalities that successfully linked investment to economic development have been those that implemented integrated plans and promoted activities with added value.

One of the most valuable contributions of this study lies in its qualitative dimension. The semi-structured interviews captured the local population's perception of the causes of depopulation and possible solutions. Among the main issues identified are lack of employment (50%), inadequate healthcare services (45%), poor public transport (38%), and limited digital connectivity (50%). Most participants expressed interest in active policies to attract businesses, promote entrepreneurship, and improve access to essential services. In terms of opportunities, 60% highlighted rural tourism and agriculture as sectors with potential to revitalise the local economy, while also noting the need for increased institutional support and promotion. The citizens' demands align with the quantitative findings and reinforce the idea that territorial revitalisation must simultaneously address both structural shortcomings and local aspirations.

The correlation between service provision and demographic indicators confirms that improvements in healthcare and education services are associated with higher birth rates and a lower degree of ageing. In particular, healthcare coverage shows a correlation of 0.87 with population growth and -0.87 with the ageing rate, evidencing its crucial role in population retention. Similarly, education services display a positive correlation with the birth rate (0.87), underlining the importance of educational infrastructure in attracting young families. Conversely, cultural services—while important for quality of life—demonstrate weak correlation

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.10

with demographic growth. The limited presence of private services of a social nature (such as commerce, transport, pharmacies, and banking) also restricts development potential in numerous municipalities, exacerbating territorial inequality.

In terms of planning, the regression model not only helps explain the causes of depopulation but also prioritises actions. The most influential variables should form the core of public policy: employment, healthcare, education, and rural investment. The model also indicates that unemployment has a direct effect on emigration, while factors such as digital connectivity or transport—although relevant—require complementary conditions to fully deploy their potential. In this regard, it is recommended to implement integrated policies that combine infrastructure improvement with fiscal incentives, entrepreneurship programmes, and economic diversification strategies. Strengthening the so-called "silver economy", derived from the growing demand for elderly care services, could provide a pathway for job creation and retention of female population in the territory.

CONCLUSION

In conclusion, the study demonstrates that depopulation in La Campana de Oropesa y Cuatro Villas is a multifactorial phenomenon driven by a combination of structural, social, and economic causes. The absence of basic services, lack of employment, and poor territorial planning have contributed to a regressive dynamic that is difficult to reverse without coordinated and sustained interventions. Nonetheless, there are latent opportunities in the territory that could be harnessed through strategic and integrated action. The development of rural tourism, the valorisation of local products, investment in connectivity, and improvements in public services are priority lines of action. The involvement of public and private stakeholders, together with active community participation, will be essential to ensure the viability of any strategy. Only through a comprehensive territorial vision—combining equity, efficiency and sustainability—will it be possible to transform the current scenario of decline into an opportunity for revitalisation and rural development.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.10

Revista de Estudios Andaluces (REA) | Núm. 50, julio (2025) | e-ISSN: 2340-2776
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50 | © Editorial Universidad de Sevilla 2025
https://editorial.us.es/es/revistas/revista-de-estudios-andaluces
https://revistascientificas.us.es/index.php/REA
CC BY-NC-SA 4.0.

SUMMARY OF ARTICLE: HTTPS://DX.DOI.ORG/10.12795/REA.2025.I50.11

Geo-resource mapping in the Lakhssas plateau and Ifni massif, Morocco: a geomatics and geotechnical perspective

Mohamed Mahmoud Sebbab
mohamedmahmoud.sebbab@edu.uiz.ac.ma 0000-0001-6520-9129
Abdelhadi El Ouahidi
a.elouahidi@uiz.ac.ma 0009-0008-9407-4508

Spaces, Societies, Environment, Planning and Development Laboratory, Department of Geography and Planning, Faculty of Languages, Arts and Human Sciences- Ait Melloul, Ibnou Zohr University, Ait Melloul. Route Nationale N°10 cite d'Azrou à côté de l'institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II Ait Melloul, Morocco.

Mohamed Atik
m.atik@uiz.ac.ma 0009-0006-3066-9647
Spaces, Societies, Environment, Planning and Development Laboratory, Department of Geography and Planning, Faculty of Languages, Arts and Human Sciences- Ait Melloul, Ibnou Zohr University, Ait Melloul. Route Nationale N°10 cite d'Azrou à côté de l'institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II Ait Melloul, Morocco. UMI SOURCE (Unité Mixte Internationale Soutenabilité et Résilience), Université de Versailles Saint Quentin en Yvelines. 47 Boulevard Vauban,78280, Guyancourt, France.

Hamza Taghlaoui
hamza.taghlaoui@uit.ac.ma 0009-0008-8210-9339
Laboratory of Territories, Environment, and Development, Faculty of Human and Social Sciences, Ibn Tofail University. Avenida de L'Université, BP 401, Kenitra, Morocco.

Abdessamad El Atillah
elatillah@gmail.com 0000-0003-2739-2617
Spaces, Societies, Environment, Planning and Development Laboratory, Department of Geography and Planning, Faculty of Languages, Arts and Human Sciences- Ait Melloul, Ibnou Zohr University, Ait Melloul. Route Nationale N°10 cite d'Azrou à côté de l'institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II Ait Melloul, Morocco.

Mehdi Ousbih
ousbih.mehdi@gmail.com 0000-0002-3312-614X
Laboratory of Applied Geology, Faculty of Sciences and Techniques, Moulay Ismaïl University of Meknes. P.O. Box 509 Boutalamine, Errachidia, 52000, Morocco.

Khadija Sebbab
khadijasebbab@gmail.com 0009-0007-4615-9702
Multidisciplinary faculty of Es Semara, Ibnou Zohr University. B.P 195, Es-Smara, Morocco.

KEYWORDS

Quarries
GIS
Geo-resource
Geotechnical Engineering
Massif of Ifni
Lakhssas plateau

DOI: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.11
Formato de cita / Citation: Sebbab, M.M., El Ouahidi, A., Atik, M., Taghlaoui. H., El Atillah, A., Ousbih, M., & Sebbab, K. (2025). Geo-resource mapping in the Lakhssas plateau and Ifni massif, Morocco: a geomatics and geotechnical perspective. *Revista de Estudios Andaluces* (50), 245-265. https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.11
Correspondencia autores: mohamedmahmoud.sebbab@edu.uiz.ac.ma (Mohamed Mahmoud Sebbab)

INTRODUCTION

The progress of modern societies is intrinsically linked to the construction and civil engineering industries, which are major consumers of materials derived from quarries, particularly aggregates, sand, and gravel. However, like any industrial activity impacting the environment, quarrying raises concerns regarding its potential negative effects on ecosystems, biodiversity, and landscapes. In the face of growing challenges related to sustainable development, it is imperative to adopt innovative approaches for responsible geo-resource management, minimizing environmental disruption, and preserving geological heritage.

It is within this context that the in-depth study conducted on the Lakhssas Plateau and the Ifni Massif, located in the western Anti-Atlas of Morocco, takes place. This region, rich in potential geo-resources, has experienced a proliferation of quarries developed without prior optimization studies, posing risks to the environment. This study aims to create a geotechnical map for the sustainable exploitation of geo-resources in this area, leveraging the capabilities of Geographic Information Systems (GIS).

The primary objective is to identify and quantify the potential resources of the Lakhssas Plateau and the Ifni Massif, while guiding operators towards the most suitable areas for opening new quarries, in compliance with environmental regulations and the preservation of geological heritage. This approach seeks to strike a balance between meeting the demands of the construction industry and safeguarding the ecological integrity of the region. By providing a scientifically robust framework for quarry development, the study aims to minimize environmental impacts while ensuring the long-term availability of essential construction materials.

Ultimately, this study serves as a decision-support tool for stakeholders involved in quarry operations, providing them with accurate and up-to-date information on available resources, their quality, and their location. This informed decision-making process is crucial for fostering a more sustainable and responsible approach to resource extraction in the region.

MATERIALS AND METHODOLOGIES

This study employed an integrated, multidisciplinary approach, combining geotechnical expertise with the powerful tools of Geographic Information Systems (GIS). This methodology was structured around the following key phases:

- **Collection and Compilation of Existing Data:** The initial phase focused on assembling a comprehensive dataset of georeferenced and structured information covering various aspects of the study area. Geological maps from the Geological Survey of the Ministry of Energy and Mines were digitized, georeferenced, and compiled to establish a precise and exhaustive cartographic base. Lithological, petrographic, geochemical, and geotechnical data from bibliographic sources and previous studies were also collected and integrated into a spatial database. A high-resolution Digital Elevation Model (DEM) (30-meter) was utilized to extract topographic information, including elevation, slope, and aspect. This foundational dataset provided a critical framework for subsequent analyses.
- **Strategic Field Sampling Campaign:** A meticulously planned field sampling campaign was conducted to ensure representative coverage of the main geological units present within the study area. A rigorous protocol was followed during sample collection to maintain sample integrity and ensure data quality. Multiple samples were collected from each rock outcrop to account for lithological variability. The samples were then sealed in airtight bags to preserve their integrity until laboratory analysis. This careful approach to sample acquisition and handling aimed to minimize potential biases and maximize the reliability of the resulting data.
- **Laboratory Geotechnical Analyses (Characterization of Material Properties):** A comprehensive suite of laboratory geotechnical tests was performed to determine the physical and mechanical properties of the various rock types. Tests were conducted in accordance with current European

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.11

(AFNOR) and Moroccan standards, ensuring comparability and reproducibility of results. The primary tests included:

- **Los Angeles Abrasion Test:** To assess aggregate resistance to fragmentation and abrasion.
- **Micro-Deval Test:** To measure aggregate resistance to wear under the combined action of water and abrasion.
- **Bulk Density Determination:** To calculate the mass per unit volume of the rocks.
- **Porosity Determination:** To evaluate the volume of voids within the rock.
- **Water Absorption Coefficient Determination:** To quantify the rock›s capacity to absorb water. These tests provide essential data for characterizing the suitability of the materials for various engineering applications.

- **Integration and Spatial Analysis within a GIS (QGIS):** All collected and generated data (cartographic data, geotechnical analysis results, topographic information) were integrated into a Geographic Information System (QGIS), a powerful and flexible open-source software platform. This platform facilitated:

  - Efficient data structuring, organization, and management.
  - Visualization of data through thematic maps.
  - Execution of complex spatial analyses (overlaying information layers, area calculations, proximity analyses).
  - Classification of zones according to their exploitation potential, combining geological and geotechnical data.
  - Production of clear and informative summary maps to aid decision-making. The use of QGIS provided a robust framework for spatial data management and analysis, ultimately contributing to a more comprehensive understanding of the geotechnical potential within the study area.

RESULTS

Analysis of the geotechnical testing data enabled characterization of the primary rock types present within the study area:

- **Carbonate Rocks (limestones and dolomites):** These are characterized by a relatively high density (ranging from 2.6 to 2.74 t/m^3), low porosity, and low water absorption. Their resistance to wear (measured by the Micro-Deval test) and fragmentation (Los Angeles abrasion test) varies, but generally falls between 15% and 35%. These rocks are primarily utilized as aggregates in road construction and concrete production. The variability in their resistance properties, however, necessitates careful selection based on the specific intended application.
- **Igneous Rocks (granites, basalts, diorites and granodiorites):** These rocks exhibit higher densities (greater than 2.6 t/m^3), very low porosity and water absorption, and generally high resistance to wear and fragmentation. This robust geomechanical profile makes them highly sought after for manufacturing paving stones, kerbstones, facade cladding, and other applications demanding high durability. The specific mineralogical composition within this group influences the final engineering performance and should be considered during material selection.
- **Detrital and Volcaniclastic Rocks (sandstones, conglomerates, breccias and tuffs):** This lithological group displays variable density (typically between 2.5 and 2.7 t/m^3), higher porosity and water absorption compared to igneous and carbonate rocks, and generally lower mechanical strength. Their geotechnical properties often dictate their use as fill materials, in foundation construction, and

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.11

as sub-base layers in road construction. Further investigation into the cementation and grain size distribution is crucial for optimizing their utilization in specific engineering contexts.

Spatial analysis of the compiled data facilitated the production of a geotechnical potential map for the study area, delineating five potential classes: high, medium, low, very low, and null. The spatial distribution reveals the following:

- **High potential zones:** These are primarily concentrated around the Ifni inlier, where the most resistant igneous rocks outcrop. This geological context offers significant opportunities for quarrying and the extraction of high-quality construction materials.
- **Medium and low potential zones:** These correspond to areas dominated by carbonate and detrital rocks, where resistance properties exhibit greater variability. Project development in these areas requires a more detailed site-specific geotechnical investigation to assess suitability for various engineering applications.
- **Very low and null potential zones:** These are predominantly located in alluvial plains, where unconsolidated materials and soils prevail. These areas present significant geotechnical challenges for construction and require specialized engineering solutions.

Quantitatively, this study demonstrates that approximately 72% of the study area possesses an exploitable potential ranging from low to high. This finding underscores the significant resource potential within the region, but emphasizes the need for careful planning and management to ensure sustainable development and minimize environmental impact.

DISCUSSION

The results obtained in this study are generally consistent with data reported in the scientific literature, supporting the reliability of the employed methodology. However, some variations were observed in the values obtained for impact and wear resistance. These discrepancies likely stem from the inherent variability in rock properties, the nuances of experimental methods, and the influence of weathering parameters, particularly fracturing, which can affect rock strength unevenly within a given formation. Further investigation into the microstructural characteristics of the rocks could provide additional insights into these observed variations.

The adopted geomatics approach offers a powerful tool for identifying, characterizing, and quantifying resources. Moreover, integrating a digital elevation model would introduce another valuable layer of analysis, enabling a more refined assessment by considering factors such as the complexity of exploitation. This would be particularly relevant for evaluating the feasibility and cost-effectiveness of potential quarry sites in challenging terrain.

Spatial analysis within a GIS framework also presents significant potential for scenario simulation, incorporating various environmental factors such as transportation and the presence of sensitive habitats. Such simulations could inform decision-making processes by evaluating the potential impacts of different exploitation strategies and identifying optimal solutions that balance economic development with environmental protection.

This integrated approach to geo-resource management not only allows for the identification of suitable locations for quarry development but also facilitates the optimization of operational costs. By combining geological, geotechnical, and topographic data within a GIS, a comprehensive understanding of the resource potential and associated challenges can be achieved, promoting sustainable and responsible resource utilization.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.11

CONCLUSIONS

This study successfully demonstrated the effectiveness of a multidisciplinary approach, integrating geotechnical expertise with the capabilities of GIS, for the sustainable management of quarry resources. The results provide a solid foundation for strategic planning of mineral resource exploitation in the Lakhssas Plateau and Ifni Massif.

The generated geotechnical potential maps constitute a valuable tool to guide the decisions of public authorities and industry stakeholders towards rational and responsible resource utilization. By targeting high-potential zones and considering environmental constraints, the negative impacts of extractive activities can be minimized while maximizing economic benefits. This balanced approach is essential for ensuring long-term sustainability.

However, it is important to acknowledge that this study represents a preliminary stage and warrants further investigation and refinement. Specifically, the following recommendations are proposed:

- Increase the density of the sampling network: This will refine the characterization of rock properties and reduce uncertainties associated with data interpolation, leading to a more accurate assessment of the resource potential.
- Conduct petrographic and geochemical analyses: These analyses will provide a deeper understanding of the rock formation processes and their inherent properties, informing more effective material selection and utilization.
- Perform more sophisticated mechanical tests (triaxial tests, creep tests, etc.): These advanced tests will enhance understanding of rock behavior under stress, crucial for designing safe and stable quarry operations.
- Implement an environmental monitoring system: This system will track the impacts of extractive activities, enabling adaptive management strategies and mitigating potential environmental damage.
- Expand the study to a larger scale: Including pedological and hydrological studies within the area will provide a more holistic understanding of the potential impacts of new quarry development, allowing for more informed and sustainable land-use planning.

Furthermore, these recommendations should be incorporated into future reforestation planning maps, ensuring that resource extraction and ecological restoration efforts are harmonized. This integrated approach is vital for minimizing environmental disruption and promoting sustainable land management practices.

Ultimately, this work contributes to a sustainable development framework, promoting more responsible geo-resource management practices in the Lakhssas Plateau and Ifni Massif. By integrating scientific rigor with practical considerations, this study provides a valuable contribution to the ongoing efforts towards achieving a balance between economic development and environmental stewardship.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.11

Revista de Estudios Andaluces (REA) | Núm. 50, julio (2025) | e-ISSN: 2340-2776
https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50 | © Editorial Universidad de Sevilla 2025
https://editorial.us.es/es/revistas/revista-de-estudios-andaluces
https://revistascientificas.us.es/index.php/REA
CC BY-NC-SA 4.0.

SUMMARY OF ARTICLE: HTTPS://DX.DOI.ORG/10.12795/REA.2025.I50.12

Impact of human activities on soil degradation and sustainability of oasis ecosystems in the Middle Draa (Morocco)

Mahjoub Benbih
benbihelmahjoub@gmail.com 0009-0008-5759-8097
Equipe de recherche Géographique, Aménagement, Démographie et Développement (GEAMDD), Département de Géographie, FLSH Agadir, Université Ibn Zohr, Cité Dakhla. BP 29/8, Agadir, Maroc.

Abderrahmane Ouammou
a.ouammou@uiz.ac.ma 0009-0000-3579-1947

M'hamed Nmiss
mhamed.nmiss@usmba.ac.ma 0009-0001-4107-3690
Equipe de recherche Milieux naturels, Aménagement et Dynamiques Socio-Spatiales (MNADSS). FLSH Fès-Sais, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah-Fès. BP 59, Route Immouzer, 30000 Fès, Maroc.

Abdourrahmane Boukdoun
abdourrahman.boukdoun@edu.uiz.ac.ma 0009-0000-2703-1622

Hassan Nait-Si
hassan.nait-si@edu.uiz.ac.ma 0000-0003-3299-5447
Equipe de recherche Géographique, Aménagement, Démographie et Développement (GEAMDD), Département de Géographie, FLSH Agadir, Université Ibn Zohr, Cité Dakhla, BP 29/8, Agadir, Maroc.

KEYWORDS

Oasis
Middle Draa Valley
Soil degradation
Salinity
Anthropogenic action

INTRODUCTION

Soil degradation represents a major environmental challenge on a global scale, threatening the biological productivity of soils and, consequently, food security. The worsening of this phenomenon over the past six decades is attributed to a combination of factors, including population growth, unsustainable natural resource exploitation, and the increasing frequency and intensity of climatic hazards. In this context, the vulnerability of agricultural soils is particularly concerning in arid and semi-arid regions, where water resources are scarce and ecosystems are especially fragile. This vulnerability is especially pronounced in Morocco's oases, which host a significant portion of the population whose livelihoods are closely tied to the availability of water for agriculture.

The oases of the Middle Draa Valley, located in southeastern Morocco, are complex, dynamic, and intrinsically fragile ecosystems. Understanding their functioning is essential for contributing effectively to sustainable management. The six principal oases of the Middle Draa are of vital importance, being rich in biodiversity, culture, history, heritage, traditional knowledge, and agricultural practices. They have also been recognized as UNESCO biosphere reserves. Despite their ecological and socio-economic significance, they face growing challenges related to soil degradation, threatening their long-term sustainability.

DOI: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.12
Formato de cita / Citation: Benbih, M., Ouammou, A., Nmiss, M., Boukdoun, A., & Nait-Si, H. (2025). Impact of human activities on soil degradation and sustainability of oasis ecosystems in the Middle Draa (Morocco). *Revista de Estudios Andaluces* (50), 266-285. https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.12
Correspondencia autores: benbihelmahjoub@gmail.com (Mahjoub Benbih)

The Middle Draa region is characterized by a complex geology, the result of a long tectonic and sedimentary history. It comprises geological formations ranging from the Precambrian to the Quaternary, reflecting considerable lithological diversity. Structurally, the region belongs to the Anti-Atlas domain, which extends southward into the Bani chain. The climate is marked by extreme aridity and significant spatio-temporal variability in precipitation, with annual rainfall ranging from 20 mm in the downstream areas to 220 mm in the upstream parts of the basin. This irregular rainfall regime, combined with fragile soils and increasing anthropogenic pressure, exacerbates soil degradation processes.

This study aims to analyze the impacts of human activities on soil degradation and the vulnerability of oasis systems in the Middle Draa. Three main objectives were established. The first is to examine the region's demographic dynamics and their implications in the context of increasing pressure on limited natural resources. The second focuses on assessing soil conditions through a physico-chemical analysis conducted along an upstream-downstream gradient of the oases. The third objective is to evaluate the impact of intensified agricultural practices and the unregulated development of quarries on the local environment.

METHODOLOGY

This study combines various methods to assess the anthropogenic impacts on soil degradation and the sustainability of oasis ecosystems in the Middle Draa.

- **Characterization of soil degradation**
  Soil degradation was evaluated using a methodology that combines field sampling, laboratory analyses, and cartographic work. These analyses, conducted at the INRA laboratories in Agadir, enabled the determination of key parameters such as soil salinity, organic matter content, and pH levels.
- **Analysis of Demographic Evolution**
  To assess the impact of demographic growth on the sustainability of oases, an analysis combining demographic data (Zagora province, censuses from 1994, 2004, and 2014) and field interviews was carried out in the douars of Amezrou and Tinfou.
- **Mapping of Agricultural Land and Date Palms**
  A cartographic approach was implemented to analyze the spatio-temporal evolution of the studied phenomena. This analysis relied on the use of topographic maps and images provided by Google Earth Pro to characterize the evolution of agricultural land areas and date palm density.

RESULTS

The results of this study will be presented along three main axes: the analysis of demographic pressure on limited resources, the assessment of the impacts of human activities on soil degradation, and the examination of the influence of these activities on the sustainability of oasis ecosystems.

- **Impacts of population growth on environmental carrying capacity**
  The study of demographic characteristics in the Middle Draa region reveals significant population growth. This dynamic is seen as a reflection of the economic and social transformations affecting the area. Demographic trends are marked by continuous, though moderate, growth. The population increased from 255,805 in 1994 to 283,336 in 2004, representing an annual growth rate of 1.03%, and then to 307,306 in 2014, with an annual growth rate of 0.81% (Table 3). The overall growth rate for the period 1994–2014 stands at 0.88%, a level below the national average (1.31%).
  Thus, the analysis of demographic growth rates in the Middle Draa between 1994 and 2014 reveals significant spatial heterogeneity. Some areas experienced high growth (Agdz, Zagora), others

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.12

moderate growth (Tamegroute and Ternata), while some recorded low growth (Aflandra and Tassifte), and others experienced demographic decline (Ktaoua, M'Hamid El Ghizlane, Blaidia, and Aït Boudad.

- **Anthropogenic Impacts on Soil Degradation**

  Salinity analyses have revealed a variability in values ranging from 0.299 to 5.11 mS/cm, with an average of 1.57 mS/cm. This high level of salinity indicates soil degradation, primarily attributed to prolonged drought episodes and the widespread use of flood irrigation, which promotes evaporation and salt accumulation. As a result, the use of organic amendments emerges as an essential strategy to enhance soil fertility and mitigate the effects of salinization.

  In parallel with increasing salinity, a rise in pH levels is also observed along the upstream-downstream gradient of the Middle Draa. The pH values recorded in the oases of Tinzouline (7.75–7.57), Ternata (7.45–7.35), and Fezouata (7.69–8.02) indicate neutral to slightly alkaline soil conditions. The analysis also highlights spatial heterogeneity in organic matter content, with significant variations between the oases of Tinzouline (1.538%–1.812%), Ternata (0.609%–1.078%), and Fezouata (0.917%–1.607%). Nevertheless, these values allow for the general classification of Middle Draa soils as low to very low in organic matter content.

- **Anthropogenic Impacts on the Sustainability of the Oasian Ecosystem**

  Demographic growth exerts increasing pressure on oasis agriculture, leading to an intensification of agricultural practices that threatens the sustainability of these fragile ecosystems. The oases of the Middle Draa are characterized by a typical date palm landscape, locally known as jnane. From an economic perspective, these landscapes play a central role in the development of oasian communities. Currently, oasis landscapes are undergoing major transformations aimed at increasing and diversifying agricultural production to meet market demands. This shift—from subsistence agriculture to commercial farming—jeopardizes the balance of this key sector and threatens the sustainability of natural resources, notably through exacerbated water stress, soil salinization, and the spread of vascular fusariosis (Bayoud disease).

  The evolution of oasis agriculture is reflected in various processes, including the mechanization of production, optimization of water extraction techniques using modern motor pumps, integration of renewable energy sources (notably solar energy) to reduce operational costs, introduction of new crops such as watermelon, modification of the organoleptic qualities of products, increased yields, development of supply chains and agricultural technologies, and the construction of water accumulation basins.

  Diachronic cartographic analysis of selected agricultural areas in the Middle Draa oases reveals significant changes in the utilized agricultural area and the number of irrigated fields. Furthermore, the condition of date palms shows contrasting trends depending on the area. The Béni Ali sector has experienced marked degradation, with a decrease in the number of palm trees largely due to their use in construction and timber production. In contrast, the Tamegrout sector has seen an increase in palm tree numbers, particularly in the northwest and east-west zones, thanks to an afforestation and dune stabilization program implemented by the water and forestry services since 1979.

  These findings highlight the urgent need to adopt an integrated and sustainable management approach to ensure the long-term preservation of this vital resource

- **Uncontrolled expansion of quarrying activities and their environmental impacts**

  The Middle Draa region is characterized by the presence of numerous informal sand extraction sites, alongside a few officially authorized quarries. The exploitation of these sites often exceeds the regenerative capacity of alluvial aquifers, leading to several environmental impacts: disruption of the sediment balance, landscape degradation — particularly near tourist areas such as Zagora (compromising the visual quality of the landscape) — and disturbance of the river's hydrological regime due to the reduction in sand volume within the fluvial terraces of the watercourse.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.12

CONCLUSION

The combined approach—integrating census data analysis (1994–2014), pedological analyses (salinity, pH, organic matter), and the evaluation of agricultural practices—offers new perspectives for assessing the impact of human activities on the oasis environment of the Middle Draa Valley. The findings reveal a population increase in the region, albeit at a rate below the national average, highlighting the socio-economic vulnerability of the area. Population distribution is heterogeneous, with concentrations along the Draa River, strongly influenced by geomorphological factors such as topography and elevation. Demographic growth has led to the expansion of settlements, which encroach upon agricultural lands and adjacent mountain slopes, thereby increasing environmental pressure.

Soil assessments—focusing on salinity, pH, and organic matter content—indicate a predominant trend of soil degradation in the Middle Draa Valley. Salinity, in particular, exhibits significant variability and increases along the upstream-downstream gradient, driven by irrigation practices and intense evaporation. Low organic matter content and high pH levels further contribute to soil vulnerability. This degradation results directly from anthropogenic activities and transformations in agricultural production systems. The intensification of oasis agriculture, prompted by a shift from subsistence to market-oriented production, also poses a threat to ecosystem sustainability. Increased water extraction, the introduction of new crops, and mechanization lead to water deficits, soil salinization, and the spread of diseases (such as Bayoud) affecting date palms.

Although some reforestation programs have been implemented, the ongoing degradation of palm groves in certain areas underscores the need for a more integrated management approach. The shift from traditional (declining) systems to intensive modern systems intensifies pressure on natural resources. Moreover, the unregulated exploitation of informal sand quarries disrupts sediment balances, degrades the landscape, and alters the distribution of hydrological components. This contributes to groundwater pollution and the deterioration of riparian vegetation along the Draa River. In the face of these threats that undermine the functioning of the oasis ecosystem, an integrated and sustainable management strateg.

© Editorial Universidad de Sevilla 2025 | Sevilla, España| CC BY-NC-SA 4.0. | e-ISSN: 2340-2776 | doi: https://dx.doi.org/10.12795/rea.2025.i50.12



Revista de Estudios Andaluces