



Revista de Estudios Andaluces (REA)

e-ISSN: 2340-2776.

REA Vol. 34 (2017). <http://dx.doi.org/10.12795/rea.2017.i34>

Análisis de la Potencialidad de Ocurrencia de Vertederos Ilegales en la Isla de La Palma, España

Analysis of the Illegal Landfills Occurrence in La Palma Island, Spain

Lorenzo Carlos Quesada-Ruiz

*Universidad de Las Palmas de Gran Canarias
quesada.lorenzo@gmail.com*

Formato de cita / Citation: Quesada-Ruiz, Lorenzo Carlos (2017). Análisis de la Potencialidad de Ocurrencia de Vertederos Ilegales en la Isla de La Palma, España. *Revista de Estudios Andaluces*, vol.34 (1), 380-398. <http://dx.doi.org/10.12795/rea.2017.i34.13>

Enlace artículo / to link to this article: <http://dx.doi.org/10.12795/rea.2017.i34.13>



Esta obra se distribuye con la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional

<http://editorial.us.es/es/revista-de-estudios-andaluces>

<https://ojs.publius.us.es/ojs/index.php/REA>

Análisis de la Potencialidad de Ocurrencia de Vertederos Ilegales en la Isla de La Palma, España

Analysis of the Illegal Landfills Occurrence in La Palma Island, Spain

Lorenzo Carlos Quesada-Ruiz

Universidad de Las Palmas de Gran Canarias

quesada.lorenzo@gmail.com

Recibido: 25 de abril, 2017

Revisado: 26 de mayo, 2017

Aceptado: 29 de mayo, 2017

Resumen

La proliferación de vertederos ilegales (VI) tiene impactos negativos, especialmente en áreas ecológicamente sensibles o de gran atractivo turístico, como los territorios insulares. Este trabajo se centra en la caracterización de los vertederos ilegales localizados en la Isla de La Palma. Se identificaron 153 localizaciones de vertederos ilegales mediante trabajo de campo y la fotointerpretación de ortofotografías con resolución espacial de 0,5 m de los años 2012 y 2015. Esta información se incluyó en una base de datos geoespacial junto a distintas variables potencialmente explicativas de diferente tipología (150): tipo de residuo, control y vigilancia, socioeconómicas, de accesibilidad, distancia a elementos de interés, visibilidad y físicas. Con apoyo de la estadística exploratoria (AE) y técnicas de análisis multivariante: análisis factorial (AF) y análisis discriminante (AD), se analizó el grado de asociación entre las variables explicativas y la ocurrencia de VI. AF explicó una varianza acumulada del 82,34% considerando siete factores (Kaiser Mayer Olking: 0,71). AD mostró una correlación canónica del 0.854. AD consiguió distinguir entre zonas afectadas y no afectadas, usando variables como: densidad de población, distancia a superficies agrícolas, distancia a núcleos urbanos o la pendiente y el indicador de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). Asimismo, AF identificó estas mismas variables como variables controladoras de la ocurrencia de VI.

Palabras claves: vertedero ilegal, análisis factorial, análisis discriminante



Abstract

The proliferation of Illegal landfills (IL) has negative impacts on the environment and the economy, especially in both, ecological sensitive and touristic areas. This work focuses on the characterization of illegal landfills located in La Palma Island. 153 IL were obtained through field work and the visual interpretation of digital ortho-images at a spatial resolution 0.5 m for 2012 and 2015. This information was included within a geospatial database together with a set of 150 potential explanatory features of different typology: type of waste, surveillance and control, socioeconomics, accessibility, distance to elements of interest, visibility and terrain features. Multivariate analyses such as exploratory analysis (EA), factor analysis (FA) and discriminant analysis (DA) were applied to assess the degree of association between the explanatory features and the IL occurrence. AF explained a cumulative variance of 82.34% considering 7 factors (Kaiser-Meyer-Olkin test: 0.71). AD showed a canonical correlation of 0.78. AD led to discriminating between affected areas and non-affected areas using features such as: population density, slope, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) or distance to agricultural areas or distance to urban centers. Additionally, AF identified the former features as the main drivers of IV occurrence.

Keywords: Illegal landfill, factor analysis, discriminant analysis.



1. INTRODUCCIÓN

La directiva europea relativa a residuos (Directiva 2008/98/CE, 2008) define un vertedero como un emplazamiento de eliminación de residuos que se destina al depósito de residuos en superficie o subterráneo. Aunque la directiva anterior no define el vertedero ilegal (VI), la directiva sobre responsabilidad medioambiental en relación con la prevención y reparación de daños medioambientales (Directiva 2004/35/CE, 2004) establece que se deben gestionar los residuos sin gestión, así como su recogida, su transporte, su recuperación y su eliminación. Además, exige medidas para prevenir y evaluar los daños medioambientales a fin de planificar su reparación. Por otra parte, el conjunto de las autonomías del Estado español considera vertederos ilegales a aquellas superficies que estando afectadas por depósitos de residuos, sin ningún tipo de gestión ni control, por tiempo superior a dos años superen los 2.000 m². Así, este trabajo se centra exclusivamente en VI de estas características.

La problemática de la aparición de los vertederos ilegales ha sido abordada principalmente desde territorios continentales como: Alemania, Austria (Allgair y Stegman, 2006), Eslovenia (Matos y Kranjc, 2012), España (Jordá-borrell et al., 2014), Francia (Biotto et al., 2009), Grecia (Alexakis y Sarris, 2013), Inglaterra (Liu et al., 2017), Italia (Silvestri y Omri, 2008), Irlanda (Doak et al., 2007), Malasia (Matsumoto y Takeuchi, 2011), Rumania (Apostol y Mihai, 2011), Serbia (Vasiljevic et al., 2012), descuidando el ámbito insular. La Palma con 81.486 habitantes es la cuarta isla más poblada de la Región Ultra-Periférica de las Islas Canarias (INE). A diferencia de otras islas como Gran Canaria y Tenerife, La Palma ha preservado su entorno y dirigido la economía insular principalmente al turismo de naturaleza. Durante el año 2016 recibió a 167.838 visitantes extranjeros (<http://estadisticas.tourspain.es>), consolidándose de esta forma como uno de los destinos turísticos más importantes a nivel nacional e internacional.

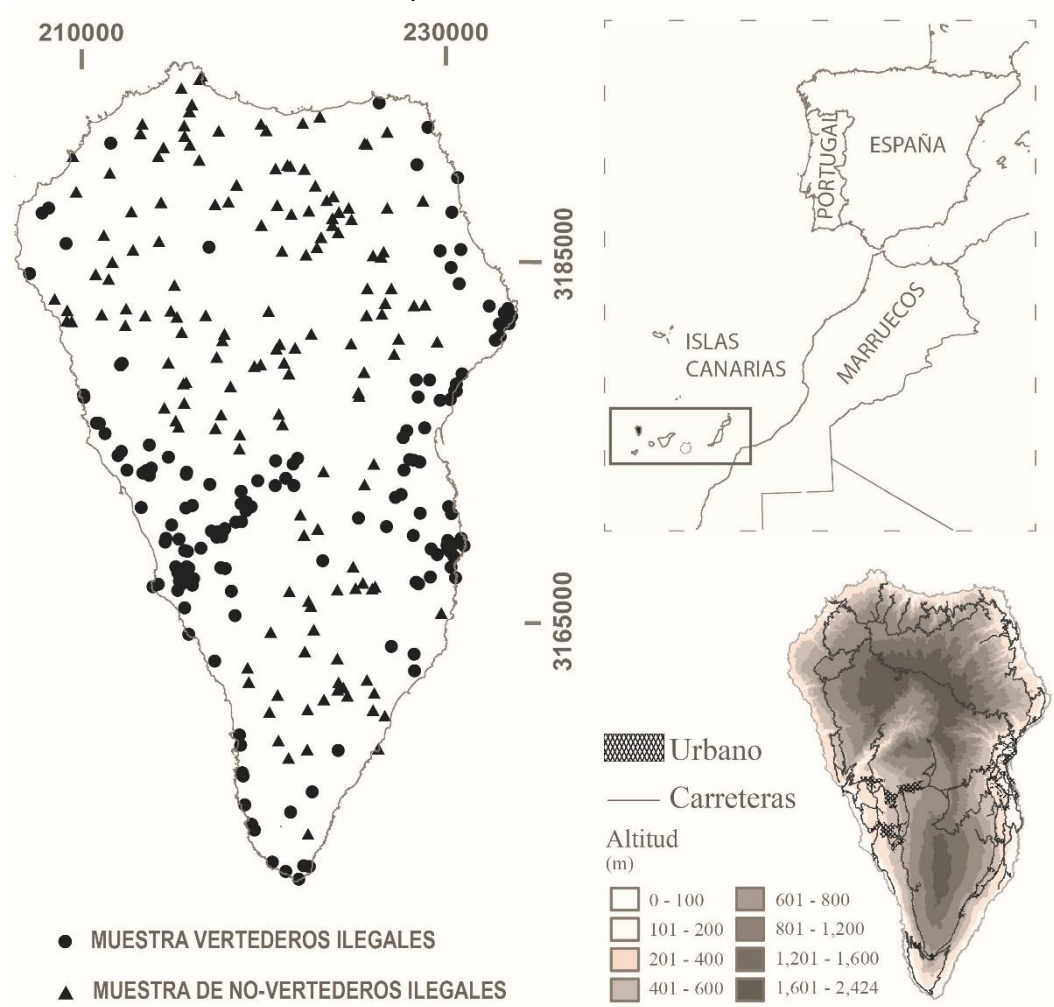
El incremento de la generación de basura suele estar asociado con el crecimiento económico, alta industrialización, el crecimiento demográfico y mejoras en el nivel de vida (Kothari et al., 2014). En los territorios insulares se acrecienta esta problemática dado el desafío que supone la gestión de residuos ante la falta de centros de tratamiento (Mohee et al., 2015) sumado a la baja accesibilidad a los centros de tratamientos (Renou et al., 2008) y a la carestía y los límites que exige la administración para el depósito legal de residuos (Liu et al., 2017). De otra forma, los vertederos ilegales aparecen cuando ello corresponde más beneficios que costos a la población (Webb et al., 2006). Así, la generación de vertederos es el último eslabón en la escala jerárquica de la gestión de residuos (Smith et al., 2001). Por otra parte, los VI causan diferentes tipos de problemas: deterioran los paisajes locales, incrementan el riesgo para la salud por la posible contaminación de acuíferos y generaran más gastos a los gobiernos locales para la reparación y limpieza de las zonas afectadas por los VI (Matsumoto y Takeuchi, 2011).

Esta investigación se centra en la caracterización de los factores que tienen influencia en la localización de los VI en la isla de La Palma (Mapa 1.) y en la predicción de áreas



potenciales en la misma. De esta forma, será posible mejorar la aplicación de políticas de prevención y recuperación de daños por parte de los agentes medioambientales.

Mapa 1. Área de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

2. METODOLOGÍA

2.1. TRABAJO DE CAMPO

La localización de VI se realizó en tres etapas: i) identificación de VI potenciales mediante fotointerpretación de ortofotografías con resolución espacial de 0,5 m de los años 2012 y 2015; ii) inspección sobre el terreno de 215 localizaciones potenciales; iii) filtrado de VI ilegales de depósitos de antigüedad menor a 3 años, obteniéndose 153 localizaciones

Revista de Estudios Andaluces, vol. 34, núm. 1 (2017) pp.380-398. e-ISSN: 2340-2776

<http://dx.doi.org/10.12795/rea.2017.i34.13>



Esta obra se distribuye con la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional

de VI. A cada localización de VI se le incorporó información referida al tipo de residuo, grado de accesibilidad, vallado, control de acceso, existencia de medidas disuasorias. Para aplicar el análisis discriminante y con el fin de distinguir las zonas de ocurrencia positiva y de ocurrencia negativa de VI, la muestra se complementó con la inclusión de localizaciones no afectadas por la existencia de VI siguiendo la metodología descrita por (Carranza et al., 2008). Para ello se aplicó un muestreo cumpliendo las siguientes condiciones: i) aleatoriedad de las localizaciones a partir de un análisis de patrones por puntos (Diggle, 1983; Boots y Getis, 1988), ii) disimilitud en la información multivariante con las localizaciones de VI iii) distancias superiores a 1594 m a localizaciones de VI en base al análisis de distancias más cercanas entre los VI, iv) igual número de zonas de ocurrencia negativa que positiva (e.g., Breslow y Cain, 1988; Schill et al., 1993). Las zonas de ocurrencia positiva y negativa fueron codificadas como 1s y 0s, respectivamente, resultando un total de 302 casos.

2.2. EXTRACCIÓN DE VARIABLES

A semejanza de otros trabajos (Biotto et al., 2009.; Silvestri y Omri, 2016; Alexakis y Sarris, 2013; Tasaki et al., 2006; Tasaki, 2004; Doak et al., 2017) se ha partido de una serie de variables espacializadas de diferente tipología: variables socioeconómicas como la renta per-capita, población, indicadores económicos, industriales y de la actividad turística; de gestión como tipo de residuo, grado de acceso, accesibilidad, seguridad y control; y por último las características del terreno como la elevación y la pendiente. A partir de este conjunto inicial de variables se obtuvo un subconjunto de variables derivadas mediante la aplicación de diferentes procedimientos de análisis SIG (Demesouka et al., 2014; Kontos et al., 2005; Şener et al., 2010; Şener y Karag, 2011; Uyan, 2014; Akbari y Rajabi, 2017). Así se obtuvieron nuevas variables (Tabla 1.) a partir de: la interpolación de la información socioeconómica desagregada por núcleos de población al resto del territorio, la aplicación de criterios de distancia euclidiana (DE) entre la localización de los VI y las variables de interés (Tasaki et al., 2006, Biotto et al., 2009, Jordá-Borrell et al., 2014), el cálculo de densidades de elementos de interés mediante la aplicación de funciones kernel (Silverman, 1986) y otras funciones de búsqueda basadas en distancia a un determinado radio (250 m, 500 m, 1500 m) y la extracción de variables relacionadas con la ocupación del suelo considerando tanto el cálculo de densidades como la distancia a un determinado uso del suelo. Por último, se obtuvieron, de la imagen SPOT-5 del 31 de agosto de 2014 del Plan Nacional de Teledetección (PNT), parámetros biofísicos (Silvestri y Omri, 2008) como el Indicador de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).

Cada variable fue estandarizada, rasterizada y remuestreada bajo una resolución espacial de 10 m. Los valores de todas las variables mencionadas anteriormente fueron extraídos para las localizaciones de ocurrencia positiva y negativa de VI.



Tabla 1. Conjunto de variables utilizadas.

NOMBRE CORTO	NOMBRE LARGO	UNIDAD DE MEDIDA	NOMBRE CORTO	NOMBRE LARGO	UNIDAD DE MEDIDA
C_TIPO	Tipo de parcela catastral		E_INAR	DE a áreas industriales	m
D_CCTO	Densidad de cambio de usos del suelo (1990-2012)	Km ⁻²	E_MIAR	DE a zonas de extracción de áridos	m
D_EDID	Densidad de edificios	Km ⁻²	E_NURB	DE a núcleos urbanos	m
D_ELED	Densidad de elementos de interés	Km ⁻²	E_PZ35	DE a zonas de hundimiento (kernel de 35m)	m
D_VIAD	Densidad de vías de comunicación	Km ⁻²	E_SAEQ	DE a equipamientos sanitarios	m
E_ALTU	DE a alojamientos turísticos	m	E_SEND	DE a senderos	m
E_ARSC	DE a asentamientos rurales	m	E_SUAG	DE a superficies agrarias	m
E_AUNA	DE a aulas de la naturaleza	m	E_ZOVE	DE a zonas verdes	m
E_BARR	DE a barrancos	m	F_MDTG	Altitud	m
E_CARR	DE a carreteras	m	F_NDVI	Índice de vegetación de diferencia normalizada	
E_CEME	DE a cementerios	m	F_PEGR	Pendiente	°
E_COST	DE a la costa	m	H_DPPA	Densidad de población	Km ⁻²
E_CUEQ	DE a equipamientos culturales	m	H_IBI	Impuesto sobre bienes e inmuebles	€/m ²
E_DEPI	DE a infraestructuras deportivas	m	H_RPCD	Renta per capita	€/hab
E_EDEQ	DE a equipamientos educativos	m	I_ACEC	Indicador de actividad económica	%
E_ELEI	DE a elementos de interés	m	I_ETME	Indicador de actividades extractivas	%
E_ESPR	DE a áreas naturales protegidas	m	I_INDU	Indicador industrial	%
E_HOST	DE a hostales	m	I_TURI	Indicador turístico	%

Fuente: Elaboración propia.

2.3. ANÁLISIS EXPLORATORIO Y MULTIVARIANTE

Se aplicó un análisis exploratorio (AE) de los datos y se filtraron outliers de la muestra de los VI (J. Tukey, 1993). Las técnicas de análisis multivariante, análisis factorial (AF) y análisis discriminante (AD), fueron aplicadas en el entorno del software SPSS 24.0. El AF



se aplicó con el objetivo de determinar las relaciones entre las diferentes variables, el AD para predecir la potencialidad de ocurrencia de VI.

El análisis de componentes principales (ACP) se eligió como método de AF. El ACP se aplicó exclusivamente sobre los 1s. Las variables se agruparon en factores considerando autovalores superiores a 1. La normalidad multivariante de las variables y su interrelación se comprobaron mediante la medida de adecuación muestral de Kaiser-Mayer-Olkin (KMO: 0.715) y el test de esfericidad de Barlett respectivamente. Se respetó la relación de 10 casos por variable escogida para el ACP. Los factores se rotaron a partir del método quartimax. Se aseguró la presencia mínima de 2 variables por factor y correlaciones iguales o superiores a 0,40 para cada variable.

Para evaluar el potencial de ocurrencia de VI, se emplearon en el AD tanto 0s como 1s y se identificaron las variables que condicionan la aparición de los 1s frente a los 0s. El número de variables independientes necesarias para alcanzar la mejor discriminación entre zonas de ocurrencia positiva y negativa se determinó a partir del método de inclusión por pasos hacia adelante. Los coeficientes estandarizados junto con los centroides de la función discriminante (0s:1.634; 1s:-1.634) fueron usados para determinar la magnitud y el signo de las relaciones entre las variables y la ocurrencia de VI. La función discriminante canónica se construyó como combinación lineal de las variables independientes escogidas para distinguir ambos grupos:

$$D = c + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + \dots + b_n * x_n$$

Donde, D es la puntuación discriminante, c es una constante, b es el coeficiente de la función discriminante canónica y x la variable independiente.

La idoneidad del AD se evaluó en base al autovalor (2,694) y a la correlación canónica (0,854). Por otra parte, se analizó la significación (0,00) y el estadístico Lambda de Wilks (0,271).

La función discriminante fue aplicada a cada una de las variables seleccionadas en un entorno SIG para obtener la cartografía de la potencialidad a la ocurrencia de VI.

3. RESULTADOS

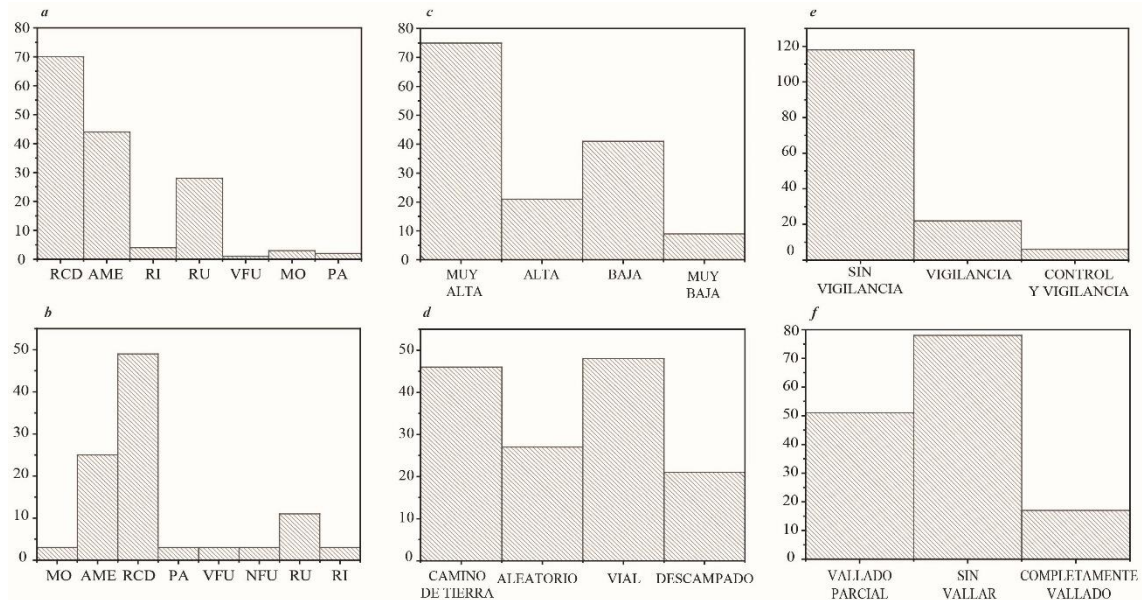
3.1. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

Un 43.13% de los casos de VI localizados en la isla de La Palma son depósitos de residuos de construcción y demolición, seguidos de 43 localizaciones (28.10%) con residuos derivados de las actividades mineras u extractivas, principalmente roturaciones de terrenos. 27 localizaciones (17.68%) estuvieron fundamentalmente ligadas a residuos urbanos (a) (Figura 1. a). Los VI de tipología industrial (4), de materia orgánica (3) y de plásticos agrícolas (2) son escasos. Los residuos secundarios (Figura 1. b) que



contuvieron principalmente los VI fueron RCD (32.02%), movimientos de tierra (26,24%) y residuos urbanos (16,33%).

Figura 1. Estadística descriptiva.



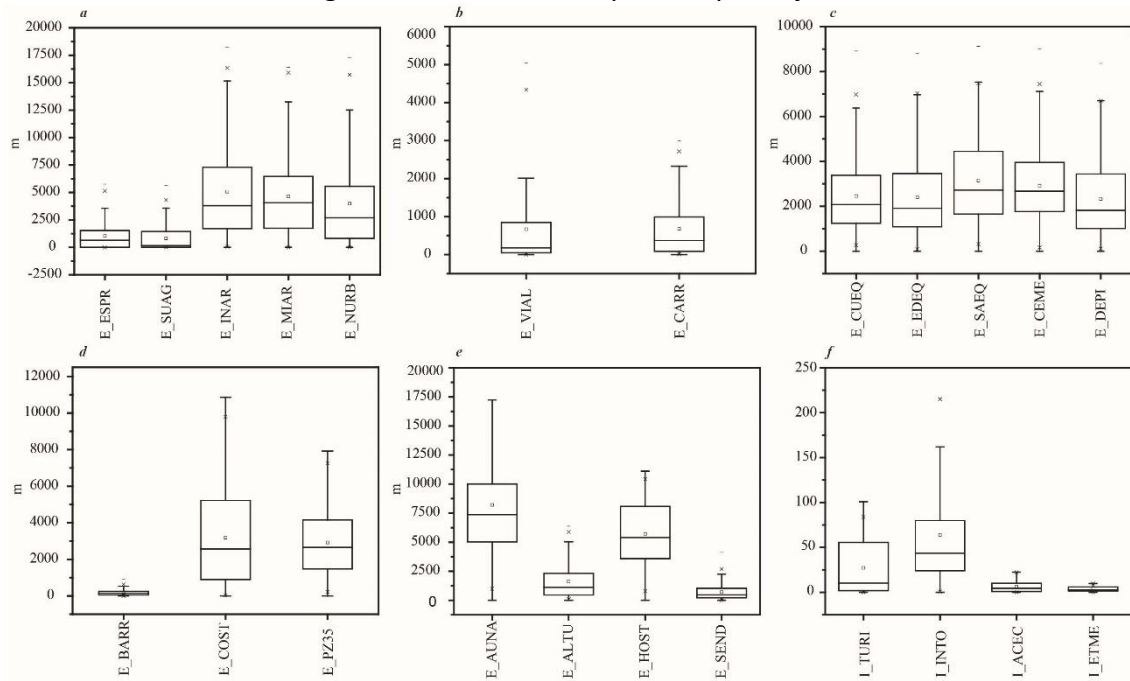
a) Residuos principales: Residuos de construcción y demolición (RCD); Actividades mineras y extractivas (AME); Residuos industriales (RI); Residuos urbanos (RU); Vehículos fuera de uso (VFU); Materia orgánica (MO); Plásticos agrícolas (PA). b) Residuos secundarios c) Grado de accesibilidad d) Tipo de vía de acceso e) Control y vigilancia f) Vallado
Fuente: Elaboración propia.

Durante el trabajo de campo se observó que los VI-localizados presentaban un grado de accesibilidad (Figura 1. c) muy alta (51.65%), alta (17,38%), baja (29,80%) y muy baja (1.47%). El acceso (Figura 1. d) a los mismos se hizo a partir de viales (32,91%), caminos de tierras (32.06%), aleatoriamente (19,65%) y a través de descampados (16,38%). En otro lugar se observó en las parcelas donde se ubican los VI: ningún tipo de vallado (57,09%), vallado parcial (32.88%) y vallado completo (10,03%) (Figura 1. f). El 79,57% de los VI no presentó ningún elemento de control y vigilancia en sus alrededores, mientras que un 16.38% presentaba algún tipo de vigilancia y un 2.05% tanto control como vigilancia (Figura 1. e).

El AE mostró que el 100% de los VI está a menos de 750 m de barrancos (Figura 2. d). El 75% se encuentra a una distancia inferior de 1000 m de zonas agrícolas de los VI (Figura 2. a); a 1500 m de espacios naturales protegidos (Figura 2. a); o a 1000 m de la red de senderos VI (Figura 2. e). El 50% de los VI se encuentran en un rango menor de 450 m de una carretera secundaria VI (Figura 2. b); o a 1000 m de un alojamiento turístico (Figura 2. e). El 25% de los VI se sitúa cercano a 900 m de un núcleo urbano (Figura 2. a); o a 850 m de la costa (Figura 2. d).



Figura 2. Gráficos de dispersión por cajas.



a) Distancia a usos del suelo b) Distancia a vías de comunicación c) Distancia a elementos de interés d) distancia a elementos del terreno e) distancia a infraestructuras turísticas f) Indicadores de actividad económica

Fuente: Elaboración propia.

3.2. ANÁLISIS FACTORIAL

El ACP explica un 82,34% de la varianza total de los datos (Tabla 2.). De los 7 factores obtenidos, los 3 primeros acumulan un 52.22% de la varianza de los datos. Así, el primer, segundo, y tercer factor explican el 28.36%, el 14,22% y el 10.64% de la varianza, respectivamente. A partir del cuarto factor la varianza explicada es menor, 9.77% (cuarto), 7.87% (quinto), 6.48% (sexto), 5.00%(séptimo).

El primer factor agrupa variables que mantienen relación con el poblamiento. Este muestra una relación positiva entre la densidad de construcciones, densidad de población, densidad de elementos de interés, densidad de vías de comunicación y el indicador industrial. Cada una de estas variables aumentaría su valor cuando aumenta el valor de una de ellas. Ello relaciona de forma directa el mayor poblamiento y dinamismo urbano y social con la ocurrencia de VI. El segundo factor agrupa variables relacionadas con la distancia a elementos de interés como: la red de senderos, elementos culturales relevantes y zonas verdes. Este segundo factor guarda una relación inversa con los vertederos ilegales de forma que aumentado la distancia a estos elementos podría disminuir la ocurrencia de VI. El tercer factor agrupa variables de carácter socioeconómicos como: indicador de actividad económica, renta per-cápita y actividad industrial extractiva. Esto vincula la ocurrencia de VI con la mayor actividad económica e industrial.



Tabla 2. Análisis factorial.

Factores (1 ^{er} nivel del ranking)	Eigenvalues iniciales	Peso %	Variables(2 nd nivel del ranking)	Peso (correlación)	Suma de factores rotados
				% Varianza	% Acumulado
Poblamiento	6.807	28.36	D_EDI	0.877	28.36
			H_DPPA	0.817	
			D_ELED	0.755	
			D_VIAD	0.633	
			I_INDU	0.619	
Distancia a elementos culturales y zonas verdes	3.412	14.22	R_SEND	0.933	42.58
			E_ELEI	0.926	
			E_ZOVE	0.691	
Socioeconómico	2.554	10.64	I_ACEC	0.921	53.22
			H_RPCD	0.843	
			I_ETME	0.794	
Distancia a elementos de interés	2.346	9.77	E_MIAR	0.881	62.99
			E_NURB	0.828	
			E_INAR	0.721	
			E_CARR	0.695	
Distancia a áreas rurales	1.889	7.87	E_SUAG	0.896	70.87
			E_ARSC	0.876	
			E_DEPI	0.788	
Distancia a la costa	1.556	6.48	E_COST	0.874	77.35
			F_MDTG	0.808	
			H_IBIR	-0.754	
Densidad de transiciones de cubiertas	1.199	5.00	D_CCTO	0.952	82.34
			E_ESPR	0.897	

Fuente: Elaboración propia.

El cuarto factor asocia variables relacionadas con la distancia a elementos de interés: zonas de extracción de áridos, núcleos urbanos, áreas industriales y distancia a carreteras. Ello relaciona la ocurrencia de VI con la proximidad a los elementos citados anteriormente. El quinto factor juntó igualmente variables de distancia a: zonas agrícolas, asentamientos rurales e infraestructuras deportivas. No obstante, se observa que son las dos primeras variables con mayor peso las que definen este factor. Esto relaciona la ocurrencia de VI con la cercanía a elementos de carácter eminente rural como son las zonas agrícolas y los asentamientos rurales.



Tabla 3. Modelo de análisis discriminante

	Coeficientes de la función discriminante canónica	Coeficientes estandarizados de la función discriminante canónica
D_VIAL	-0.030	-0.555
E_ZOVE	-0.027	-0.472
D_CCTO	-0.015	-0.294
E_SUAG	0.015	0.207
F_PEGR	0.015	0.214
F_NDVI	0.016	0.280
H_DPPA	0.049	0.282
E_NURB	0.033	0.474
E_ESPR	0.029	0.574
<i>Constante</i>	<i>-1.641</i>	

Fuente: Elaboración propia.

El sexto factor se compone por las variables: distancia a la costa, altitud y los impuestos sobre bienes inmuebles (IBI). Se presenta una relación inversa entre estas variables, de modo que puede interpretarse la menor distancia a la costa, la menor altitud y la mayor tasa de IBI con mayor ocurrencia de VI. No obstante, esta relación de las variables se explica por los mayores niveles impositivos en los espacios costeros.

Por último, el séptimo factor agrupa a las variables: densidad de cambios de usos entre 1990 y 2012 y la distancia a espacios naturales protegidos. Ambas guardan una relación directa con los VI de forma que el aumento de una de ellas supondría una mayor ocurrencia de VI.

3.3. ANÁLISIS DISCRIMINANTE

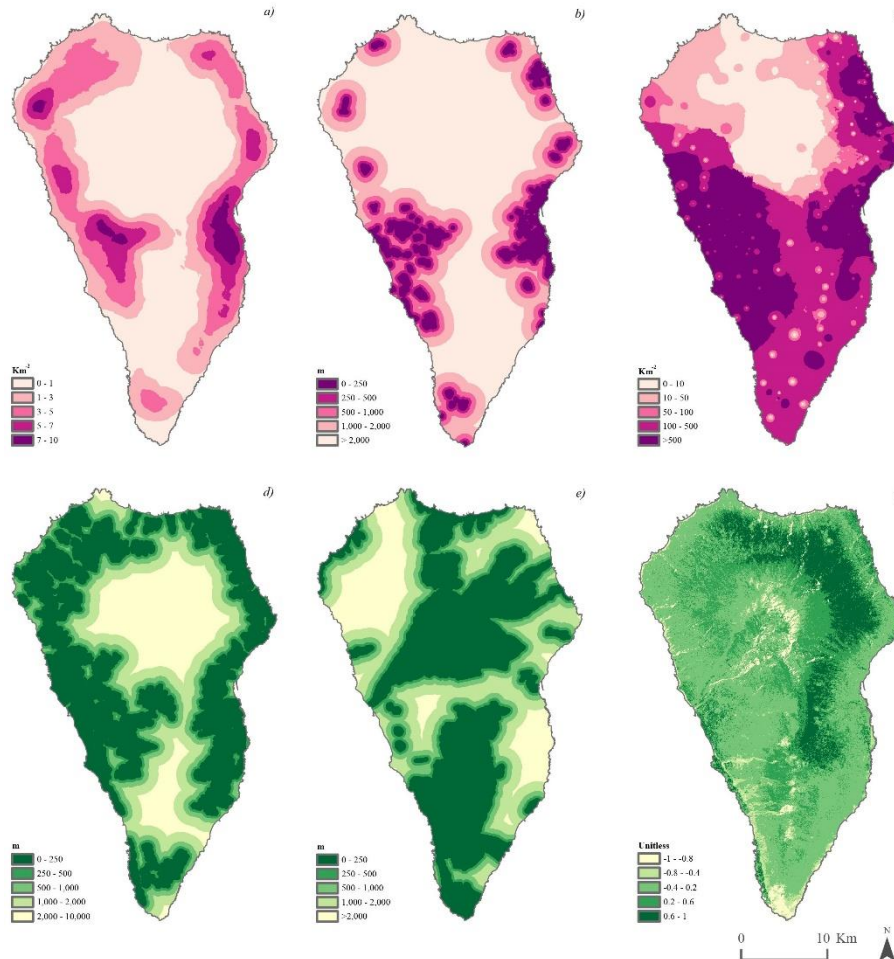
El 100% de la varianza de los datos fue explicado por 9 variables (Tabla 3.) seleccionadas de 22 de partida. Las variables que según los coeficientes estandarizados tuvieron una contribución más importante fueron: la distancia a núcleos de población, densidad de vías de comunicación, la distancia a zonas verdes y distancia a espacios naturales protegidos (Figura 3.).

Así pues, a mayor densidad de vías de comunicación, menor puntuación en la función discriminante y, en consecuencia, mayor tendencia a que un área del mapa sea predicha como de alto potencial de ocurrencia de VI según el valor de la puntuación discriminante canónica. La variable E_ZOVE presentó un coeficiente negativo. Si se atendiese a los centroides de grupo, para casos con iguales puntuaciones en las restantes variables, las áreas que obtuviesen menor valor en la variable E_ZOVE tendrían una puntuación mayor



en la función discriminante y serían predichas como 0s. Por contra, la variable E_SUAG mostró un coeficiente positivo. A razón de los centroides de grupo, supondría que para casos con iguales puntuaciones en las demás variables, las áreas que alcanzasen menor valor en la variable E_SUAG tendrían una puntuación menor en la función discriminante y serían predichas como 1s.

Figura 3. Principales variables seleccionadas en el modelo de Análisis Discriminantes.



a) Densidad de vías de comunicación b) Distancia a núcleos urbanos c) Densidad de población d) Distancia a superficies agrícolas e) Distancia a espacios naturales protegidos e) Indicador de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).

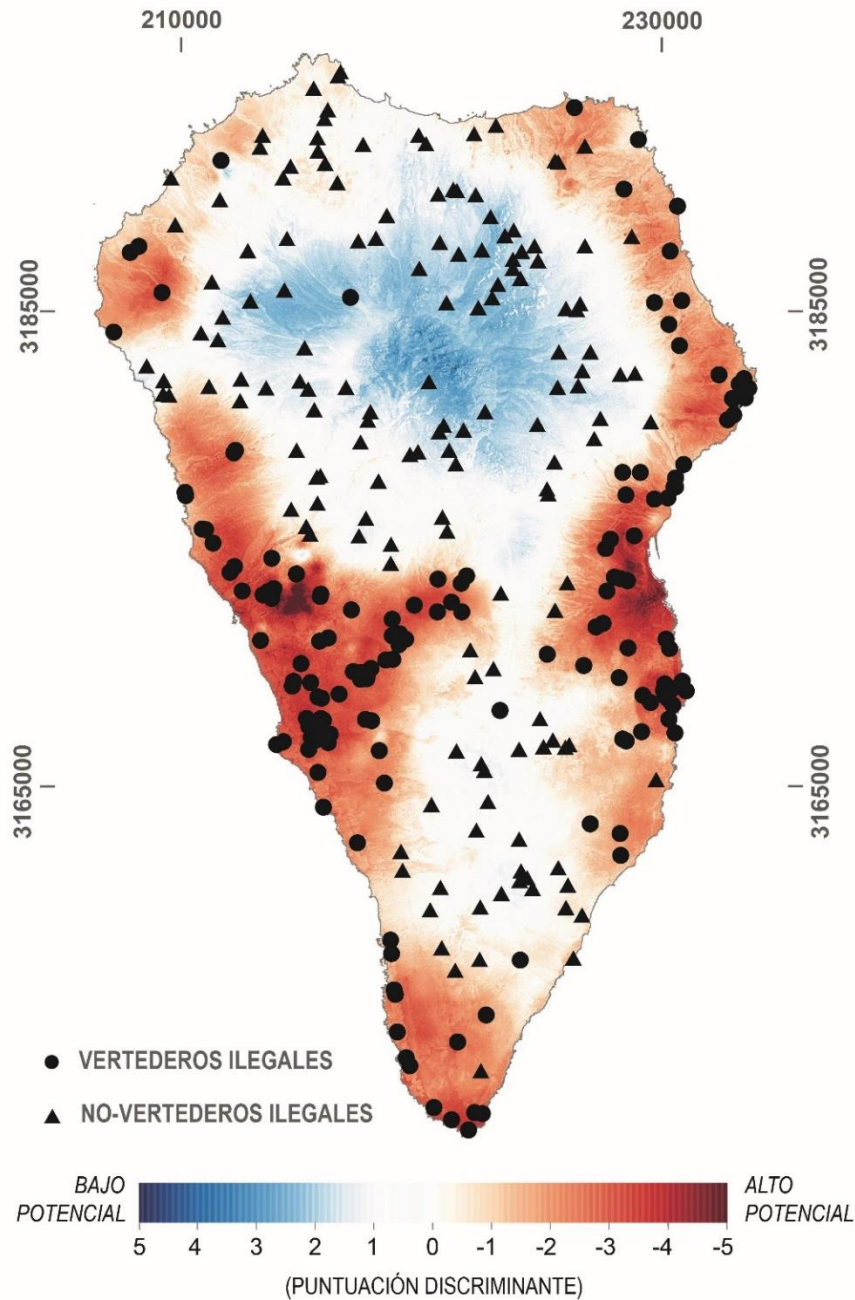
Fuente: Elaboración propia a partir de GRAFCAN, PNT, INE.

Los VI presentaron una menor distancia a zonas agrícolas y núcleos urbanos. A pesar de que la variable E_ESPR fue introducida dentro del modelo de análisis discriminante debe considerarse que no existe una relación causa-efecto con la ocurrencia de VI. Su inclusión se debe a las múltiples áreas y figuras de protección que envuelven casi la totalidad de la isla. No obstante, no ocurre lo mismo con la variable E_ZOVE. Así, el AD tuvo tendencia a predecir como ocurrencia de VI las áreas con menor vegetación



(F_NDVI) y con menor pendiente. Por otra parte, mayores densidades de cambios de usos del suelo y de vías de comunicación y menores valores de densidad de población supondrían mayor potencialidad de ocurrencia de VI. Cabe mencionar que las variables socioeconómicas como la renta per-capita no resultaron ser decisivas en el AD pudiendo deberse al nivel de agregación municipal de la estadística de renta. Como resultado de la aplicación de la función discriminante canónica el Mapa 2. muestra la cartografía de potencialidad de ocurrencia de VI.

Mapa 2. Potencialidad de ocurrencia de VI en la isla de La Palma.



Fuente: Elaboración propia.



4. DISCUSIÓN

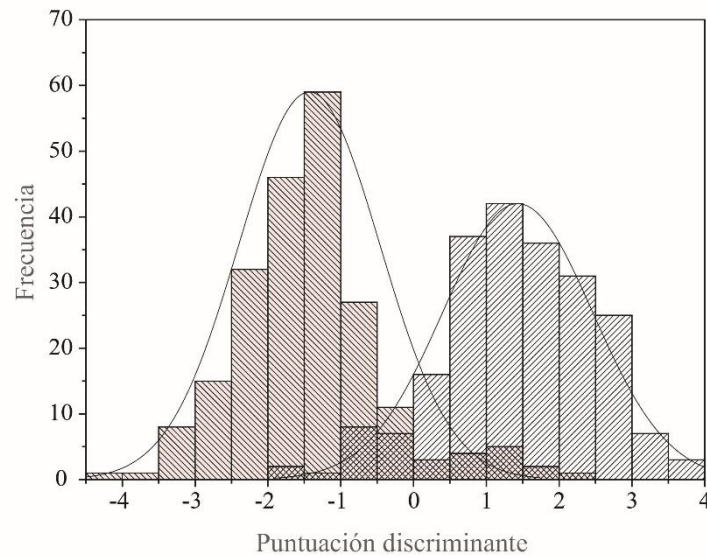
El análisis discriminante como técnica ampliamente utilizada en otros ámbitos de estudios no había sido aplicado en anteriores investigaciones de VI. Este trabajo se distinguió de los procesos frecuentemente utilizados para el análisis de VI, en la inclusión de una metodología de selección de Os, la cual es normalmente aplicada en minería (Carranza et al., 2008). La base de datos con carácter dicotómico de 1s y 0s admitió la zonificación de áreas potenciales de ocurrencia de VI a partir del modelo de análisis discriminante y la clasificación de casos a partir de las puntuaciones discriminantes (Figura 4). Asimismo, el análisis del comportamiento de las variables independientes mediante el método de inclusión por pasos desestimó 13 de las 22 variables utilizadas en el análisis discriminante. No obstante, ello ayudó a simplificar el modelo extrayendo exclusivamente las variables que representaran el 100% de la varianza de la muestra.

Como en los estudios de Tasaki (2006), Matos y Kranjc (2012) y Jordá-Borrell et al. (2012) el trabajo de campo fue fundamental ante la carencia de estadísticas oficiales y la falta de accesibilidad a un banco de imágenes satelitales que permitiesen la localización de VI a partir de teledetección (Biotto et al., 2009; Silvestri y Omri, 2016; Alexakis y Sarris, 2013). La labor de muestreo de localizaciones de VI sería mucho más fácil con la colaboración ciudadana y la centralización de la información por parte de la administración pública (Chang y Kelleher, 2008; Matos y Kranjc, 2012).

En contraste con otros análisis donde prevalece la cercanía a las vías de comunicación (Matos y Kranjc, 2008; Biotto, 2012; Jordá-Borrell et al., 2012), el ACP y el AD realizado para la isla de La Palma identificó el poblamiento y la distancia a elementos de interés como factores determinantes en la ocurrencia de los VI, así como el factor de densidad de cambios de usos y las variables físicas NDVI y pendiente. Sin embargo, los factores socioeconómicos no obtuvieron tanta importancia como en otros trabajos (Jordá-Borrell et al., 2014; Matsumoto y Takeuchi, 2011). Por otra parte, el análisis discriminante frente al ACP permitió obtener relaciones causales directas y cuantificar el grado de aportación de cada variable a partir de los coeficientes de la función discriminante canónica. A diferencia de la regresión logística (Lucendo-Monedero et al., 2015) el AD permitió distinguir entre dos clases de grupos (Figura 4.), cuantificar la relación real de las variables independientes con según qué casos (1s u 0s), no obviándose así la existencia de otro tipo de formas en el espacio y zonificando a su vez las zonas de baja potencialidad de ocurrencia de VI.



Figura 4. Puntuación discriminante de los casos (1s y 0s)



Fuente: Elaboración propia.

Para zonificar las áreas potenciales de ocurrencia de VI en zonas de ocurrencia positiva y zonas de ocurrencia negativa sería conveniente la realización de una validación cruzada y análisis de ROC a fin de cuantificar el grado de exactitud de la cartografía aportada (Mapa 2.). Además, resulta pertinente generar nuevos modelos probabilísticos a partir de regresión logística y aprendizaje de máquinas para realizar una comparación entre los modelos.

Este trabajo pretende a su vez ser un prólogo de otros futuros donde se analice la relación entre la generación de residuos de construcción y demolición con el boom urbanístico acaecido en la primera década del s. XXI. Se continuará además en la valoración del papel que juegan las políticas punitivas y de supervisión por parte de los gobiernos locales, el grado de concienciación ciudadana y sus posibilidades de acceso a infraestructuras de tratamientos de residuos. Otras líneas futuras radican en la valoración del riesgo que ejercen los VI en la potencialidad turística y las afectaciones de estos al patrimonio natural de la isla de La Palma. Por otra parte, el modelo de estudio será aplicado a otros territorios insulares del archipiélago canario.

5. CONCLUSIONES

Tanto el AF como el AD muestran como la ubicación de los vertederos ilegales en el territorio insular de La Palma no es aleatoria. El ACP ha supuesto una primera aproximación a la identificación de factores y variables que son convenientes incluir en el AD. Este trabajo aplica metodologías utilizadas en estudios mineros mediante la incorporación de zonas de casos de ocurrencia negativa (0s) al caso de estudio de los VI. De esta forma se hace posible la aplicación de AD para cartografiar la potencialidad de ocurrencia de VI.

Los tres primeros factores del ACP, correspondientes a las variables de poblamiento, distancia a elementos de interés y socioeconómicas, explicaron el 53.22% de la varianza en los datos. Los últimos factores, con una menor importancia explicativa, correspondieron a la distancia a áreas rurales, distancia a la costa y densidad de cambio de usos del suelo entre 1990 y 2012.

El AD redujo el número de variables de 22 a 9, entre las que destacan la densidad de vías de comunicación, los cambios en los usos del suelo, la cercanía a núcleos urbanos, la densidad de población y la distancia a zonas verdes. Las variables socioeconómicas utilizadas podrían no ser adecuadas por su nivel de agregación y su baja variabilidad espacial, poniéndose de manifiesto la necesidad de incorporar información adicional.

AGREDECIMIENTOS

Esta investigación se ha llevado a cabo gracias a la beca FPU recibida por parte del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte y a la información estadística y cartográfica aportada por el Instituto de Estadística Español, Instituto Geográfico Nacional, Cartográficas Canarias S. A. y Caixa Bank.

REFERENCIAS

Directive 2004/35/EC. of the European Parliament and of the Council of 21 April 2004 on environmental liability with regard to the prevention and remedying of environmental damage. Off J Eur Communities 2004(L143):0056–75

Directive 2008/98/EC. of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. Off J Eur Communities 2008(L312):0003–30

Akbari, V., Rajabi, M.A., Chavoshi, S.H. y Shams, R. (2008). Landfill Site Selection by Combining GIS and Fuzzy Multi Criteria Decision Analysis, Bandar Abbas. *World Applied Science Journal* 3(1), 39–47

Alexakis, D. D., y Sarris, A. (2014). Integrated GIS and remote sensing analysis for landfill siting in Western Crete, Greece. *Environmental Earth Sciences* 72(2), 467-482. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2966-y>

Allgaier, G. y Stegmann, F. (2006). Old Landfills in the Focus of the Urban Land Management. *Workshop on Landfill Reclamation and Remediation Technologies* (International Waste Working Group and University of Padova), junio 7-9. CISA Environmental Sanitary Centre, Cagliari.

Revista de Estudios Andaluces, vol. 34, núm. 1 (2017) pp.380-398. e-ISSN: 2340-2776
<http://dx.doi.org/10.12795/rea.2017.i34.13>



Esta obra se distribuye con la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional

Apostol, L., y Mihai, F. (2011). The Process of Closing Down Rural Landfills. *Case Study: Neamt County. Present Environment and Sustainable Development* 5 (2): 25-41.

Biotto, G., Silvestri, S., Gobbo, L., Furlan, E., Valenti, S., y Rosselli, R. (2009). GIS, multi-criteria and multi-factor spatial analysis for the probability assessment of the existence of illegal landfills GIS, multi-criteria and multi-factor spatial analysis for the probability assessment of the existence of illegal landfills. *International Journal of Geographical Information Science* 23(10), 1233–1244. <https://doi.org/10.1080/13658810802112128>

Boots, B.N., Getis, A., (1988). *Point Pattern Analysis*. Sage University Scientific Geography, series no. 8. Sage Publications, Beverly Hills, 93 p.

Breslow, N.E. y Cain, K.C. (1988). Logistic regression for two-stage case-control data. *Biometrika* 75 (1), 11–20. <https://doi.org/10.1093/biomet/75.1.11>

Carranza, E. J. M., Hale, M., y Faassen, C. (2008). Selection of coherent deposit-type locations and their application in data-driven mineral prospectivity mapping. *Ore Geology review* 33, 536–558. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2007.07.001>

Kim, G., Chang, G. K. Y., y Kelleher, D. (2008). Unit pricing of municipal solid waste and illegal dumping: an empirical analysis of Korean experience. *Environmental Economics and Policy Studies*, 167–176. <https://doi.org/10.1007/BF03353988>

Demesouka, O. E., Vavatsikos, A. P., y Anagnostopoulos, K. P. (2014). GIS-based multicriteria municipal solid waste landfill suitability analysis: A review of the methodologies performed and criteria implemented. *Waste Management & Research* 32(4), 270 –296. <https://doi.org/10.1177/0734242X14526632>

Diggle, P.J., (1983). *Statistical Analysis of Spatial Point Patterns*. Academic Press, London, 148p.

Doak, M., Khan, S., Kelly, G. y Silvestri, S. (2007). The Use of Remote Sensing to Map Illegal Landfills at the Border of Ireland/Northern Ireland. Paper presented at the *11th International Waste Management and Landfill Symposium*, Cagliari, Sardinia, October 1-5.

EPA, (1998). Illegal dumping prevention guidebook. EPA905-B-97-001, United States Environmental Protection Agency. Internet: www.epa.gov/region5/illegaldumping/ (10.8.2011).

Jordá-Borrell, R., Ruiz-Rodríguez, F., y Lucendo-Monedero, Á. L. (2014). Factor analysis and geographic information system for determining probability areas of presence of illegal landfills. *Ecological Indicators* 37, 151–160. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.10.001>

Kontos, T. D., Komilis, D. P., y Halvadakis, C. P. (2005). Siting MSW landfills with a spatial

Revista de Estudios Andaluces, vol. 34, núm. 1 (2017) pp. 380-398. e-ISSN: 2340-2776
<http://dx.doi.org/10.12795/rea.2017.i34.13>



Esta obra se distribuye con la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional

multiple criteria analysis methodology. *Waste Management* 25, 818–832. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.04.002>

Kothari, R., Kumar, V., Panwar, N.L., y Tyagi, V.V. (2014). Municipal solid-waste management strategies for renewable energy options. *Sustainable Bioenergy Production*, 267p. <https://doi.org/10.1201/b16764-16>

Liu, Y., Kong, F., y Santibanez, E. D. R. (2017). Dumping, waste management and ecological security: Evidence from England. *Journal of Cleaner Production*, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.097>

Lucendo-Monedero, A. L., Jordá-Borrell, R., y Ruiz-Rodríguez, F. (2014). Predictive model for areas with illegal landfills using logistic regression. *Journal of Environmental Planning and Management* 58(7), 1309–1326. <https://doi.org/10.1080/09640568.2014.993751>

Matos, J., y Kranjc, J. (2012). Attractiveness of roads for illegal dumping with regard to regional differences in Slovenia. *Acta geographica Slovenica* 52(2), 431–451. <https://doi.org/10.3986/AGS52207>

Matsumoto, S., y Takeuchi, K. (2011). The effect of community characteristics on the frequency of illegal dumping. *Environmental Economics and Policy Studies*, 13(3), 177–193. <https://doi.org/10.1007/s10018-011-0011-5>

Mohee, R., Mauthoor, S., Bundhoo, Z. M. A., Somaroo, G., y Soobhany, N. (2015). Current status of solid waste management in small island developing states: A review. *Waste Management* 43, 539–549. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.06.012>

Renou, S., Givaudan, J. G., Poulain, S., Dirassouyan, F., y Moulin, P. (2008). Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials* 150, 468–493. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.077>

Schill, W., Jockel, K. H., Drescher, K., y Timm, J., (1993). Logistic analysis in case-control studies under validation sampling. *Biometrika* 80(2), 339–352. <https://doi.org/10.1093/biomet/80.2.339>

Sebenik, I. (1994). Pokrajinske značilnosti manjših neurejenih odlagališč odpadkov v Sloveniji z zasnovo akcijskega načrta ureditve in oceno tveganja onesnaženja podzemnih voda. *Geographica Slovenica*, 26-1.

Şener, E., y Karag, R. (2011). Solid waste disposal site selection with GIS and AHP methodology: a case study in Senirkent – Uluborlu (Isparta) Basin. *EnvironMonit Assess* 173, 533–554. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1403-x>

Revista de Estudios Andaluces, vol. 34, núm. 1 (2017) pp.380-398. e-ISSN: 2340-2776
<http://dx.doi.org/10.12795/rea.2017.i34.13>



Esta obra se distribuye con la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional

Şener, Ş., Şener, E., Nasc B. y Karagüzel R. (2010). Combining AHP with GIS for landfill site selection: A case study in the Lake Beyşehir catchment area. *Waste management* 30, 2037–2046. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.05.024>

Silvestri, S., y Omri, M. (2008). A method for the remote sensing identification of uncontrolled landfills: formulation and validation. *International Journal of Remote Sensing* 29 (4), 975–989. <https://doi.org/10.1080/01431160701311317>

Silverman, B.W. (1986). *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*. London - New York, Chapman and Hall, 175 p.

Smith, A., Brown, K., Ogilvie, S., Rushton, y K., Bates, J. (2001). *Waste Management Options and Climate Change*. Final Report to the European Commission, DG Environment.

Smrekar, A. (2007). *Divja odlagališča odpadkov na območju Ljubljane*. Georitem 1. Ljubljana.

Tasaki, T. (2004). Substance flow analysis of brominated flame retardants and related compounds in waste TV sets in Japan. *Waste Management* 24, 571–580. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.02.008>

Tasaki, T., Kawahata, T., Osako, M., Matsui, Y., Takagishi, S., Morita, A., & Akishima, S. (2007). A GIS-based zoning of illegal dumping potential for efficient surveillance. *Waste Management* 27, 256–267. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.01.018>

Tukey, J. W. (1977). *Exploratory Data Analysis*. Reading, MA: Addison-Wesley.

Uyan, M. (2014): MSW landfill site selection by combining AHP with GIS for Konya, Turkey. *Environmental Earth Sciences* 71(4), 1629–1639. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2567-9>

Vasiljević, T., Srdjević, Z., Bajčetić, R. y Miloradov, M. (2012). GIS and the Analytic Hierarchy Process for Regional Landfill Site Selection in Transitional Countries: A Case Study From Serbia. *Environmental Management* 49(2): 445-458. <http://dx.doi.org/10.1007/s00267-011-9792-3>

Webb, B., Marshall, B., Czarnomski, S. y Tilley, N. (2006). *Fly-tipping, Causes, Incentives and Solutions*. London, Jill Dando Institute of Crime, University College. <http://archive.defra.gov.uk/environment/quality/local/flytipping/documents/flytipping-g-causes.pdf> (5.8.2011).443

