

Zonificación de agroambientes y periodos de crecimiento del municipio de Maravatio (Michoacan, México)

Agro-environment zoning and growth periods of the municipality of Maravatio (Michoacán, México)

Genaro Aguilar-Sánchez

g_aguila@correo.chapingo.mx  0000-0003-1518-0801

Universidad Autónoma Chapingo (México). Chapingo, Texcoco, Estado de México. 56230

Daniel Aguilar-Sánchez

aguilarsanchez.daniel@gmail.com  0000-0001-6110-6499

Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México.

Circuito Interior s/n, C.U., Coyoacán, Ciudad de México, México. 04510

INFO ARTÍCULO

Recibido: 14-09-2023
Revisado: 05-10-2023
Aceptado: 24-10-2023

PALABRAS CLAVE

Clima
Periodos de crecimiento
Cultivos básicos
Agroambientes

KEYWORDS

Climate
Growth periods
Staple crops
Agro-environments

RESUMEN

El objetivo es realizar una zonificación de agroambientes y calcular los periodos de crecimiento en el municipio de Maravatio, del estado de Michoacán. Lo que es muy relevante es que la realización de la producción agrícola en secano de cultivos básicos, de hortalizas y frutales depende del clima. Para lo anterior se hace una regionalización del territorio del municipio de Maravatio, Michoacán, a través de delimitar los espacios con el concepto de agroambiente, que conjuga los aspectos bióticos y abióticos, así como calcular los periodos de crecimiento, en base a la precipitación, la humedad que almacena el suelo, la temperatura media mensual y la frecuencia de heladas. Se obtienen 9 agroambientes y 12 periodos de crecimiento. El 70% del territorio de Maravatio Michoacán, tiene condiciones favorables para producir cultivos de ciclos agrícolas que fluctúen entre 130 a 150 días. El resto debe usarse como espacios de conservación de los recursos naturales y para actividades de recreo.

ABSTRACT

The objective is to carry out a zoning of agri-environments and calculate the growth periods in the municipality of Maravatio, in the state of Michoacan. This is very relevant since the realization of dryland agricultural production of basic crops, vegetables and fruit trees depends on the climate. For the above, a regionalization of the territory of the municipality of Maravatio is made, through delimiting spaces with the agro-environment concept, which combines biotic and abiotic aspects, as well as calculating growth periods, based on precipitation, moisture stored in the soil, average monthly temperature and frost frequency. 9 agro-environments and 12 growth periods are obtained. 70% of the territory of Maravatio has favorable conditions to produce crops with agricultural cycles that fluctuate between 130 and 150 days. The rest must be used as spaces for the conservation of natural resources and for recreational activities.



1. INTRODUCCIÓN

Los cambios del clima en los últimos cincuenta años, en el mundo y en México son producto del uso desmedido de los recursos naturales y de la tecnificación de la agricultura, donde se usan muchos insumos químicos en los fertilizantes y pesticidas, alterando de manera notable a los ecosistemas naturales a diversas escalas: nacional, estatal y local. Además, el crecimiento de los centros industriales y urbanos también contribuyen al incremento de la temperatura, de tal manera que se menciona que en los últimos 50 años se ha incrementado la temperatura de 1 a 1.5 grados centígrados en diversas partes del mundo. Por ello en la actualidad se han acrecentado el número de políticas públicas puestas en marcha para disminuir la temperatura en 1.5 grados centígrados, a fin de volver a tener la temperatura al nivel del periodo preindustrial, según indica el Grupo Intergubernamental sobre el estudio del Cambio Climático (IPCC, 2019).

En ese contexto se ubica México y las actividades agrícolas, pecuarias y forestales, por lo que en esta investigación se plantea como objetivo general efectuar una zonificación de agroambientes y calcular los periodos de crecimiento del municipio de Maravatío, del estado de Michoacán. Lo que es muy relevante ya que la realización de la producción agrícola de cultivos básicos, de hortalizas y frutales depende de los recursos naturales como: relieve, geología, suelo, vegetación y sobre todo de la lluvia del temporal, que cada vez es más errática y, por lo cual se requiere tener acotados con más precisión los meses y días de lluvia que dispondrá el agricultor para sembrar las semillas y lograr una mejor cosecha.

Igualmente, se hace necesario llevar a cabo una regionalización del territorio del municipio de Maravatío, Michoacán, mediante la delimitación de los espacios según el concepto de agroambiente, que conjuga los aspectos bióticos y abióticos, así como calcular los periodos de crecimiento, en base a la humedad que almacena el suelo y la frecuencia de heladas, para los cultivos como el maíz, frijol, haba, garbanzo y hortalizas como rábano, chayote, chile, etc. Producto de este trabajo se obtienen 9 agroambientes y 12 periodos de crecimiento.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

El concepto de ambiente es la interacción de los elementos de los recursos naturales bióticos y abióticos como el relieve, geología, clima, suelo, vegetación, hidrología y fauna. Dicho concepto se ha aplicado en diversos trabajos (Romero et al., 2003; Salazar et al., 1994), para delimitar áreas específicas del uso de los recursos naturales, demostrándose que la producción realizada por los productores transforma el medio ambiente, modifica los ciclos bioquímicos, y la diversidad biológica. Si bien, en la transformación del ambiente también intervienen el despoblamiento del medio rural, el crecimiento de los centros urbanos, el uso intenso del agua y la generación de contaminantes (Rivera et al., 2012).

El hombre y la mujer en sus comunidades, a través de la historia se han apropiado y manejado los recursos naturales, con fines de producir sus alimentos y con ello han transformado el ambiente, es decir formando agroambientes, donde la interacción del relieve con la geología, la vegetación, a través del tiempo ha generado diversas unidades de suelo. Y la diversidad de suelo junto con los componentes del clima como la lluvia y la temperatura y otros fenómenos meteorológicos (heladas y las granizadas), han condicionado la producción agrícola realizada en condiciones de temporal.

Es decir, un agroambiente es un espacio del territorio modificado por los humanos donde se apropian de los recursos bióticos y abióticos para realizar prácticas agrícolas, con fines de producir sus propios alimentos. Y dichos espacios del territorio, agroambiente, pueden ser de agricultura de temporal o realizar actividades agrícolas con la ayuda de infraestructura productiva como la construcción de pequeños bordos o cajas para captar y almacenar agua, hasta la construcción de medianas y grandes presas, para producir cultivos y/ o criar especies de ganado con la aportación del agua de las presas y también de la perforación de pozos. De esa manera se concibe al agroambiente en los trabajos de Romero (2003) y Salazar (1994) y en otros como Baca et al. (1992) y Larios (1992).



El clima es fundamental en la producción agrícola, ganadera y forestal de las diferentes naciones. Las investigaciones efectuadas, por ejemplo, en Venezuela (Olivares et al., 2021) se investiga la cantidad de lluvia, la evapotranspiración potencial y la producción del banano; el cual ha variado por el crecimiento de la población y de los centros industriales; y éstos últimos, aportan un incremento en la temperatura, al igual que los diferentes prácticas agrícolas y ganaderas, de tal manera que la FAO (1990) indica que los compuestos químicos como el metano y otros más que existen en el ambiente contribuyen con un 14% al efecto de invernadero producido.

Así tenemos que los componentes del clima como la precipitación y la temperatura han variado de manera creciente en los últimos 50 años, por lo que se hace necesario hacer trabajos de investigación para calcular el periodo de crecimiento (PC), pues esta variable resulta clave para conocer con cierta seguridad las condiciones favorables para la siembra, crecimiento, fructificación y cosecha de cultivos básicos, hortalizas y frutales en los diversos territorios.

Por consiguiente, en diversas partes del mundo se han realizado trabajos de zonificación climática, como los efectuados por Papadakis (1961), y en concreto para América Latina el de Papadakis (1980). Otros autores trabajan índices agroclimáticos, (Bishno, 1980), o se relacionan las características de humedad del suelo con el periodo libre de heladas (Williams, 1983).

En el caso de México, investigadores como Romo (1985), han realizado zonificación de áreas propicias para producir oleaginosas en condiciones de humedad de temporal (García, 1988), igualmente se efectuó una zonificación agroecológica de cultivos producidos en condiciones de riego, en el estado de Guanajuato (Rivera del Río et al., 1989). En este último trabajan el uso de la humedad del suelo para hacer una regionalización en Zacatecas (Pájaro-Huertas, 1988). En el Colegio de Posgraduados investigan sobre la estimación del periodo libre de heladas y el periodo de crecimiento por disponibilidad de agua, considerando el fenómeno de las heladas, en base a los datos de las estaciones climatológicas establecidas en los 32 estados de la República Mexicana. En una escala regional (Aguilar-Sánchez, 1995) se trabajó en una zonificación climática en varios municipios del estado de Michoacán, donde se zonifica en base a los periodos de crecimiento, producto de la relación de la humedad almacenada en el suelo, de las lluvias y de la estimación del periodo libre de heladas.

3. CLIMA Y SUELO EN LOS CULTIVOS AGRÍCOLAS

Para la producción agrícola en condiciones de lluvia del temporal se conjugan la precipitación, evapotranspiración de las plantas, la frecuencia y época de heladas y granizadas. Así como la aptitud del suelo para producir, ya que los suelos de poca profundidad y escasa fertilidad son menos aptos para el crecimiento de los cultivos.

El cambio del clima y sus efectos en la agricultura mexicana se ha estudiado a diversas escalas, desde la nacional, regional, estatal y más local como lo es el territorio de un municipio. En el nivel macro se tienen trabajos que a través de la aplicación de modelos matemáticos y estadísticos hacen pronósticos sobre el efecto del clima mediante un periodo de años y con pronóstico a futuro (Conde et al., 2000; SEMARNAT, 2013). En la escala estatal se han realizado investigaciones en diversos estados de la República mexicana, por ejemplo, Zarazúa (2011), que llevó a cabo su investigación en la Ciénega de Chapala, estado de Jalisco, Bernal-Morales (2020), donde se analizaron 12 estaciones climatológicas, encontrando que en 10 estaciones existen cambios en los periodos de crecimiento y en dos se mantiene igual. La relación de suelo y clima lo trabajó Arellano et al., (2022), en el cultivo de la Yuca en el estado de Yucatán, para producirla de manera sostenible.

En trabajos más particulares, en cultivos específicos como el maíz, se tienen cambios en los escenarios para el año 2050, donde se demuestra con cálculos basados en varios modelos matemáticos, que en ciertas regiones de México se cultiva maíz en condiciones de secano, pero habrá que cambiar las variedades de maíz de ciclo agrícola intermedio y de ciclo largo a variedades de ciclo agrícola de corta duración (Ruiz, 2011; Monterroso et al., 2011; Conde, 1997).



La relación del clima, suelo, cultivo, es dialéctica ya que están muy concatenados. El clima puede ayudar a la formación del suelo, a través de descomponer la materia orgánica de la vegetación y la fragmentación de la roca, material parietal y origen del suelo. Para que juntos le den contenido y forma a los horizontes que forma el suelo, y dotarlo así de las características de fertilidad que tendrá el suelo. De tal manera que un suelo profundo de más de 50 cm, y con textura fina, tendrá mayor capacidad para almacenar agua de la lluvia y proporcionar ésta a las plantas, como es el caso del suelo vertisol; por el contrario, los suelos delgados de menos de 20 cm de profundidad y con textura media o gruesa, tienen menos capacidad de almacenar agua del temporal y por lo tanto tendrá poca cantidad de agua para los cultivos, por ejemplo, los suelos clasificados como Litosol y Leptosol (FAO, 2009).

4. METODOLOGÍA

Se han empleado diferentes metodologías para desarrollar este trabajo. Así, en la diferenciación cartográfica agroambiental, se usa la propuesta de Romero et al. (2003), que consiste en la aplicación de los siguientes apartados:

1. Inventariar los recursos naturales del municipio de Maravatío, de manera general a Escala 1:500 000
2. Caracterizar los recursos naturales del municipio seleccionado Escala 1:500 000, con mapas de relieve, geología, clima, suelo, vegetación y uso actual de la tierra. Usando la cartografía impresa y digital. Así como la realización de trabajo en campo.
3. Diferenciar los espacios de estudio en unidades cartográficas homogéneas, empleado como base el mapa digital de topoformas del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e informática (INEGI) de México.

Para el apartado de periodos de crecimiento se usan las propuestas de:

- Aguilar-Sánchez, (1995). Este autor indica que el cálculo de la *evapotranspiración potencial (ETP)*, se puede calcular según la evaporación registrada en cada estación climatológica y se utiliza la fórmula recomendada por García (1979): “ $ETP = 0.8 EV$ ”, donde ETP es la Evapotranspiración potencial, 0.8 es una constante con Valor empírico que toma en cuenta al suelo y la atmósfera, y EV es la Evaporación.
- Por otra parte, Pájaro-Huertas et al. (1988), mencionan que el *inicio del periodo de crecimiento* está basado en el comienzo de la estación lluviosa. Se define cuando: $P = 0.5 ETP$ y se considera que esta cantidad de agua es suficiente para la germinación de semillas de diferentes cultivos. El *periodo húmedo*, es el intervalo en el cual la precipitación es mayor a la evapotranspiración potencial ($P > ETP$) y la *Terminación del periodo de crecimiento*, cuando existe periodo húmedo; si bien, la terminación del periodo de crecimiento va más allá del final de la estación lluviosa, ya que los cultivos frecuentemente maduran con las reservas de humedad almacenadas en el perfil del suelo. La terminación del periodo de crecimiento generalmente excede un número de días a la terminación de la estación lluviosa, de forma que es suficiente evapotranspirar 100 mm, que son los considerados como las reservas de humedad del suelo.

Se usan las propuestas de los anteriores investigadores, donde los indicadores básicos son: Selección de estaciones meteorológicas con más de diez años de observación, a las cuales se les analizó la siguiente información:

1. Precipitación media mensual.
2. Evaporación media mensual.
3. Número de días con heladas cada mes.
4. Temperatura mínima mensual.



Con base en los anteriores datos se calculó:

- i. Periodo libre de heladas.
- ii. Evapotranspiración.
- iii. Periodo de crecimiento.

También de acuerdo con Pájaro-Huertas et al. (1988), es posible establecer el periodo libre de heladas y las fechas de ocurrencia de la última y la primera helada. El periodo de crecimiento establecido por disponibilidad de agua puede sobreponerse a las fechas de ocurrencia de tales eventos y de esta forma obtener el periodo de crecimiento efectivo con condiciones adecuadas de humedad y temperatura. Que a su vez reduce la posibilidad de ser interrumpido por la presencia de la última y la primera helada. En el cálculo del *periodo libre de heladas* se retomó la siguiente ecuación:

$$PLH = 1.7713 + 31.0214 (Tmin) - 0.6361 (Tmin)^2$$

Dónde:

PLH = Periodo libre de heladas, en días

$Tmin$ = Temperatura mínima media anual, en °C

$$UH = 225.3605 - 0.7396 (PLH) + 0.0004385 (PLH)^2$$

Dónde:

UH = Fecha codificada de ocurrencia de la última helada PLH = Periodo libre de heladas en días.

$$PH = 229.5781 + 0.2262 (PLH) + 0.0005098 (PLH)^2$$

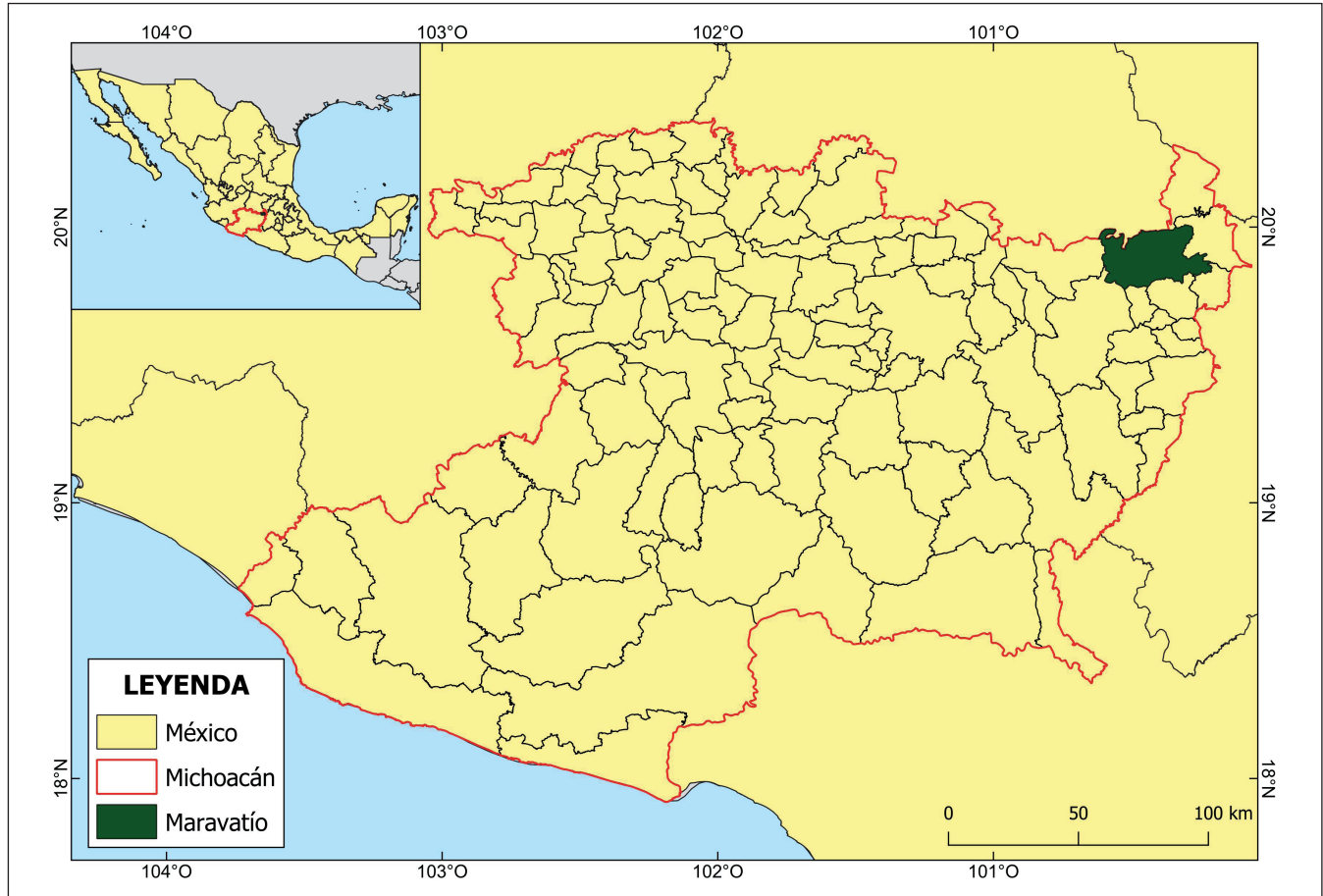
Dónde:

PH = Fecha codificada de ocurrencia de la primera helada PLH = Periodo libre de heladas, en días.

La delimitación de las áreas de influencia se realiza con el procedimiento de los polígonos de (Thiessen, 1911), que se ha usado en diversos trabajos sobre la cuantificación promedio de precipitación en áreas extensas, la delimitación de escurrimientos y la diferenciación de zonas agroclimáticas.

5. RESULTADOS

El municipio de Maravatío, Michoacán se localiza entre los paralelos 19°46' y 19°58' de latitud norte; los meridianos 100°12' y 100°38' de longitud oeste; altitud entre 2 000 y 3 500 m. Colinda al norte con el estado de Guanajuato y los Municipios de Epitacio Huerta y Contepec; al este con los municipios de Contepec, Tlalpujahuá y Senguio; al sur con los municipios de Senguio, Irimbo e Hidalgo; al oeste con los municipios de Hidalgo y Zinapécuaro y el estado de Guanajuato. Su superficie es de 696.67 km² y representa un 1.17 por ciento del total del estado, mapa 1.



Mapa 1. Localización del municipio Maravatío, Michoacán. Fuente: SEGOB, 2019.

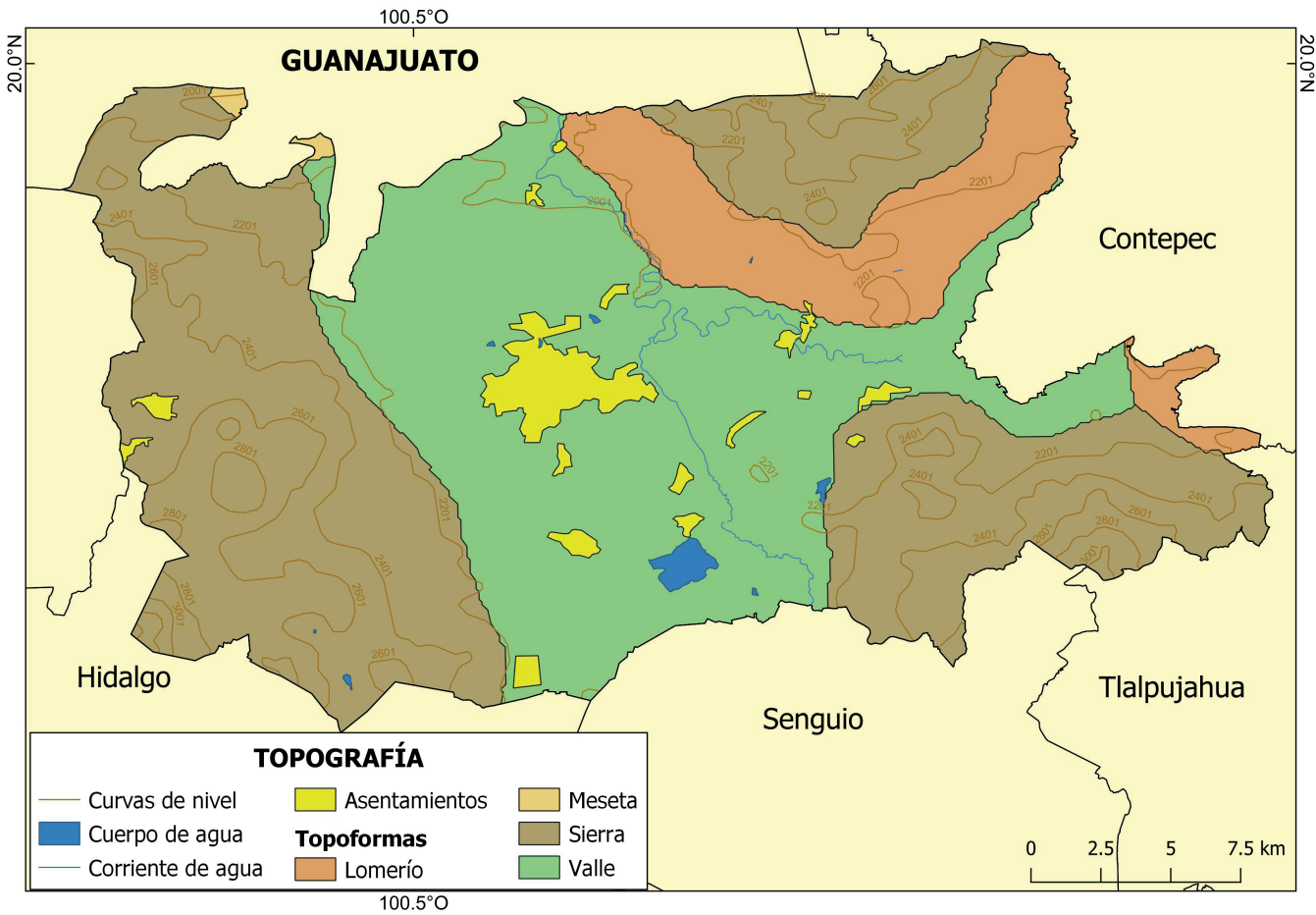
5.1. Los recursos naturales y la diferenciación de agroambientes

Los recursos naturales son básicos para la delimitación de los agroambientes, como se indica en la metodología, las características de la topografía, geología, clima y suelo se describen a continuación. Como se observa en el mapa 2. La topografía es de sierra, lomerío, mesetas y valle, con la presencia de cuerpos de agua y zonas urbanas.

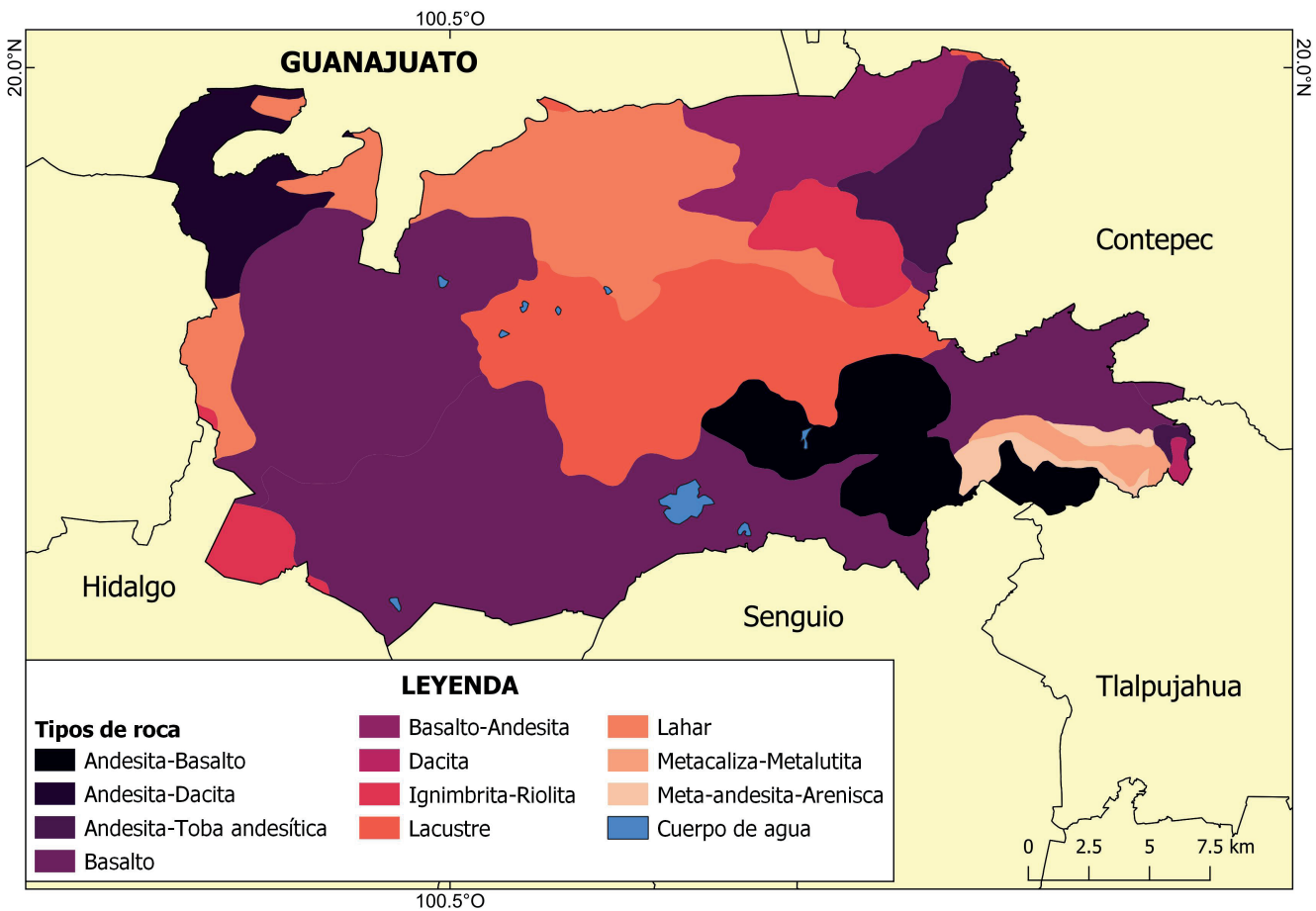
La geología por su origen indica que de los periodos geológicos el Neógeno representa (67.29%), Cuaternario (25.91%), Jurásico superior-Cretácico inferior (2.11%) y Plioceno-Cuaternario (0.70%). Los tipos de rocas y sus porcentajes son: Ígnea extrusiva: volcanoclástica (28.23%), basalto (15.75%), andesita (11.04%), basalto-brecha volcánica básica (7.57%), dacita-toba ácida (7.31%), dacita-brecha volcánica ácida (3.29%), arenisca-toba ácida (1.82%), dacita (1.82%), brecha volcánica básica (1.78%), riolita (1.19%), toba ácida (0.89%) y riolita-toba ácida (0.10%). Sedimentaria: arenisca-conglomerado (0.75%) y conglomerado (0.01%). Metamórfica: metasedimentaria (2.11%). Suelo: aluvial (11.97%) y lacustre (0.38%). (INEGI, Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos., 2009) (mapa 3).

Los suelos están muy relacionados con la topografía y la geología, la materia orgánica producto de la degradación de la vegetación y el tiempo de formación del perfil del suelo. La ubicación de las diversas unidades de suelo, se muestran en el mapa 4.

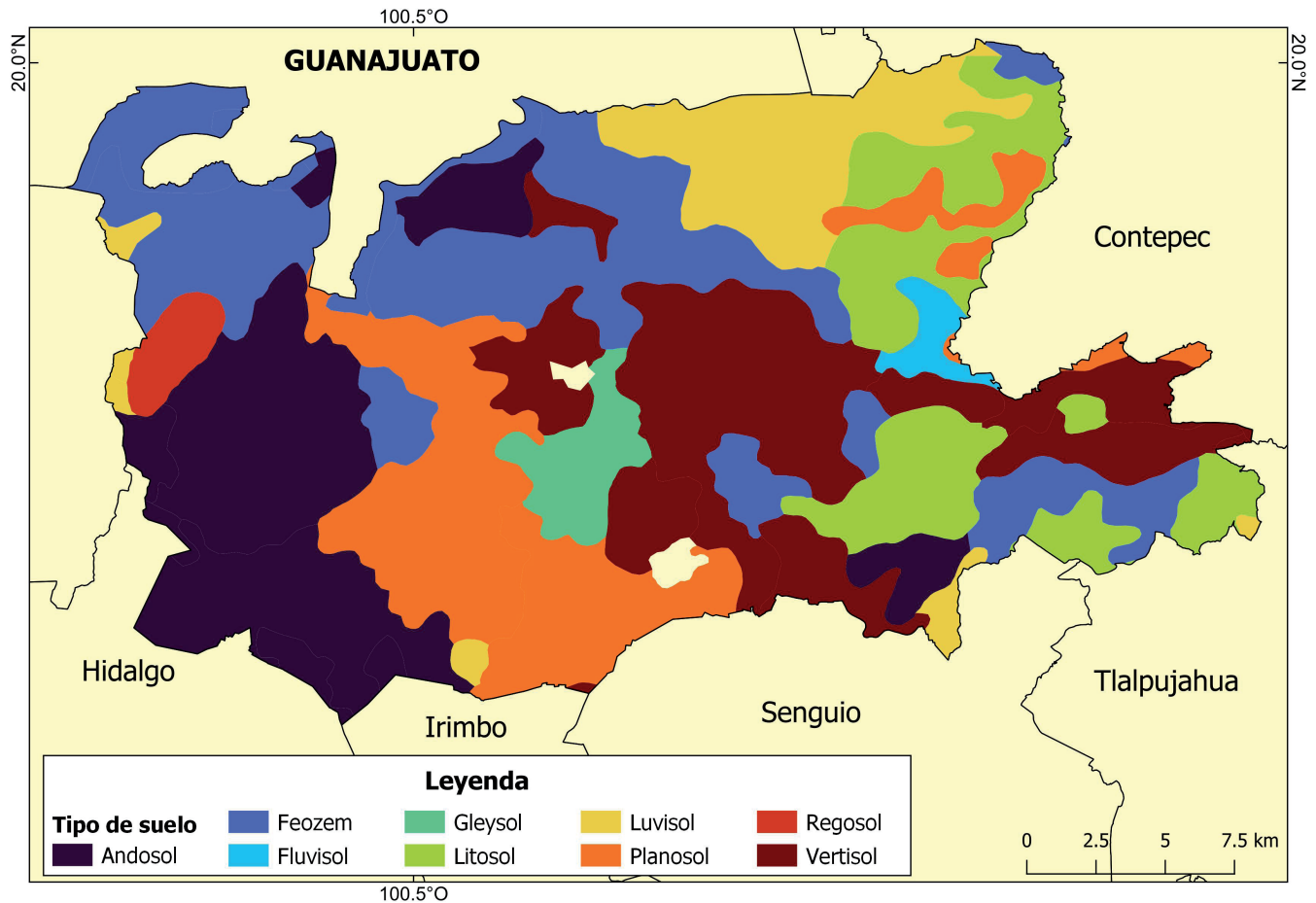
En el mapa de suelo 4 se puede observar una gran diversidad, con los siguientes porcentajes: Vertisol (20.79%), Andosol (19.44%), Phaeozem (15.96%), Leptosol (14.00%), Planosol (11.16%), Luvisol (7.02%), Durisol (3.73%), Gleysol (2.30%), Fluvisol, (0.99%) y Regosol (0.62%). (INEGI., Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Maravatío, Mich., 2009).



Mapa 2. Topografía de Maravatío, Michoacán, México. Fuente: elaboración propia en base a INEGI, 2009.



Mapa 3. Geología, tipo de rocas de Maravatío, Michoacán, México. Fuente: elaboración propia en base a INEGI, 2010.



Mapa 4. Unidades de suelos de Maravatío, Michoacán, México. Fuente: elaboración propia en base a INEGI 2009.

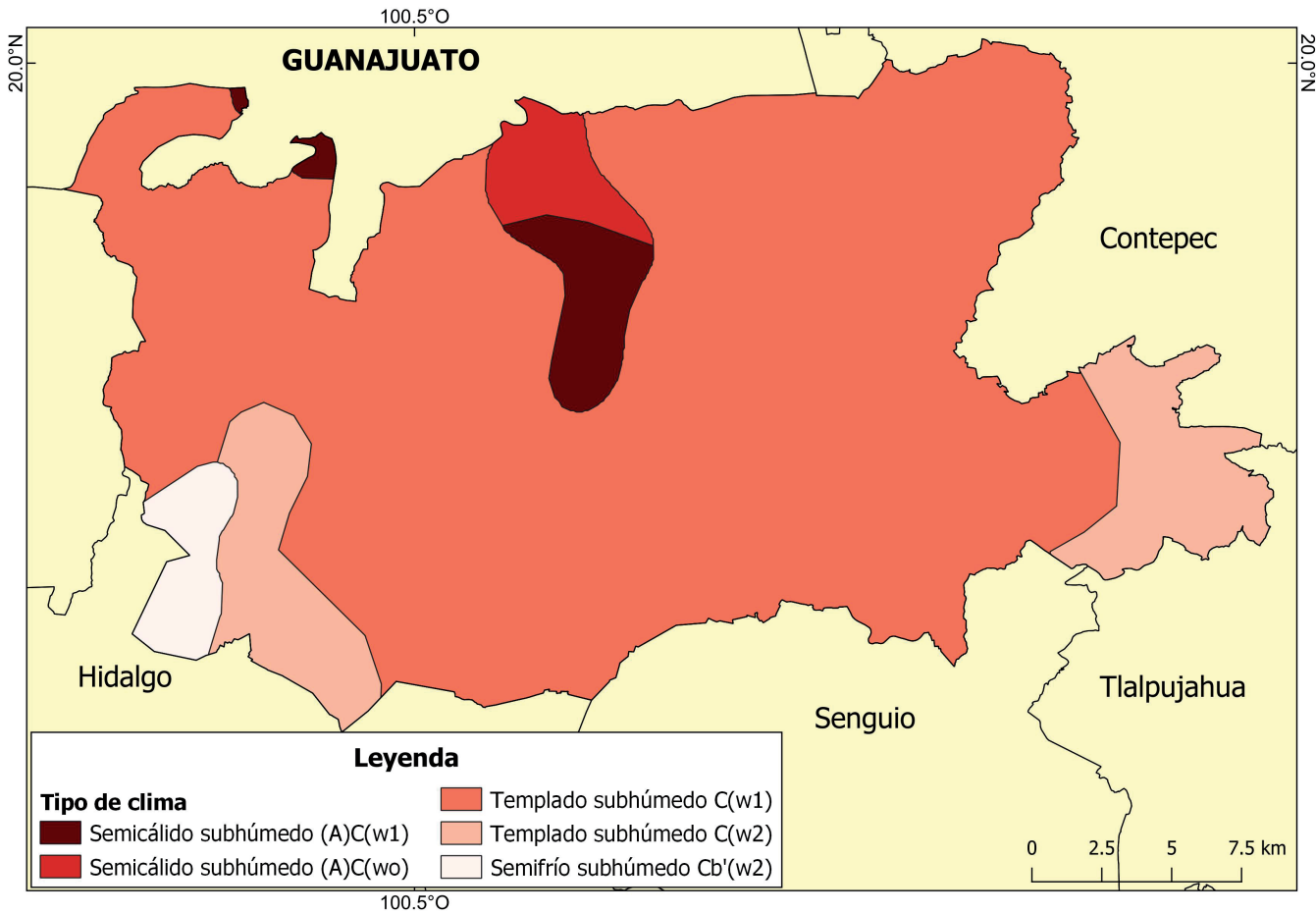
Aspecto fundamental es el clima para el crecimiento de la vegetación como el bosque de pino, bosque de cedro, los pastos, y la vegetación propia de la selva baja caducifolia. Así como la realización de las actividades agrícolas, ganaderas y forestales. El mapa 5, tiene diferenciados los tipos de clima.

Con relación al mapa 4, se puede señalar varios subgrupos. El subtipo semicálido, templado y semifrío. En el subtipo semicálido está el tipo subhúmedo, subtipo ((A)C(w0)(w)), en el subtipo templado está el tipo subhúmedo, subtipos (C(w2)(w) y C(w1)(w)), en el subtipo semifrío está el tipo húmedo, subtipo (C(E)(m)(w)). (INEGI, 2010). El clima templado es con lluvias en verano, tiene una precipitación pluvial anual de 897.7 milímetros y temperaturas que oscilan de 14.1° a 29.9°. El rango de precipitación es de 700-2000 mm. Entre los subclimas predominan el Templado subhúmedo con lluvias en verano de humedad media (72.68%), templado subhúmedo con lluvias en verano de mayor humedad (21.49%), semicálido subhúmedo con lluvias en verano de menor humedad (5.23%) y semifrío húmedo con abundantes lluvias en verano (0.60%).

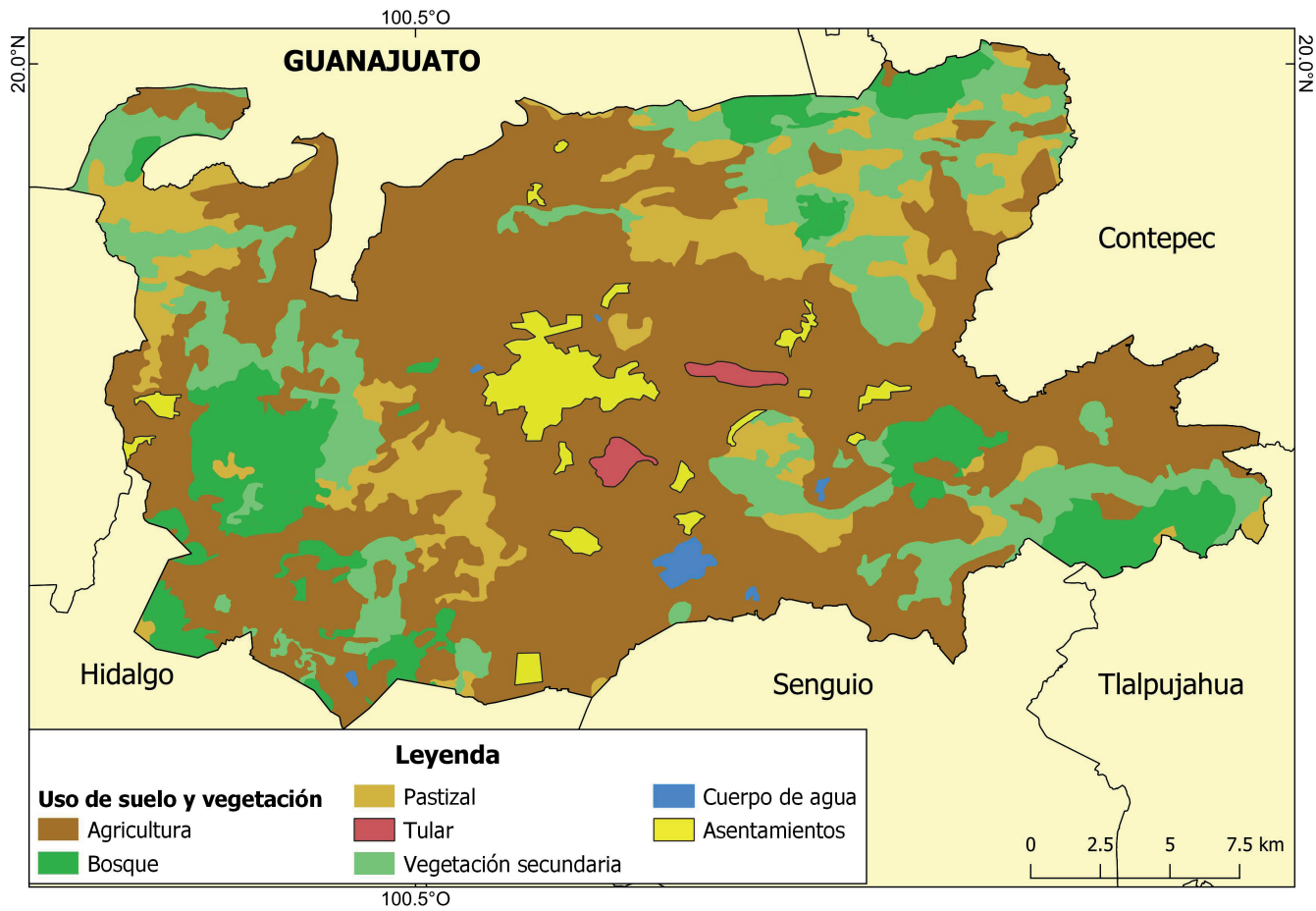
En el uso de suelo y vegetación se encuentra como principal la Agricultura con (50.62%) Zona urbana (3.50%), Pastizal (23.64%), Bosque (18.34%), Selva (2.83%) y Tular (0.57%).

El uso potencial de la tierra indica en el uso agrícola: Para la agricultura mecanizada continua (57.13%). Para la agricultura manual estacional (0.01%). No apta para la agricultura (42.86%). Para el pecuario se tienen praderas cultivadas (57.13%). Para el aprovechamiento de la vegetación natural únicamente por el ganado caprino (38.88%). No apta para uso pecuario (3.99%), (INEGI, Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos., 2009).

La superficie forestal maderable es ocupada por pino y encino; la no maderable por matorrales de distintas especies. En el municipio predominan los bosques como el mixto con pino, encino, aile, álamo, fresno, sauce y sabino; y el bosque de coníferas, con oyamel, junípero y pino, mapa 6. Su fauna está representada por cacomixtle, gato montés, zorrillo, armadillo, coyote, conejo, mapache, zorro, torcaz y centzontle.



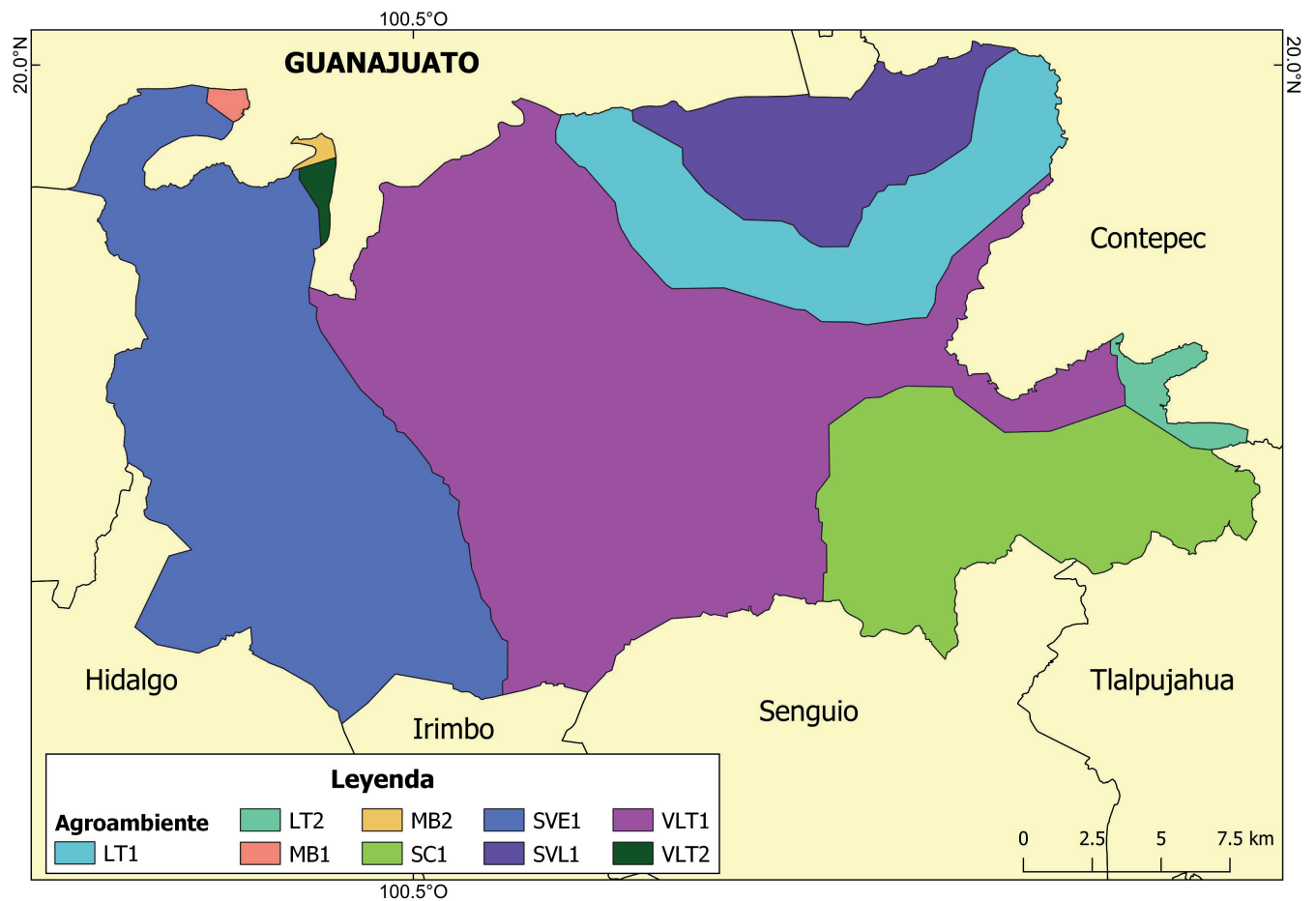
Mapa 5. Grupos climáticos de Maravatío, Michoacán, México. Fuente: elaboración propia en base a INEGI 2009.



Mapa 6. Uso del suelo y vegetación de Maravatío, Michoacán, México. Fuente: elaboración propia en base a INEGI, 2009.



Producto de la combinación de los diversos recursos naturales se obtiene el mapa 7, de agroambientes. Los que indican cierta hegemonía en los espacios de las zonas delimitadas, como se observa en dicho mapa.



Mapa 7. Agroambientes del municipio de Maravatío, Michoacán, México. Fuente: elaboración propia en base a INEGI, 2010.

En el mapa 7 se observan 9 agroambientes: Lomerío de tobas con mesetas (LT1 y LT2). Valle de Laderas Tendidas (VLT1 y VLT2). Sierra volcánica con estrato volcanes o estrato volcanes aislados con mesetas (SVE1). Sierra compleja (SC1). Sierra volcánica de laderas escarpadas (SVL1) y Meseta basáltica con cañadas (MB1 y MB2).

En la tabla 1, se agrupan las características de geología, suelo, clima, y uso de suelo de los agroambientes encontrados.

A continuación, se menciona la forma de obtener los periodos de crecimiento, donde se combinan las variables del clima que se indicaron en el apartado de metodología, se pondrán algunos ejemplos y después se concentrará la información en varios tablas.

Para el cálculo de los periodos de crecimiento se usa la información de la Comisión Nacional del Agua y los datos registrados del Servicio Meteorológico Nacional del periodo (1951-2010), (SMN-Conagua, 2021), para la estación 00011166 *EL GIGANTE*, se obtiene lo siguiente: tabla 2, figura 1 y tabla 3.

Retomando la información de la tabla 2, así como de la observación de la figura 1, se obtiene que el inicio del periodo de crecimiento tendrá lugar a principios de junio. El fin del periodo de crecimiento, se dará al término del mes de octubre. La duración del periodo de crecimiento será de cuatro meses, tres semanas (144 días). El periodo húmedo será desde finales de junio al término de septiembre.

De tal manera que al combinar los datos de la tabla 2, figura 1 y los resultados de las ecuaciones para calcular el periodo libre de heladas a través de las ecuaciones descritas en la metodología se obtiene los resultados de la tabla 3. Donde se observa que el periodo libre de heladas es de 246 días, número mayor



al periodo de crecimiento por disponibilidad de húmedas que es de 144 días. Por lo tanto, las heladas no interfieren en el desarrollo fenológico de un cultivo de maíz de ciclo corto o de frijol.

Tabla 1. Características de los recursos naturales de los agroambientes.

Agroambiente	Geología	Suelo	Clima	Uso del suelo
LT1	Ige. S(Q), Se	I,L,B,W, J,LP. Vp, H	A)C(w0)(w) C(w1)(w)	Agrícola, Sbc
LT2	Ige, S(Q)	W, Vp	C(w1)(w)	Sbc, agrícola
VLT1	Ige, S(Q)	I,L,B,W, J,LP. Vp, H,G	(A)C(w0)(w), (C(w1)(w)	Sbc, agrícola, ganadero
VLT2	Ige,	L, H,W,Li	C(w1)(w)	Agrícola, ganadero, SBC
SVE1	Ige, Se	Re,H, Vp, W,T,L.	C(w1)(w) C(E)(m) (w) C(w2)(w)	Bp, Bq,Sbc, ganadero
SC1	Ige, Se, S(Q)	Li, H,L,VP	C(w1)(w),C(w2)(w)	Bp, ganadero, Sbc
SL1	Ige, Se	H,L,W,LI	C(w1)(w)	Bp, ganadero,Sbc
MB1	Ige	Vp	C(w1)(w)	Agrícola, ganadero
MB2	Ige	H	C(w1)(w), A)C(w0)(w)	Agrícola, ganadero

Fuente: Cartas escala 1:500,000 de topografía, geología, suelo, y clima de INEGI 2009. Combinado con trabajo en campo. Nomenclatura: Ige= Ígnea extrusiva como basalto, riolota, andesita, S(Q) = Suelo del cuaternario. Se=Sedimentaria: conglomerado y arenisca. T= Andosol, L= Luvisol, B= Cambisol, G= Gleysol, H=Phaeozem, W= Planosol. J= Fluvisol, Vp=Vertisol, Li=Litosol. Re=Regosol, Bp=Bosque de pino, Bq, Bosque de encino, Sbc=Selva baja caducifolia,

Tabla 2. Datos para obtener la ETP, ETP (0.5) y ETP (0.33), estación 00011166 EL GIGANTE.

MESES	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
Pp. (mm)	17.1	13.5	5.5	14	33.9	115.9	175.9	168.4	135	68.7	15	6.7
Ev. (mm)	127.2	149.2	215.7	231.8	233.3	182.9	154.1	148.8	134.4	142.7	124.1	112.5
ETP mm	101.7	119.3	172.5	185.4	186.6	146.3	123.2	119.0	107.5	114.1	99.28	90
ETP (0.5) mm	50.8	59.68	86.28	92.72	93.32	73.16	61.64	59.52	53.76	57.08	49.64	45
ETP (0.33) mm	33.5	39.38	56.94	61.19	61.59	48.28	40.68	39.28	35.48	37.67	32.76	29.7

Fuente: elaboración propia en base a los datos de CONAGUA-2021.

Tabla 3. Obtención del periodo libre de heladas (PLH), estación 00011166 EL GIGANTE.

MESES	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
Temperatura mínima °C	5.3	6.3	8.2	10.7	12.8	13.7	13.2	12.8	12.6	10	7	5.9
PLH	$PLH = 1.7713 + 31.0214 (9.875) - 0.6361 (9.875)^2 = 246.077$											
UH PH	$UH = 225.3605 - 0.7396 (246.077) + 0.0004385 (246.077)^2 = 69.914$ $PH = 229.5781 + 0.2262 (246.077) + 0.0005098 (246.077)^2 = 316.111$											

Fuente: elaboración propia, con datos de CONAGUA, 2021.

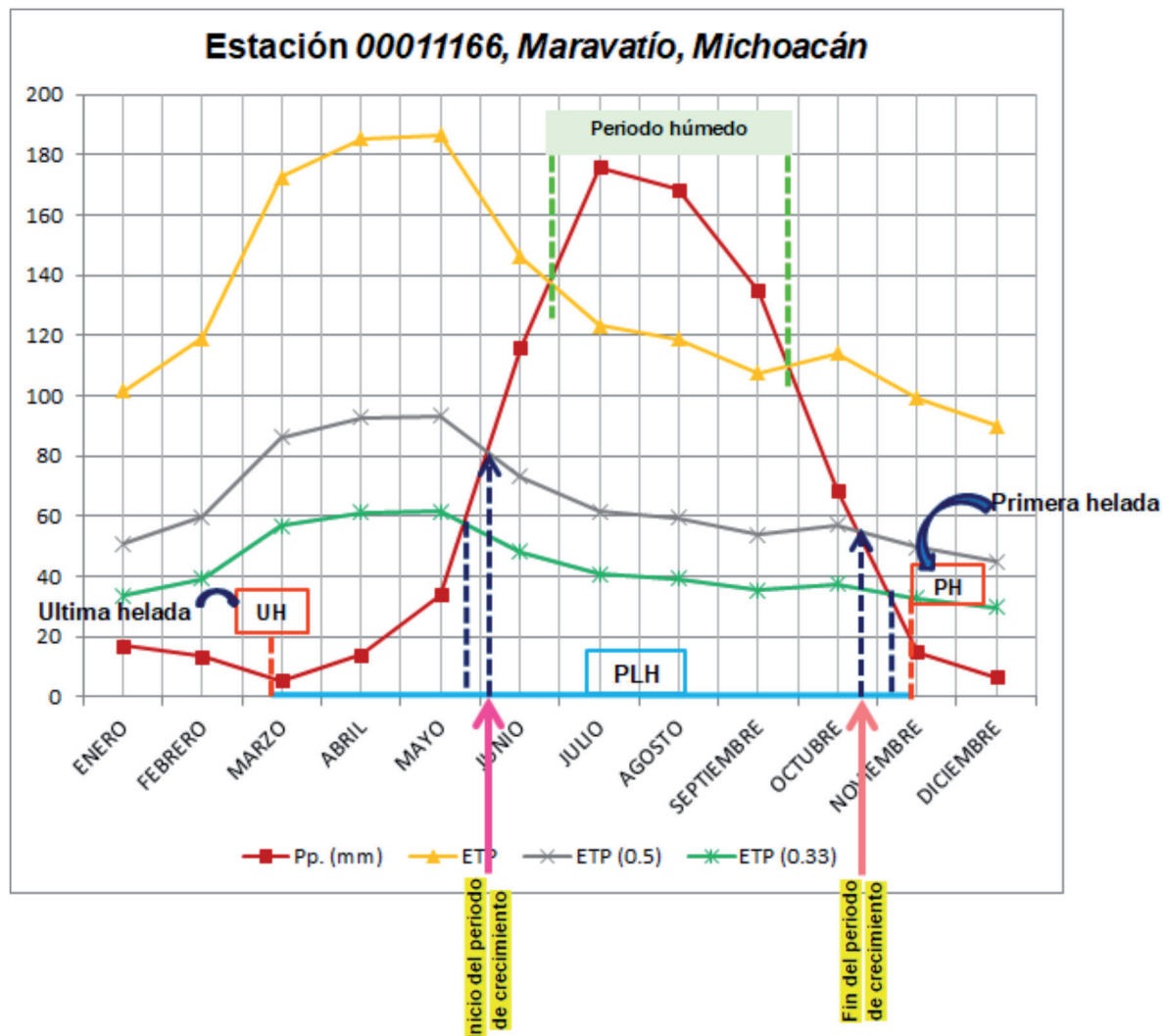


Figura 1. Presentación de los datos obtenidos de la estación climatológica de 00011166, Maravatío, Michoacán. Fuente: elaboración propia en base a los datos de CONAGUA-2021.

A continuación, se pone otro ejemplo de la obtención del periodo de crecimiento y el periodo libre de heladas, en la estación 00016078, Maravatío, Michoacán.

Tabla 4. Datos para obtener la ETP, ETP(0.5) y ETP(0.33), estación 00016078.

MESES	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
Pp. (mm)	19.3	8.9	7.6	21.4	59.89	153.1	211.5	187.4	150.8	66.71	17	11.05
Ev. (mm)	116.6	143.2	210.3	199.0	223.8	156.5	159.4	148.3	143.68	128.3	128.6	119.6
ETP mm	93.29	114.6	168.2	159.2	179.0	125.2	127.5	118.6	114.9	102.6	102.9	95.74
ETP (0.5) mm	46.64	57.31	84.14	79.63	89.54	62.60	63.77	59.32	57.47	51.33	51.46	47.87
ETP (0.33) mm	30.78	37.32	55.53	52.55	59.10	41.31	42.08	39.15	37.93	33.87	33.96	31.59

Fuente: elaboración propia en base a los datos de CONAGUA, 2021.



Con el uso de los datos climatológicos se calcula: la ETP, ETP(0.5) y ETP(0.33), los resultados se usan para generar la figura 2, y proceder a calcular el inicio del periodo de crecimiento, periodo húmedo, y fin del periodo de crecimiento por disponibilidad de humedad.

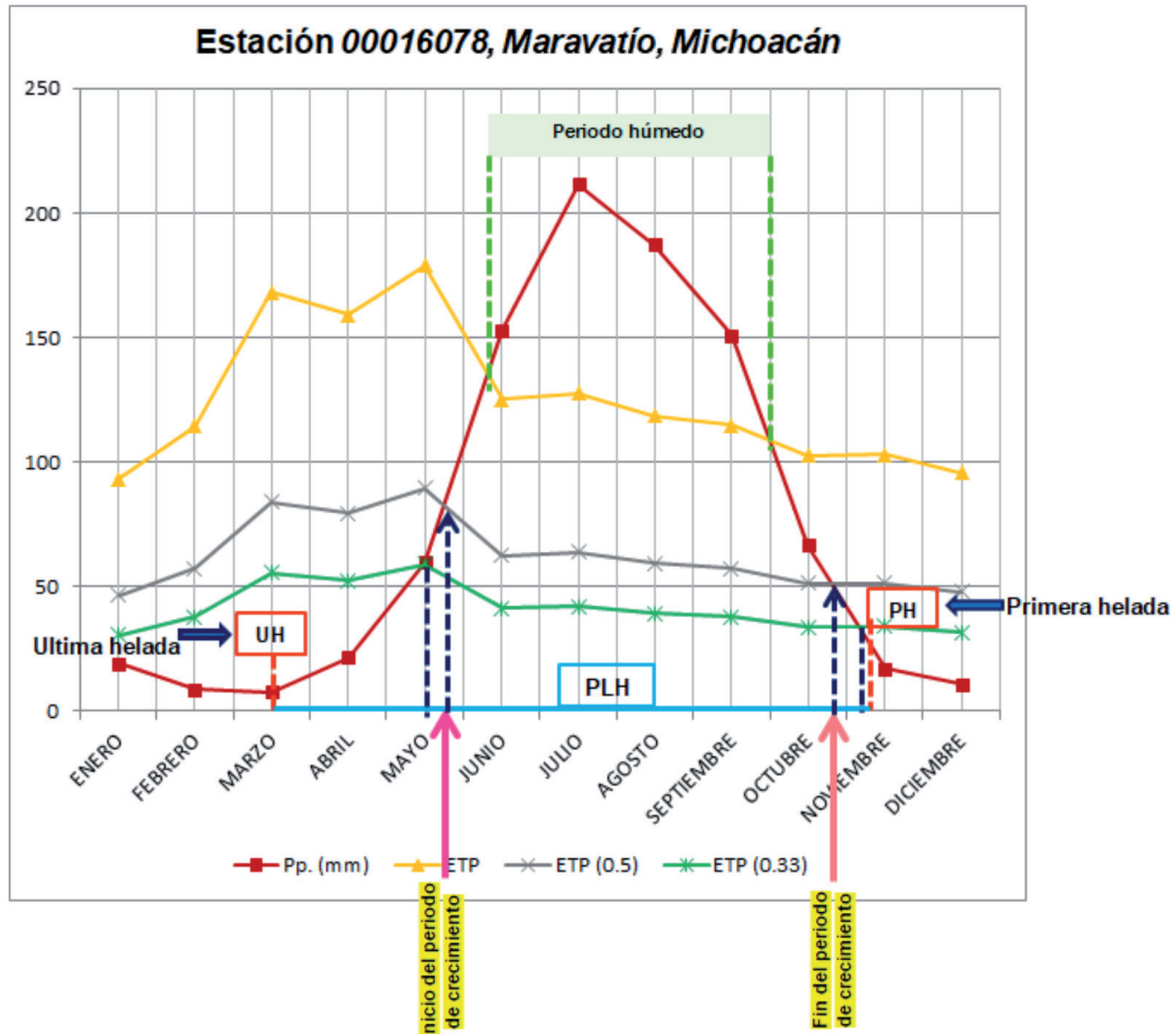


Figura 2. Presentación de los datos obtenidos de la estación climatológica de 00016078, Maravatío, Michoacán. Fuente: elaboración propia en base a los datos de CONAGUA-2021.

Con los resultados anteriores se observa que el inicio del periodo de crecimiento se dará a finales de mayo. El fin del periodo de crecimiento, tendrá lugar en los últimos días de octubre. La duración del periodo de crecimiento será de cinco meses (152 días). El periodo húmedo será de principios de junio a final de septiembre. El cálculo del periodo libre de heladas se realiza como se indica en la metodología y se genera en la tabla 5.

El periodo libre de heladas es de 236 días, la ocurrencia de la última helada es el 15 de marzo y la ocurrencia de la primera helada es el 07 de noviembre. Sobreponiendo los datos en la figura 2, se puede mencionar que no habrá afectación de heladas durante el crecimiento de los cultivos que requieran 152 días desde el inicio de crecimiento hasta la maduración del cultivo. Es decir, en el área de influencia de esta estación climatológica se pueden sembrar maíces de ciclo intermedio, o cultivos como frijol, garbanzo y haba, ya que su ciclo fenológico es menor de 140 días. Incluso hortaliza como rábano u otra que requiera menos de 150 días, ya que habrá humedad y no existirán problemas de heladas.

**Tabla 5.** Obtención del periodo libre de heladas (PLH), estación 00016078.

MESES	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
Temp. mínima °C	4.8	5.7	7.6	9.7	12	13	12.4	12.2	12.4	10.3	7.3	5.1
PLH	$PLH = 1.7713 + 31.0214 (9.375) - 0.6361 (9.375)^2 = 236.689$											
UH	$UH = 225.3605 - 0.7396 (236.689) + 0.0004385 (236.689)^2 = 74.870$											
PH	$PH = 229.5781 + 0.2262 (236.689) + 0.0005098 (236.689)^2 = 311.677$											

Fuente: elaboración propia en base a los datos de CONAGUA, 2021.

En la superficie que ocupa el municipio de Maravatío, se ubican 12 estaciones climatológicas, a las que se realizaron los cálculos indicados en los dos ejemplos y con la información obtenida se genera una tabla 6, donde se resumen las condiciones que existen en los periodos de crecimiento y periodos libres de heladas.

Tabla 6. Periodos de crecimiento de las estaciones climatológicas del Maravatío, Michoacán.

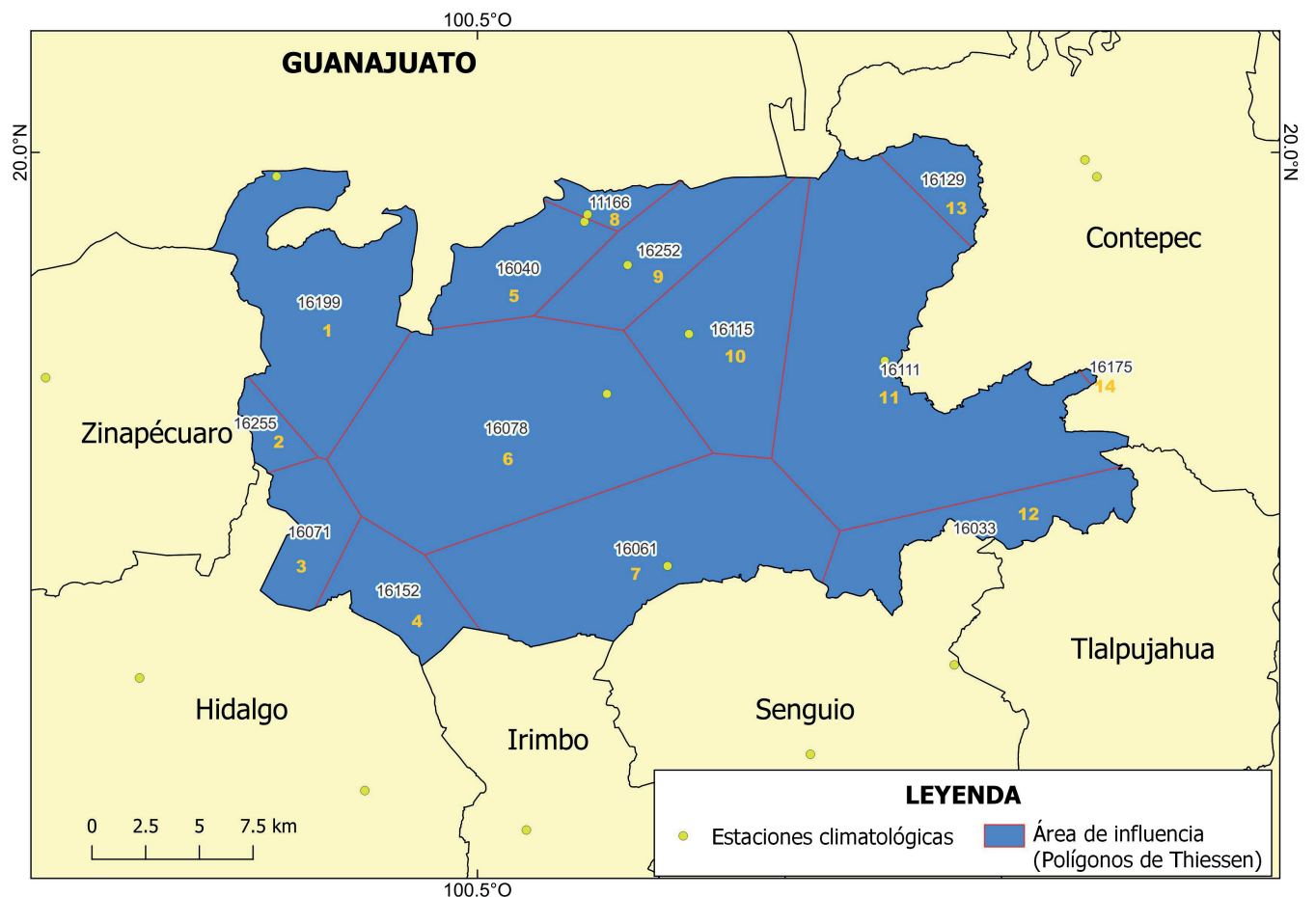
ESTACIÓN	IPC	FPC	PC Días	PLH Días	UH	PH	Pp mm	Clima
00011166 EL Gigante	4 junio	28 oct.	144	246	11 mzo.	12 nov.	769.6	(A)C(w0)(w)
00016040 El Gigante2	30 mayo	15 oct.	138	249	10 mzo.	13 nov	863.6	(A)C(w0)(w)
00016061 Laguna del Fresno	5 junio	16 oct	145	223	23 mzo.	10 nov	780.1	C(w1)(w)
00016078 Maravatío	29 mayo	30 oct	150	236	15mzo.	07 nov.	914.87	C(w1)(w)
00016111 San José	30 mayo	2 nov	154	228	20 mzo.	03 nov	855.6	C(w1)(w)
00016199 San Miguel	28 mayo	14 oct	137	227	21 mzo.	03 nov.	816.8	C(w1)(w)
00016115 San Nicolás	29 mayo	15 oct.	136	232	18 mzo.	06 nov.	825.2	C(w1)(w)
00016129 Tepuxtepec	29 mayo	16 oct	137	220	24 mzo.	31 oct.	869.6	C(w1)(w)
00016033 Chincua	30 mayo	30 oct.	150	198	05 abril	2 oct.	855.1	C(w2)(w)
00016121 Senguio	15 mayo	28 oct.	162	213	28 mzo	28 oct.	955.6	C(w2)(w)
00016152 Ciudad Hidalgo	14 mayo	30 oct	164	208	31 mzo	26 oct	823.6	C(w1)(w)
00016071 Los Azufres	3 mayo	8 oct.	155	108	30 may	17 sep	842.4	C(E)(m)(w)

Fuente: elaboración propia en base a los datos de CONAGUA-2021.



En la tabla 6 se observa que los periodos de crecimiento, PC, varían de 136 a 164 días y que en la mayoría de las estaciones climatológicas se registran periodos libres de heladas, PLH, fluctúa de 198 a 249 días, solo la estación 00016071 Los Azufres reporta 108 días de PLH. Por lo que los cultivos de ciclo corto como variedades de maíz precoz, tres meses y medio y de ciclo intermedio de 5 meses y medio, se pueden producir con la humedad que proporcionan las lluvias de temporal. Además de siembra de maíz se puede producir frijol, garbanzo, haba con el temporal, (Ruiz et al., 2013). La estación de Los Azufres tiene la limitación de las heladas; sin embargo, en el área de influencia de esta estación climatológica se tiene vegetación de pino y encino, en un relieve abrupto, propio de las montañas. A continuación, se muestra el mapa 8, donde se delimitan las zonas de influencia de cada una de las estaciones climatológicas del municipio de Maravatío, Michoacán.

Relacionado las tablas 6 y 7 con el mapa 8, se observa que en más del 40% del área del municipio de Maravatío, Michoacán, ubican las estaciones climatológicas 16078 y 16111, con periodos de crecimiento intermedios de 150 a 154 días. Y las estaciones 16040, 16199, con más del 10%, y la 16061, con periodos de crecimiento de 137 a 145 días. Lo que nos indica que la existencia de humedad es suficiente para producir cultivos básicos de ciclo corto e intermedio. Además, si le agregamos que en el área de estudio corre el Río Lerma y es aprovechado para dar algún riego de auxilio, en el ciclo agrícola de primavera-verano, entonces resulta que se pueden producir los cultivos mencionados en el párrafo anterior.



Mapa 8. Área de influencia de las estaciones climatológicas de Maravatío. Fuente: elaboración propia.

En otro 45% del municipio de Maravatío, también tiene condiciones benignas, a excepción de una pequeña porción del área de influencia de la estación climatológica 16071, que tiene un alto riesgo de heladas. Pero como se menciona anteriormente, el relieve y el clima son más propicios para la producción forestal y para realizar actividades recreativas como el senderismo, ya que los paisajes que forman el relieve abrupto y la vegetación, así lo indican.

**Tabla 7.** Área de influencia de cada estación meteorológica en hectáreas.

Número de polígono	Número de estación meteorológica	Hectáreas
1	00016199	7,515.28
2	00016255	805.14
3	00016071	2,137.38
4	00016252	3,666.65
5	00016040	2,893.08
6	00016078	13,452.29
7	00016061	10,126.00
8	00011166	737.08
9	00016152	2,493.88
10	00016115	6,334.86
11	00016111	14,807.29
12	00016033	3,380.36
13	00016129	1,389.73
14	00016175	31.42

Fuente: elaboración propia.

Además de analizar la cartografía digital e impresa y las estaciones climatológicas se realizó trabajo en campo para corroborar de manera directa las características del relieve geología, suelo y observar el uso actual, así como efectuar entrevistas con los agricultores, para indagar el uso actual de los recursos naturales, las que se resumen en la tabla 8.

La tabla 8, nos muestra la relación que existe entre el relieve abrupto con pendiente, (m), mayor del 15 y 20 % con la existencia del suelo delgado como Litosol, (Li), Regosol, (Re), donde se tiene suelo delgado de menos de 10 y 20 centímetros de profundidad y textura gruesa, con uso actual de vegetación de ca-sahuate, matorral espinoso craucicaule, bosque de pino y pastizal. Lo que corresponde a los agroambientes denominados: Sierra volcánica con estrato volcanes o estrato volcanes aislados con mesetas (SVE1). Sierra compleja (SC1). Sierra volcánica de laderas escarpadas (SVL1), mapa 6.

Las condiciones más favorables para la producción agrícola y ganadera se ubican en los sitios de muestreo que tiene pendiente menor de 10%, de 5-10% y de 1-4%; que corresponde con suelo: Vertisol pelico, (Vp), Phaezom háplico, (Hh), Fluvisol, (j) y Andosol, (T) con textura fina y media, (INEGI, 2005), donde se tiene uso agrícola con la siembra de maíz, sorgo, frijol, y cultivo de agave tequilana; así como la existencia de pastizal, que se ocupa para la alimentación de ovinos, caprinos bovinos y equinos con un manejo de pastoreo extensivo. Aspectos que suceden en los agroambientes, Lomerío de tobas con mesetas (LT1 y LT2). Valle de Laderas Tendidas (VLT1 y VLT2), Meseta basáltica con cañadas (MB1 y MB2).

**Tabla 8.** Características de sitios de muestreo y su uso en Maravatío Michoacán.

No. sitio	Coordenada Latitud N	Coordenada Longitud W	m en %	Geología	Textura	Prof. cm	Uso	Unidad Suelo
1	19°53'52.6"	100°14'27.15"	1-3	Basalto	Fina	+30	Maíz-R	Vp
2	19°56'32.7"	100°19'30.27"	>15	Andesita	Gruesa	-30	C-MEC	Re
3	19°54'27.72"	100°22'5.88"	5-10	Andesita	Media	+30	Maíz R	J
4	19°53'21.56"	100°35'0.76"	1-3	Andesita	Gruesa	+30	Maíz t	T
5	19°52'24.19"	100°35'2.63"	5-10	Andesita	Gruesa	+30	Pera	T
6	19°54'42.04"	100°34'3.59"	>20	Andesita	Gruesa	-30	P-C-MEC	Hh
7	100°34'3.59"	100°32'3.57"	5-10	Andesita	Gruesa	+30	Pastizal	T
8	19°46'57.12"	100°27'52.50"	1-5	Andesita	Fina	+30	Cebada	W
9	19°47'35.71"	100°27'16.24"	5-10	Andesita	Media	+30	Agave T	W
10	19°48'48.74"	100°24'29.48"	5-10	Andesita	Media	-30	Herbácea	Re
11	19°50'18.18"	100°23'55.16"	1-3	Basalto	fina	+30	Sorgo	Vp
12	19°49'24.21"	100°23'9.52"	1-5	Basalto	Fina	+30	Maíz	Vp
13	19°50'1.97"	100°21'10.84"	>10	Andesita	Media	+30	Maíz	Hh
14	19°50'50.98"	100°23'1.04"	>15	Andesita	Gruesa	-30	MEC	Re
15	19°52'7.76"	100°24'44.62"	1-3	Basalto	Fina	+30	Maíz	Vp
16	19°53'57.05"	100°15'21.78"	1-3	Basalto	Media	+30	Sorgo	W
17	19°53'15.35"	100°16'47.14"	1-5	Basalto	Gruesa	-10	MEC	Li
18	19°52'59.51"	100°18'13.77"	5-10	Basalto	Fina	+30	M-Frijol	Vp
19	19°52'30.65"	100°18'33.93"	>20	Basalto	Gruesa	-10	Q-C-MEC	Li
20	19°53'3.88"	100°19'0.422	>20	Andesita	Gruesa	-30	Agave T	Re
21	19°53'49.74"	100°24'50.70"	1-3	Basalto	Fina	+30	Pastizal	Vp

Fuente: elaboración propia con el trabajo de campo.

C: Casahuate, MEC: Matorral espinoso craucicaule, Q: Encino, P: pastizal, T: tequila, M: Maíz

Vp: vertisol pelico, Re: regosol. T: andosol, W: Planosol, Li: Litosol, J: Fluvisol, R:riego,

Hh: Phaeozem haplico, t: temporal, m: pendiente

6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La relación del relieve, suelo, clima son importantes para estimar los periodos de crecimiento y su uso por parte de los campesinos, técnicos, geógrafos agrícolas e ingenieros agrónomos. Para estimar los riesgos en la producción agropecuaria, ya que las características del suelo como pendiente, profundidad y textura son fundamentales para almacenar y retener humedad para los cultivos y las vegetación natural e inducida.

Al tener calculados los días que dura un periodo de crecimiento, se puede recomendar que variedad de cultivo de maíz, frijol, sorgo, u otros cultivos de gramíneas, leguminosas e incluso que hortaliza de ciclo corto se pueden sembrar en buenas condiciones de humedad.



Los agrombientes no favorables para la producción agrícola y ganadera, como sucede en los territorios de sierra, y lomeríos con pendiente más de 15%, no se deben usar para dicha actividad. Y debe darse prioridad a la conservación de la vegetación de bosque y selva baja caducifolia.

La producción agrícola en el Occidente de México, donde se ubica el estado de Michoacán y el municipio de Maravatío, han sido estudiados por Medina-Barrios (2012); este autor investiga la variabilidad del periodo de crecimiento y alteraciones con el fenómeno de El Niño y la Oscilación del Sur, ENOS. Ya que lo anterior influye en las variaciones en el clima y su efecto en la agricultura, principalmente a través de la precipitación en los meses de mayo a septiembre. Periodo donde se siembra, crece y se produce cultivos básicos en dicha región.

En el anterior estudio, se trabajó con estaciones climáticas y con datos de reportes del efecto del ENOS. En él se observa que en los años de 1982 y de 1997-1998, la combinación de El Niño y La Niña, ocasionaron pérdidas importantes en la producción agrícola de Michoacán, ya que el inicio del periodo de crecimiento, IPC., y la duración del periodo de crecimiento, DPC., se desfazaron ocasionado sequías.

En nuestro caso se puede concluir que aproximadamente el 70% del territorio de Maravatío Michoacán, tiene condiciones favorables para la producción de cultivos de ciclos agrícolas que fluctúen entre 130 a 150 días. El resto debe usarse como espacios de conservación de los recursos naturales y para actividades de recreo, pero de manera controlada.

El concepto de agroambiente, propuesto por Baca et al. (1992), Romero et al. (2003) es apropiado para el estudio de diferenciar el territorio del municipio de Maravatío, ya que se conjugan los aspectos del ambiente natural con el uso del suelo, agrícola, ganadero y forestal. Concepto que es retomado en otras investigaciones, al respecto se pueden consultar los trabajos de Torres-Lima (2006) y Chacón (2022)

Por cambios de clima en los últimos 50 años, como lo menciona el IPCC (2019), se hace necesario tener datos de estaciones climatológicas, para realizar cálculos de los periodos de crecimiento, y tratar de que las fechas de siembra de cultivos en condiciones de secano, sean los más exactas, para no herrar y tener cultivos con humedad suficiente para que cumplan las etapas fenológicas de la planta hasta llegar a la fructificación y su cosecha.

En el caso de Michoacán y el municipio de Maravatío, se tiene como antecedente que, en el año 2016, se presentó una investigación titulada: Cambio climático y vulnerabilidad agrícola municipal en Michoacán, por Ortiz-Paniagua, (2016), donde indagó la vulnerabilidad por cada municipio, a través de nueve indicadores sobre los productores agrícolas, la diversificación productiva y su importancia municipal-regional de la agricultura. Como resultado halló que más de 60% del territorio michoacano se encuentra en condiciones de vulnerabilidad media, alta o muy alta. Lo que indica que es necesario aplicar medidas que mitiguen la vulnerabilidad y acrecienten las capacidades municipales en los aspectos técnicos, uso de mejor tecnología en manejo del agua, y acceso a financiamiento. En la anterior evaluación Maravatío tiene un índice de vulnerabilidad en la producción de productos agrícolas de 0.46.

Por lo que consideramos que el tema de investigación realizado es importante como lo señala Jori (2009) que indica el cambio del clima en las últimas décadas y su importancia en el ambiente relacionado con el componente social. También la FAO (2022) señala que el clima y su influencia en la producción agrícola es prioritaria y menciona que el cambio climático amenaza la producción de alimento y con ello la seguridad alimentaria, y puede traer problemas de hambruna a nivel local y a otros niveles más amplios. Maravatío, con los datos analizados en las estaciones climatológicas, no había tenido graves problemas, pero en este año 2023, la presencia y efecto de El Niño puede ocasionar decremento en la producción.

La zonificación por agroambientes que se planteó en el objetivo del trabajo es relevante, ya que con ella podemos delimitar los espacios de influencia de las estaciones climatológicas y tener más información sobre la duración del periodo de crecimiento y en consecuencia proponer que cultivo sembrar.

Agradecimientos y financiación

Esta investigación se realizó con el apoyo económico de la Subdirección de Investigación de la Universidad Autónoma Chapingo, a través, del Centro de Investigación en Recursos Naturales y Medio Ambiente. Así como del apoyo de recursos materiales de la Dirección de Centros Regionales Universitarios.



Declaración responsable y conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés o potencial con relación a la publicación de este artículo.

La contribución de cada autor al presente artículo ha sido:

- Genaro Aguilar Sánchez: Investigación bibliográfica, censal y cartográfica, metodología, trabajo en gabinete y campo. Redacción y revisión.
- Daniel Aguilar Sánchez: Preparación de cartografía, elaboración final de mapas y revisión de estos.

REFERENCIAS

- Aguilar-Sánchez, G. (1995). *Diferenciación agroclimática de la región Queréndaro-Morella, Michoacán*. Instituto de Geografía-UNAM.
- Arellano et al. (2022). Edaphoclimatic zonig of cassava (manihot esculenta crantz) for sustainable production of bioproducts. *Revista Geográfica Norte Grande*, 361-383. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022022000100361>
- Baca-Del Moral, J. (1992) Regionalización agrícola de las huastecas, agroambientes, y zonas agrícolas. *Revista de Geografía Agrícola*, (17), 8-21.
- Bernal Morales, R., Velasco Hernández, M^a A., Morales Acoltzi, T., Hernández Vázquez, M., Orozco Flores, S., & Jiménez López, J. (2020). Impact of climate variability on rainfed agriculture in the state of Tlaxcala, Mexico. *Agricultura Sociedad y Desarrollo*, 17, 713-733. <https://doi.org/10.22231/asyd.v17i4.1401>
- Bishnoi, O.P. (1980). The behaviour of moisture adequacy index and its utilization for exploiting the agricultural potential in Punjab and Haryana. *MAUSAM*, 31(1). 157-164. <https://doi.org/10.54302/mausam.v31i1.4298>
- Chacón Navarro, M. (2022). *Sistematización de avances en Agroambiente y Acción Climática en el Sector Agropecuario de Costa Rica*. Ministro de Agricultura y Ganadería. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/cos214887.pdf>
- Conde Ferrer R. Ma., & Diana L (2000). Estudio de la vulnerabilidad de la agricultura de maíz de temporal mediante el modelo CERES-MAIZ. In C. Gay, *México: una visión hacia el siglo XXI: El cambio climático en México* (pp. 93-110). INE-UNAM.
- Conde-Ferrer, R. Ma. (1997). Vulnerabilidad de los cultivos de maíz de temporal en México al cambio climático. *Clima*, 16-23.
- FAO (1990). *Los cambios climáticos en las actividades agrícolas, ganaderas y forestales*. Geografía y Desarrollo, 65-65.
- FAO (2022). Estrategia de la FAO sobre el cambio climático 2022-2031. FAO-ONU. <https://www.fao.org/3/cb7099es/cb7099es.pdf>
- FAO (2009). *Guía para la descripción de suelos*. ONU. <https://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf>
- García, B. (1979). *Estructura metodológica para la caracterización agroecológica de áreas por procedimientos cuantitativos de análisis y su zonificación*. Colegio de Posgraduados de Texcoco (México). <http://catalogo.colpos.mx/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=14468>
- García, N. (1988). *Zonificación agroecológica de los principales cultivos bajo riego en el estado de Guanajuato*. Colegio de posgraduados de Texcoco (México). <http://catalogo.colpos.mx/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=16830>
- Gobierno (2019). *Plan de desarrollo municipal. Maravatío, Michoacán*. Morelia, Michoacán. Gobierno de Michoacán. <http://congresomich.gob.mx/file/5a-8019.pdf>
- INEGI. (2005). *Guía para la interpretación de cartografía: uso potencial de suelo*. Aguascalientes, México. SPP. <https://idefor.cnf.gob.mx/documents/847>
- INEGI (15 de noviembre de 2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Maravatío, Michoacán de Ocampo. Clave geoestadística 16050*. SPP.
- INEGI (18 de junio de 2010). *Mapa digital de México. Proyecto básico de información*. INEGI. SPP. <https://www.inegi.org.mx/temas/mapadigital/>
- INEGI (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Maravatío, Michoacán*. Secretaría de programación y presupuesto de Michoacán.
- IPCC (2019). *Intergovernmental Panel on Climate Change*. OMM-PNUMA. <https://www.ipcc.ch/2019/>



- Jori-García, G. (2009). El cambio climático como problema y el dialogo social como solución. *Investigaciones Geográficas*, 48, 125-160. <https://doi.org/10.14198/INGEO2009.48.05>
- Larios, R. H. (1992). Fisiografía, ambientes y uso agrícola de la tierra en Tabasco. *Revista de Geografía Agrícola*, 34-47.
- Medina Barrios, M., Granados Ramirez., & Cortina Cerdeña, V.L (2012). Variabilidad del periodo de crecimiento y alteraciones con el fenómeno del ENOS. In R. Granados, *Centro-Occidente de México: Variación climática e impactos en la producción agrícola* (p. 223). UNAM-I de G. <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/book/25>
- Monterroso-Rivas, A. (2011). Evaluación de la idoneidad actual y potencial del maíz de secano bajo escenarios de cambio climático en México. *Atmósfera*, 24. <https://www.revistascca.unam.mx/atm/index.php/atm/article/view/23801>
- Olivares-Campos, B.O., Paredes, F., Rey, J.C., Lobo, D., & Galvis-Causil, S. (2021). The relationship between the normalized difference vegetation index, rainfall, and potential evapotranspiration in a banana plantation of Venezuela. *Journal of Soil Science and Agroclimatology*, 18(1), 58-64. <https://doi.org/10.20961/stjssa.v18i1.50379>
- Ortiz-Paniagua, et al. (2016). Cambio climático y vulnerabilidad agrícola municipal en Michoacán. In AMECIDER-ITM, 21° *Encuentro Nacional sobre Desarrollo Regional en México* (p. 320). AMECIDER-ITM.
- Pájaro-Huertas, D. (1988). Estimación del periodo de crecimiento por disponibilidad de agua y libre de heladas para la República Mexicana. *Revista de Geografía Agrícola*, 119-125.
- Papadakis, J. (1961). *Climatic Tables for the World*. Buenos Aires. <https://doi.org/10.1097/00010694-196201000-00041>
- Papadakis, J. (1980). *El clima, con especial referencia a los climas de América Latina, Península Ibérica y Excolonias Ibéricas y sus potencialidades agropecuarias*. Editorial Albatros.
- Rivera-del Río, R. (1989). *Fundamentos para la zonificación en base a índices de disponibilidad de humedad: caso Zacatecas*.
- Rivera, P., & Foladori, G. (2012). *Medio ambiente e insustentabilidad en Zacatecas*. Colegio de la Frontera Norte-Juan Pablos Editores.
- Romero Peñaloza, J., Peña de Paz, F., Ortiz Calderón, A., Pompa López I.Y., & Valdivia Carreón, E. (2003). *Agricultura y recursos naturales, en la cuenca del lago de Cuitzeo, Michoacán*. DCRU-UACH.
- Romo, F. (1985). *Zonas con potencial agroclimático para la producción de cinco oleaginosas bajo temporal en la República Mexicana*. Colegio de Posgraduados de Texcoco (México). <http://catalogo.colpos.mx/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=16427>
- Ruiz Corral, J.A., Medina García, G., González Acuña, I.J., Flores López, H.E., & Ramírez Ojeda, G. (2013). *Requerimientos agroecológicos de cultivos*. INIFAP. https://www.researchgate.net/publication/343047223_REQUERIMIENTOS_AGROECOLOGICOS_DE_CULTIVOS_2da_Edicion
- Ruiz-Corral, J.A. (2011). Cambio climático y sus implicaciones en cinco zonas productoras de maíz en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 309-323. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000800011
- Salazar, M., Méndez, S., Caballero, C.J., Hernandez Mendo A., Dillanes, R.N., & Rojas, R, A (1994). Los ambientes agroecológicos en el suroeste de Oaxaca. En V. D. Licona, *Aprovechamiento de los recursos naturales en la agricultura mexicana* (p. 464). DCRU-UACH.
- SEMARNAT. (2013). *Estrategia Nacional de Cambio Climático visión 10-20-40*. SEMARNAT. <https://www.gob.mx/inecc/documentos/estrategia-nacional-de-cambio-climatico-vision-10-20-40>
- SMN-Conagua. (2021). *Normales climatológicas del estado de Michoacán*. <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=mich>
- Thiessen, A., & Alter, C. (1911). Climatological Data for July. *Monthly Weather Review*, 39(7), 1082-1084. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1911\)39<1082b:PAFLA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1911)39<1082b:PAFLA>2.0.CO;2)
- Torres-Lima, P. (2006). Dinámica agroambiental en áreas periurbanas de Guadalajara y el Distrito Federal. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 66-82. <https://doi.org/10.14350/rig.30012>
- Williams, G.D.V. (1983). Agrolimatic resources analysis an example using an index derived an applied for Canada. *Agricultural meteorology*, 28(1) 31-47. [https://doi.org/10.1016/0002-1571\(83\)90021-3](https://doi.org/10.1016/0002-1571(83)90021-3)
- Zarazúa, V. P. (2011). Impactos del cambio climático sobre la agroclimatología del maíz en Ciénega de Chapala, Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 351-363. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i7.2996>