

El clima como integrador de ecosistemas

Andrea Bolongaro Crevenna Recaséns y Vicente Torres Rodríguez

Introducción

Morelos presenta una gran diversidad climática por a sus atributos biogeográficos y las características físicas y morfológicas del relieve. Por un lado, el territorio estatal se encuentra en el límite entre dos regiones biogeográficas, la Neártica al norte, y la Neotropical al sur, es decir, está en la zona de transición entre estas dos grandes regiones, lo que contribuye a su gran riqueza natural. La zona norte del estado, ubicada en el Eje Neovolcánico Transversal coincide en gran medida con la zona de contacto entre la región Neártica y la Neotropical (figura 1).

A su vez, la ubicación del estado coincide con la zona de transición entre los sistemas montañosos del sur (Sierra Madre del Sur) y del centro del país (Eje Neovolcánico Transversal) también llamado Cinturón Volcánico Transmexicano (véase *Medio físico* en esta obra). Así, se pueden definir tres grandes regiones fisiográficas características de Morelos: 1) Eje Neovolcánico Transversal en la parte norte; 2) Valles Intermontanos o zona de transición entre los macizos montañosos en la parte central; y 3) la zona sur donde comienza la Sierra Madre del Sur (figura 2; Aguilar 1990).

En la parte norte del estado se encuentra el macizo de bosque templado de coníferas más importante, dentro del cual se ubica el Corredor Biológico Chichinautzin que es la zona más relevante de recarga de acuíferos en el territorio estatal. La región de Valles Intermontanos presenta una topografía accidentada (mesetas y barrancas), con valles agrícolas, suelos fértiles, zonas de alojamiento de corrientes subterráneas y la mayor concentración urbana y poblacional. La zona sur se encuentra el macizo de selva baja caducifolia más importante del estado, que incluye la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla.

Así, la gran variedad de atributos geográficos y de relieve del territorio, como son latitud, altitud, pendiente topográfica y orientación de las laderas, definen en gran medida el clima del estado, el cual a su vez se constituye como una variable determinante en la distribución de las especies y en el establecimiento de los ecosistemas.

Caracterización climática

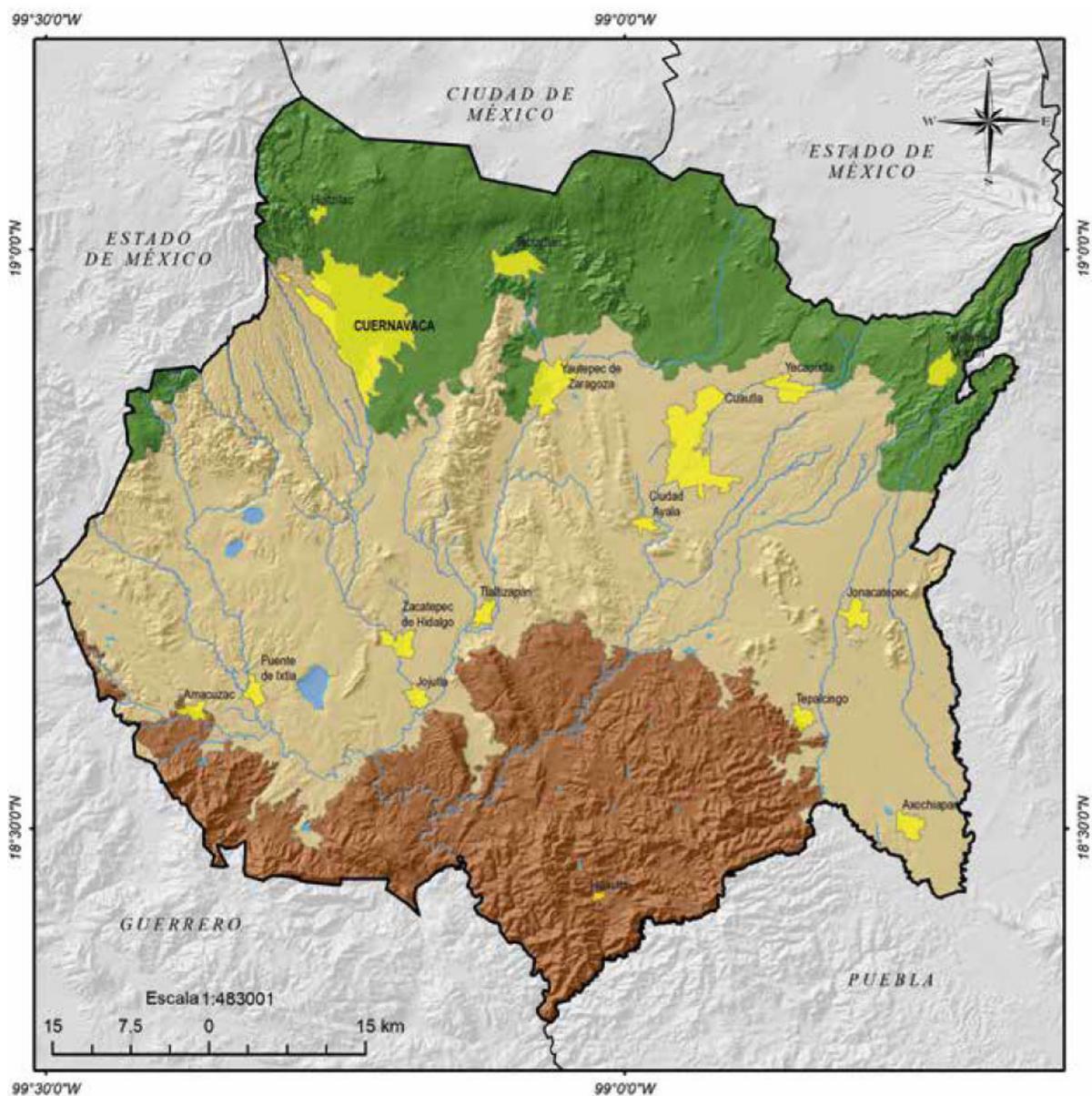
Morelos presenta una gran diversidad climática, sin influencia marina dominante, no obstante, en ocasiones se ve afectado por fenómenos del Golfo de México o del Océano Pacífico. De manera general, el clima que predomina es el cálido subhúmedo en la parte centro y sur de la entidad, mientras que en la parte norte se tiene una franja de clima templado subhúmedo y en la parte más alta hay una zona con clima frío (García 1973). La temperatura media anual es de 21.5°C, el mes más frío es enero con una temperatura mínima promedio de 10°C y los meses más cálidos son abril y mayo con temperaturas máximas promedio de alrededor de 32°C (figura 3).

Los cinco tipos de clima que presenta la entidad de acuerdo con la clasificación de climas de Köppen, modificada por García (1973) se describen a continuación:

Clima cálido subhúmedo

Cubre 68% del territorio estatal, principalmente en las zonas centro y sur (figura 4). Se caracteriza por una temperatura media anual que oscila entre 22 y 26°C, con lluvias en verano (mayo a octubre) y precipitaciones anuales de entre 850 y 900 mm. Las precipitaciones más altas se presentan de junio a septiembre (figura 4). En este clima se distribuye principalmente la selva baja caducifolia, con bosques aislados de encino y algunas planicies

Bolongaro-Crevenna, A. y V. Torres Rodríguez. 2020. El clima como integrador de ecosistemas. En: *La biodiversidad en Morelos. Estudio de Estado 2*. Vol. I. CONABIO, México, pp. 299-309.



SIMBOLOGÍA

Limites administrativos

- Morelos
- Límites estatales
- Principales áreas urbanas por región ecológica

Rasgos hidrológicos

- Cuerpo de agua
- Principales ríos

Provincias fisiográficas

- Eje Neovolcánico Transversal
- Sierra Madre del Sur
- Zona de transición

Figura 2. Distribución de las provincias fisiográficas de Morelos. Fuente: elaboración propia.

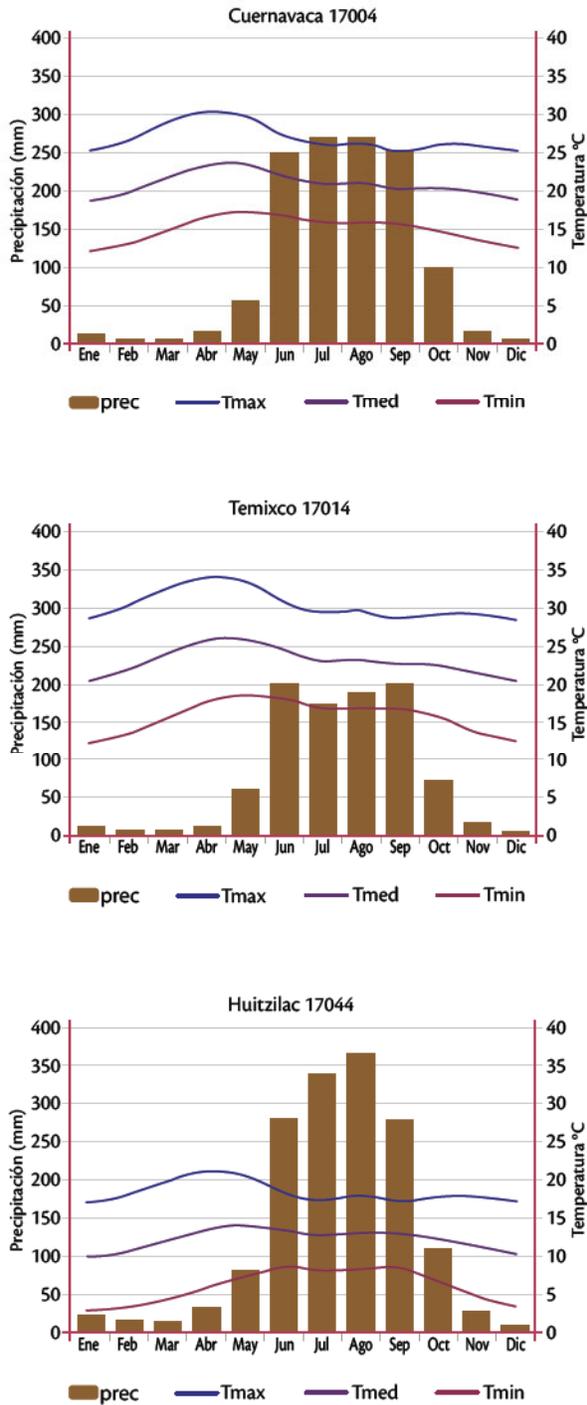


Figura 3. Ejemplo de climogramas característicos de los tipos de clima cálido subhúmedo (Huatla), semicálido subhúmedo (Cuernavaca) y templado subhúmedo (Huitzilac) con el promedio mensual de la precipitación (prec) y de las temperaturas, media, máxima y mínima del periodo 1955-2012. Fuente: elaboración propia con datos de SMN 2016.

con pastizales (Contreras-MacBeath *et al.* 2006). Entre los municipios con clima cálido subhúmedo se encuentran Cuautla, Huautla, Axochiapan, Jojutla, Zacatepec y Tepalcingo.

Clima semicálido subhúmedo

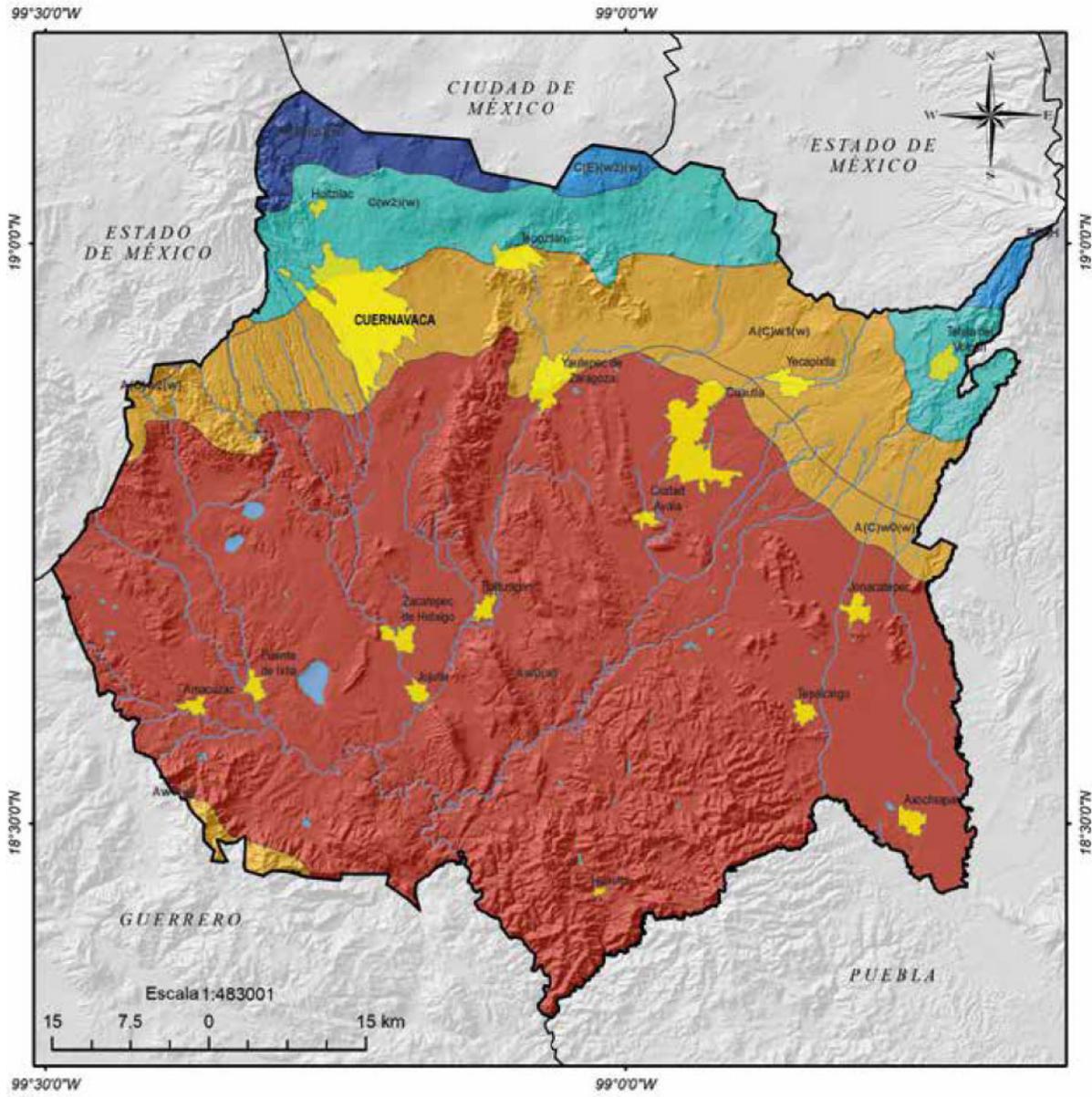
Cubre 19% de la superficie y se distribuye en la parte norte del estado. Se caracteriza por una temperatura media anual que oscila entre 18 y 22°C, con lluvias en verano con una precipitación anual acumulada de entre 1 000 y 1 250 mm. Las mayores precipitaciones ocurren en los meses de junio a septiembre. Los tipos de ecosistemas que se distribuyen en esta franja climática son el bosque de encino, la selva baja caducifolia y el pastizal inducido (Contreras-MacBeath *et al.* 2006). Ejemplos de municipios con este clima son: Cuernavaca, Tepoztlán, Tlayacapan, Ocuituco y Atlatlahucan.

Clima templado subhúmedo

Representa 10% de la superficie y se ubica en la parte norte de la entidad. Se caracteriza por tener temperaturas promedio anuales de entre 12 y 18°C, con lluvias en verano y una precipitación anual acumulada de entre 1 200 y 1 400 mm. De junio a septiembre se presentan las precipitaciones más altas y en el municipio de Huitzilac se tienen registrados valores de lluvia máxima anual acumulada de 2 086 mm. En la franja del clima templado subhúmedo se encuentran los bosques de pino-encino y el bosque mesófilo de montaña que se distribuyen en la parte norte de la entidad (Contreras-MacBeath *et al.* 2006), donde se encuentran los municipios de Huitzilac, Tlalnepantla, Totolapan y Tetela del Volcán, así como los extremos norte de Tepoztlán y Cuernavaca.

Clima semifrío subhúmedo

Sólo 1% de la superficie de la entidad tiene este tipo de clima y está ubicado en la zona norponiente del municipio de Tlalnepantla y en las faldas del volcán Popocatepetl. Se caracteriza por temperaturas medias anuales entre 5 y 12°C, con lluvias en verano. En este clima se desarrollan los bosques de pino (*Pinus hartwegii*) y de oyamel (*Abies religiosa*), así como zacatonal de alta montaña (Contreras-MacBeath *et al.* 2006).



SIMBOLOGÍA

- | | | |
|---|--|---|
| <p>Límites administrativos</p> <ul style="list-style-type: none"> Morelos Límites estatales Principales áreas urbanas por región ecológica | <p>Rasgos hidrológicos</p> <ul style="list-style-type: none"> Cuerpo de agua Principales ríos | <p>Tipo de clima</p> <ul style="list-style-type: none"> Cálido subhúmedo Semicálido subhúmedo Templado subhúmedo Semifrío subhúmedo Frío |
|---|--|---|

Figura 4. Distribución de los cinco tipos de clima en Morelos. Fuente: INEGI 2008.

Clima frío

Cubre 2% de la superficie estatal y se ubica en la parte norte del municipio de Huitzilac y la zona más alta del volcán Popocatepetl. Se caracteriza por una temperatura media anual menor a los 5°C, con una elevada incidencia de heladas. En este clima se desarrolla la vegetación alpina o de páramo de altura como el zacatonal de alta montaña (Contreras-MacBeath *et al.* 2006).

Regiones ecológicas y clima

Como se vio en el capítulo *Regionalización ecológica* en esta obra, Morelos presenta 14 regiones ecológicas definidas en función de atributos como altitud, geomorfología, vegetación y la influencia local de microcuencas.

Las regiones ecológicas presentan una diversidad de climas inclusive dentro de ellas mismas (cuadro 1). Por ejemplo, en la región ecológica del Valle de Cuahunáhuac ocurren tres climas: el cálido subhúmedo, el templado subhúmedo y el semicálido subhúmedo (figura 5). Fundamentalmente, esta diversidad de climas obedece a los cambios altitudinales tan notorios que se presentan de norte a sur en dicha región ecológica. La variación altitudinal es una de las características más importantes que modulan los parámetros climáticos y de distribución de muchas especies.

Análisis hidroclimático por región ecológica

Se realizó un análisis de las condiciones hidroclimáticas de cada una de las regiones ecológicas. Para ello, se elaboraron mapas de temperatura media anual (°C), precipitación total (mm), evapotranspiración real (mm) y de agua excedente (mm), utilizando la metodología de balance hídrico propuesta por Bolongaro-Crevenna (2012). Este tipo de método tiene como particularidad obtener valores por pixel (100x100 m) de las variables climatológicas a partir de la interpolación por el método de Cokriging (Deutsch y Journel 1998) de los datos normalizados obtenidos de 21 estaciones climatológicas de Morelos.

Respecto al cálculo de la evapotranspiración, ésta se obtuvo por el método propuesto por Thornthwaite (1957), en el que se consideran parámetros de precipitación, radiación solar y latitud de cada estación

climatológica estudiada. El concepto de agua excedente corresponde a la cantidad de agua disponible para infiltración o escurrimiento superficial, el cual se calcula a partir de la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración real (P-ETr, figura 6; Bolongaro-Crevenna *et al.* 2013).

Los resultados de este análisis muestran una caracterización hidroclimática por tipo de ecosistema predominantes para cada región ecológica (figura 2). Asimismo, con base en ello, es posible tener una serie de patrones de integración hidroclimática de las mismas.

En este sentido, se puede observar que la zona de mayor precipitación pluvial corresponde a la Sierra del Chichinautzin, con un promedio de 1 328 mm por año y que la precipitación mínima se presenta en la Sierra de Huautla con un valor promedio de 906 mm por año. En estas mismas regiones ecológicas es notorio que el porcentaje de agua evaporada en la primera es 41.3%, mientras que para el caso de la Sierra de Huautla es 76.5% (cuadro 2). Este contraste de valores se refleja directamente en el tipo de vegetación y el sustento de ésta, de tal forma que el bosque de coníferas predomina en la Sierra del Chichinautzin y la selva baja caducifolia en la región de Huautla. El excedente de agua para cada región también es diferente: en la Sierra del Chichinautzin queda disponible 58.5% del agua para funciones de alimentación de manantiales e infiltración, así como para el sustento de los bosques, mientras que en la región Sierra de Huautla, el porcentaje disponible es de sólo 23.5% para las mismas funciones.

Por su parte al Glacis de Buenavista, se le han atribuido condiciones pobres en funciones hidrológicas, a grado tal, que incluso se intentó ubicar en él un relleno sanitario ante el argumento de ausencia de agua (Marín *et al.* 2012). Sin embargo, dicha región ecológica muestra valores sorprendentes: un valor promedio de precipitación de 1 282 mm/año y una evapotranspiración real de 48.4%, por lo que 51.5% del agua que se precipita queda disponible para la formación de escurrimientos, manantiales e infiltración a los acuíferos.

Otro caso de interés corresponde a la zona ecológica de El Texcal, donde llueven 1 166 mm anuales y se infiltra 50.3% del agua ya que no existen corrientes fluviales que lleven el agua fuera de esta región, y que la presencia de basaltos fracturados favorece el proceso de recarga de acuíferos en la zona.

Cuadro 1. Tipo de clima por región ecológica.

Región ecológica	Superficie (km ²)		Tipo de clima	Porcentaje (%)
El Texcal	13.80	100.10	Cálido subhúmedo	13.80
	2.90		Templado subhúmedo	2.90
	83.40		Semicálido subhúmedo	83.30
Glacis de Buenavista	30.60	160.70	Cálido subhúmedo	19.00
	18.40		Templado subhúmedo	11.40
	111.80		Semicálido subhúmedo	69.60
Lagos de Morelos	385.70	385.70	Cálido subhúmedo	100.00
Lomas del Norte	101.50	152.50	Templado subhúmedo	66.60
	50.90		Semicálido subhúmedo	33.40
Popocatepetl	98.60	195.50	Templado subhúmedo	50.40
	19.20		Semifrío subhúmedo	9.80
	0.70		Frío	0.40
	76.90		Semicálido subhúmedo	39.40
Sierra de Huautla	908.70	931.30	Cálido subhúmedo	97.60
	22.60		Semicálido subhúmedo	2.40
Sierra del Chichinautzin	240.70	442.40	Templado subhúmedo	54.40
	31.50		Semifrío subhúmedo	7.10
	108.60		Frío	24.50
	61.60		Semicálido subhúmedo	13.90
Sierras Centrales	497.00	503.50	Cálido subhúmedo	98.70
	6.50		Semicálido subhúmedo	1.30
Sierras de Occidente	351.50	406.40	Cálido subhúmedo	86.50
	54.90		Semicálido subhúmedo	13.50
Valle Agrícola Ayala-Yautepec	226.90	273.10	Cálido subhúmedo	83.10
	46.20		Semicálido subhúmedo	16.90
Valle Agrícola Central	170.00	170.00	Cálido subhúmedo	100.00
Valle Agrícola de Axochiapan	281.20	281.20	Cálido subhúmedo	100.00
Valle de Cuauhnáhuac	109.40	214.80	Cálido subhúmedo	50.90
	10.50		Templado subhúmedo	5.00
	94.90		Semicálido subhúmedo	44.10
Valles y Cerros Orientales	348.00	657.80	Cálido subhúmedo	52.90
	309.80		Semicálido subhúmedo	47.10

Fuente: elaboración propia.

De manera general, las zonas de uso agrícola presentan valores altos de evapotranspiración, como ocurre en las regiones ecológicas del Valle Agrícola Oriental (72.5%), Lagos de Morelos (72.2%) y Valle Agrícola Ayala-Yautepec (65.9%). Los altos valores de evapotranspiración real repercuten en una disminución del agua excedente para el escurrimiento y la infiltración (cuadro 2).

Conclusiones

Por su situación geográfica y tipos de relieve, Morelos presenta una gran variedad de climas y microclimas, lo que a su vez contribuye con la riqueza natural y la gran biodiversidad presente en el estado.

El clima influye directamente en la distribución de los ecosistemas, ya que determina las especies vegetales que pueden establecerse en cada ambiente. En particular, la precipitación y la temperatura son las variables climáticas que más influyen sobre los diferentes ecosistemas y cualquier cambio o modificación de alguna de éstas impactará directamente sobre los ecosistemas presentes.

En Morelos se presentan cinco tipos de clima, y el cálido subhúmedo es el que predomina en la mayor superficie del territorio estatal. Sin embargo, a nivel local se presenta una gran variedad de microclimas por la presencia de los gradientes altitudinales y el sistema de barrancas que hay en varias de las ecorregiones del estado.

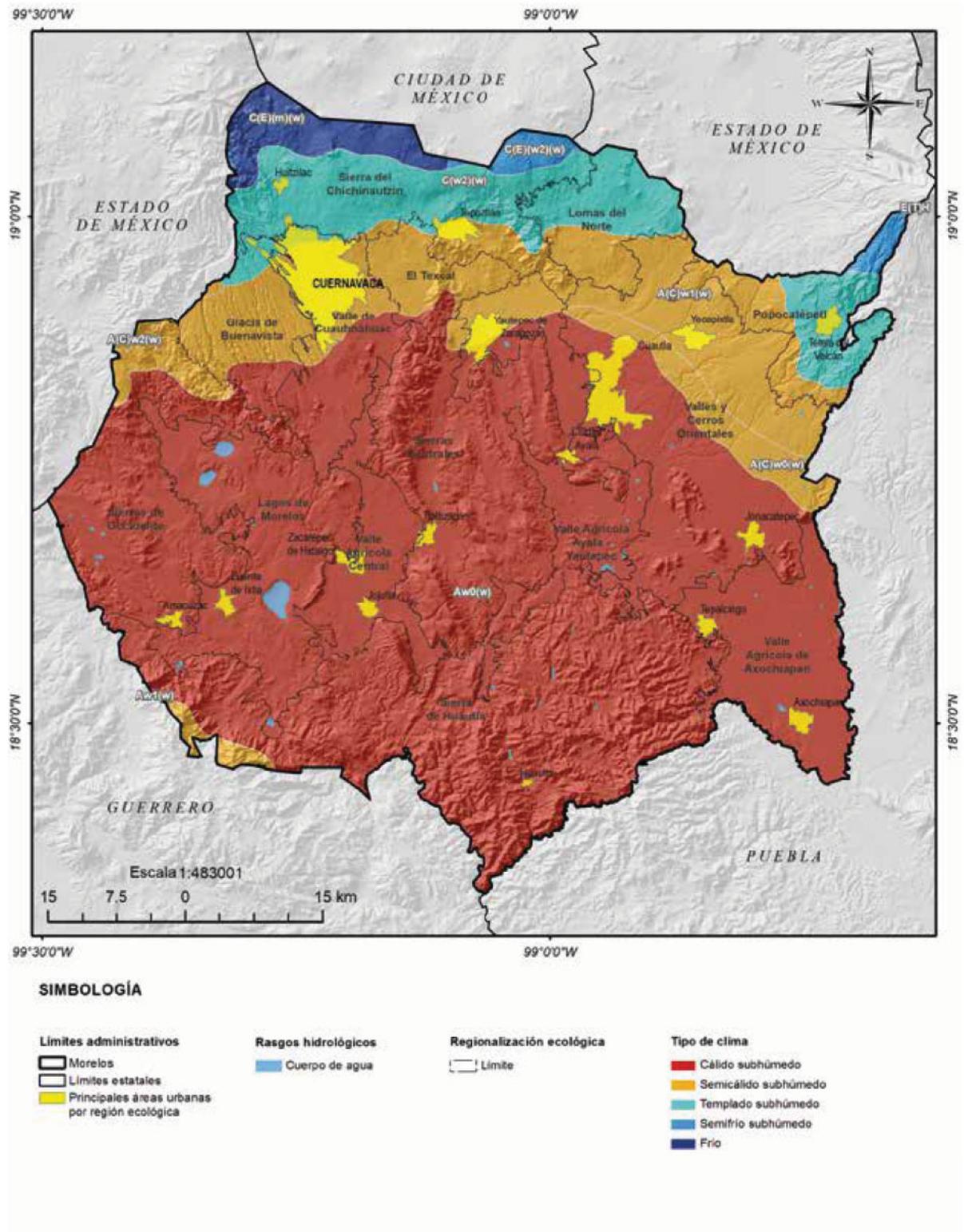


Figura 5. Regiones ecológicas con los cinco climas presentes en la entidad. Fuente: elaboración propia.

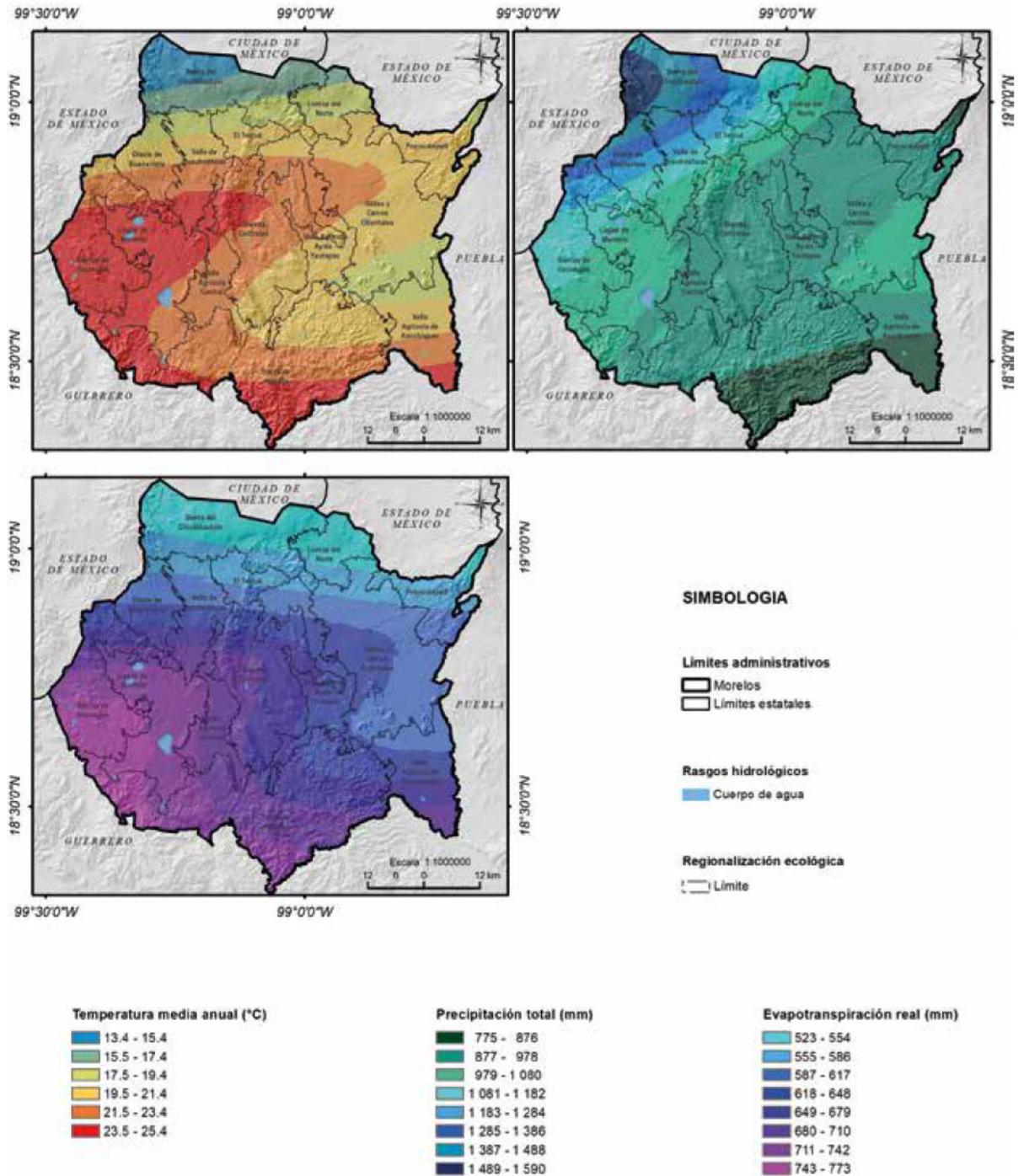


Figura 6. Temperatura media anual (izquierda), precipitación (derecha) y evapotranspiración real (abajo). Fuente: elaboración propia.

Cuadro 2. Condiciones hidroclimáticas y predominancia de ecosistemas en las regiones ecológicas de Morelos, de acuerdo con su porcentaje de agua excedente.

Región ecológica	Tipo de ecosistema predominante	Temperatura media (°C)	Precipitación total (mm)	Evapo-transpiración real total (mm)	Agua excedente (mm)	Evapo-transpiración (%)	Excedente (%)
El Texcal	Selva baja caducifolia	19.73	1 166	580	586	49.7	50.3
Glacis de Buenavista	Selva baja caducifolia	20.76	1 282	621	661	48.4	51.6
Lagos de Morelos	Bosque de galería y vegetación secundaria	23.88	1 009	728	281	72.2	27.8
Lomas del Norte	Bosque mixto de pino-encino y bosque de coníferas	18.54	1 007	545	462	54.1	45.9
Popocatepetl	Bosque mixto de pino-encino	20.32	913	574	339	62.9	37.1
Sierra de Huautla	Selva baja caducifolia	22.52	906	693	213	76.5	23.5
Sierra del Chichinautzin	Bosque mixto de pino-encino con parches de oyamel	16.19	1 328	549	779	41.3	58.7
Sierras Centrales	Selva baja caducifolia	22.20	948	663	285	69.9	30.1
Sierras de Occidente	Selva baja caducifolia	20.05	1 123	719	404	64.0	36.0
Valle Agrícola Ayala-Yautepec	Selva baja caducifolia y vegetación secundaria	21.10	956	630	326	65.9	34.1
Valle Agrícola Central	Selva baja caducifolia y vegetación secundaria	22.65	965	700	265	72.5	27.5
Valle Agrícola de Axochiapan	Bosque de galería y vegetación secundaria	20.94	902	640	262	71.0	29.0
Valle de Cuauhnáhuac	Bosque de galería	21.38	1 166	628	538	53.9	46.1
Valles y Cerros Orientales	Selva baja caducifolia y vegetación secundaria	20.41	952	605	347	63.6	36.4

Fuente: elaboración propia.

En el estado el ecosistema de bosque de coníferas se distribuye en la franja de clima templado subhúmedo que corresponde a la región ecológica Sierra del Chichinautzin, con un promedio de 1 328 mm por año; y la selva baja caducifolia se distribuye en la franja de clima cálido subhúmedo con precipitaciones promedio de 906 mm por año.

Por otro lado, es contrastante el porcentaje de evapo-transpiración en estas regiones ecológicas, que se refleja directamente en el tipo de vegetación presente y en la disponibilidad de agua para el sustento de ésta. Mientras que en la Sierra del Chichinautzin la evapotranspiración es de 41.3 %, en la Sierra de Hautla es de 76.5%.

De la misma manera, el excedente de agua para cada región también es contrastante, mientras en la Sierra del Chichinautzin queda disponible 58.5% de agua para funciones de alimentación de manantiales e infiltración, así como para el sustento de los bosques, en la región Sierra de Huautla el porcentaje disponible es de sólo 23.5% para las mismas funciones.

Es importante considerar que la pérdida de cobertura vegetal por deforestación y/o cambio del uso del suelo impacta no sólo sobre la conservación y protección de los ecosistemas, sino también en la modificación de los microclimas a nivel local y en la biodiversidad presente.

Referencias

- Aguilar, B.S. 1990. *Dimensiones ecológicas del estado de Morelos*. Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias-UNAM, México.
- Bologaro-Crevenna, A. 2012. *Variabilidad climática en el estado de Morelos y su impacto en la disponibilidad de agua*. Tesis de doctorado en ciencias en el área de recursos bióticos. Facultad de Ciencias Biológicas-UAEM, Cuernavaca.
- Bologaro-Crevenna, A., R.V. Torres, M.O. Pohle et al. 2013. Vulnerabilidad del recurso hídrico en el estado de Morelos ante el cambio climático. En: *Cambio climático: vulnerabilidad de sectores clave en el estado de Morelos*. M.L. Ortiz-Hernández y E. Sánchez-Salinas (comps.). UAEM, Cuernavaca, pp. 55-100.

- Contreras-MacBeath, T., J.C. Boyás y F. Jaramillo. 2006. *La diversidad biológica en Morelos: estudio del estado*. CONABIO/UAEM, México.
- Deutsch, C.V. y A.G. Journel. 1998. *GSLIB. Geostatistical software library and user's guide*. Oxford University Press, Inglaterra.
- García, E. 1973. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía-UNAM, México.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2008. *Mapa de climas de los Estados Unidos Mexicanos*. Unidades climáticas. Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. INEGI, México. En: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapas/>, última consulta: 29 de mayo de 2019.
- INEGI, CONABIO e INE. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad e Instituto Nacional de Ecología. 2007. *Ecorregiones de México*. Escala 1:1 000,000. INEGI/CONABIO/INE, México.
- Marín, L.E., V. Torres, A. Bolongaro et al. 2012. Identifying suitable sanitary landfill locations in the state of Morelos, México, using a Geographic Information System. *Physics and Chemistry of the Earth* 37:2-9.
- SMN. Servicio Meteorológico Nacional. 2016. *Normales climatológicas por estado. Información climatológica por estado*. En: <http://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-ver-estado?estado=mor>, última consulta: 11 de enero de 2017.
- Thornthwaite, W.C. y J.R. Mather. 1957. *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance*. Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, Nueva Jersey.