



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

**Caracterización del clima y su relación
con la distribución de la vegetación en
el suroeste del D.F., México**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
BIÓLOGO

P R E S E N T A:
CARLOS ENRIQUE DOBLER MORALES

DIRECTORA DE TESIS:
DRA. MARÍA ENGRACIA HERNÁNDEZ CERDA

CO-DIRECTORA DE TESIS:
DRA. LUCÍA ALMEIDA LEÑERO

2010



Hoja de Datos del Jurado

<p>1. Datos del alumno</p> <p>Apellido paterno Apellido materno Nombres Teléfono Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ciencias Carrera Número de cuenta</p>	<p>Dobler Morales Carlos Enrique 58490691 Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ciencias Biología 405060926</p>
<p>2. Datos del tutor</p> <p>Grado Nombres Apellido paterno Apellido materno</p>	<p>Dra. María Engracia Hernández Cerda</p>
<p>3. Datos del co-tutor</p> <p>Grado Nombre Apellido paterno Apellido materno</p>	<p>Dra. Lucía Almeida Leñero</p>
<p>4. Datos del sinodal 1</p> <p>Grado Nombre Apellido paterno Apellido materno</p>	<p>Dr. Oswaldo Téllez Valdés</p>
<p>5. Datos del sinodal 2</p> <p>Grado Nombre Apellido paterno Apellido materno</p>	<p>M. en C. Enrique Azpra Romero</p>
<p>6. Datos del sinodal 3</p> <p>Grado Nombre Apellido paterno Apellido materno</p>	<p>M. en C. Verónica Aguilar Zamora</p>
<p>7. Datos del trabajo escrito</p> <p>Título Número de páginas Año</p>	<p>Caracterización del clima y su relación con la distribución de la vegetación en el suroeste del D.F., México 50 2010</p>

Esta tesis se realizó gracias al apoyo del Macroproyecto: Manejo de Ecosistemas y Desarrollo Humano, UNAM SDEI-PTID-02, y del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica, UNAM IN219809.

Agradecimientos

A la Dra. Lucía Almeida, por toda la disposición y el apoyo que recibí para realizar mi tesis, y por involucrarme en los demás proyectos del laboratorio. De ella recibí enseñanzas que nunca olvidaré en mi formación profesional.

A la Dra. María Engracia Hernández, por su ayuda y dirección en el complicado campo de la climatología, por introducirme al oscuro mundo de la geografía, y por transmitirme un poco de los grandes conocimientos de “la Maestra” (y algunos de sus chismes).

Al Dr. Oswaldo Téllez, por su interés en el proyecto, sus comentarios, y por compartir su perspectiva climatológica “más moderna”.

A la M. en C. Verónica Aguilar, por su orientación cartográfica y en el manejo de SIGs.

Al M. en C. Enrique Azpra, por sus lecciones climatológicas.

Al Biol. Inti Burgos, por su apoyo en campo y co-protagonismo en Televisa.

A los integrantes del laboratorio Ecosistemas de Montaña/ Biogeografía/ Sinecología/ Alfredo Barrera: Gaby, Nihuib, Mónica, Bety, Víctor, Rubén, Rodrigo, Fior, Paula y Kurt (alguna vez...) que me brindaron compañía y buenos momentos.

A Alya, Julieta, y Mariana, por sus consejos de “personas mayores profesionales” y por hacer que el diario trabajar fuera más un placer que una obligación (en el laboratorio y congresos...).

A mis amigos de la Facultad: Hernán, Gabriel, Camilo, Jimena, Alicia, Miguel, Valerio, Norma, Lucía, Gina, Oscar, Santiago, Auti, Tanni y Anaid por su amistad científica tan apreciable. Le agradezco muchísimo a Mita, por su café super fuerte, las distracciones televisivas femeninas (The Hills, Next Top Model, etc.), sus lecciones y presencia, y por todas aquellas cosas que vivimos y compartimos.

A mis amigos del Madrid (de mi generación...): Tuti, Niño, Bussey, Vodo, Adolfo, Daniela, Lucía, Kuri, Ari y Gole, por las chelas, dominó y sesiones geek.

A mis amigos del Madrid (de la generación de arriba y anexos): Emilia, Carla, Salmerón, Mayi, Beto, Castel, Ana, Billie y Leo, por los vinos, carnes, San Miguel Chapultepec y la mala música (de Fernando y Mario).

A otros chilangos (que no son del Madrid): a Arriaga por el vandalismo; a Emiliano, Adrián y Pablo por el rock y poker; y a Verde por ampliar mi cultura musical.

A mi banda de Querétaro: Rober, Colucho, Frankie, Pok, Ove, Monjas, Glenn, Calatas, Gandhi, Ana, Sofía, Grillo, Archi, Samuel y Lugo, por...el Nuevo Continente... y por el queretarock.

A mi segunda familia: Karina, Priscilla, Regina, y en especial a Maggi, por el apoyo incondicional y su *aunt-love*. Al Opi por su ejemplo. A mi tía Doris por su orgullo UNAM. A mi numerosa familia Morales que sería imposible nombrar, pero en especial a mis abuelos José y Julieta. Y a Rich Careaga, por compartir y convivir (viendo el fut) mientras yo hacía esta tesis.

A Rocío, por su espíritu competitivo en lo que respecta a terminar la tesis (creo que gané)...y por supuesto, lecciones de historia, invaluable compañía y hartito cariño.

A mis hermanos: Marcos, Eric, y María, por no robarse mi cuarto en Querétaro y recibirme tan bien cada vez que voy.

Y a mis papás, Carlos y Gabriela, por confiar en el resultado que tendría dejar ir a su hijito a la gran ciudad de México. Por toda la motivación, empuje y ejemplo. Por el amor y los valores inculcados en mí. Por todas aquellas cosas que, al final, me ha formado (y formará) como persona y como biólogo. A ustedes les dedico mi tesis.

1. RESUMEN	1
2. MARCO TEÓRICO	2
2.1 CLIMA: ELEMENTOS, FACTORES Y ESCALAS	2
2.2 EL CLIMA EN UNA ZONA MONTAÑOSA	3
2.2.1 Radiación	3
2.2.2 Vientos	3
2.2.3 Temperatura	4
2.2.4 Precipitación	5
2.3 EL CLIMA Y SU RELACIÓN CON LA VEGETACIÓN	5
2.3.1 El efecto de los elementos del clima en las plantas	5
2.3.2 Los conceptos de "hábitat" y "continuum"	6
2.3.3 La respuesta de la vegetación al clima	7
3. OBJETIVO Y JUSTIFICACIÓN	8
4. ÁREA DE ESTUDIO	9
4.1 LOCALIZACIÓN	9
4.2 GEOMORFOLOGÍA, GEOLOGÍA Y EDAFOLOGÍA	9
4.3 HIDROLOGÍA Y GENERALIDADES DEL CLIMA	11
2.4 VEGETACIÓN	11
2.4.1 Comunidad de <i>Pinus hartwegii</i>	12
2.4.2 Comunidad de <i>Abies religiosa</i>	12
2.4.3 Comunidad de <i>Quercus spp.</i> con bosque mixto	12
5. MÉTODO	13
5.1 CARACTERIZACIÓN DEL CLIMA	13
Análisis de mapas publicados	13
Elaboración de mapas actualizados	16
5.2 RELACIÓN CLIMA-VEGETACIÓN	17
6. RESULTADOS	20
6.1 CARACTERIZACIÓN DEL CLIMA	20
6.1.1 El clima a partir de mapas publicados	20
6.1.2 El clima a partir de mapas actualizados	22
6.2 RELACIÓN CLIMA-VEGETACIÓN	29
6.2.1 Perfiles de vegetación	29
6.2.2 Cambio de distribución a lo largo de gradientes	31
6.2.3 Análisis de correspondencia canónico (ACC)	38
7. DISCUSIÓN	40
8. CONCLUSIONES	45
9. LITERATURA CITADA	47

1. RESUMEN

Se estudió el clima y su relación con la distribución de tres comunidades vegetales en las subcuencas de los ríos Magdalena, Eslava, y Regaderas-Viborillas. Éstas se enclavan en la Sierra de las Cruces, en el suroeste del Distrito Federal. Presentan un gradiente altitudinal (2470 a 3850 msnm) en el cual las comunidades se distribuyen en bandas relativamente definidas. Se elaboraron mapas de isotermas anuales (máximas, medias, y mínimas), isoyetas totales anuales, y tipos climáticos según el Sistema Modificado por García (2004) con base en datos provenientes de 39 estaciones meteorológicas. La temperatura en las subcuencas desciende conforme la altitud aumenta, presentando los pisos térmicos frío, semifrío y templado. Con respecto a la precipitación, el clima es subhúmedo, y su distribución coincide con los patrones descritos para montañas tropicales en donde el máximo se encuentra a altitudes medias. Los mapas climáticos se sobrepusieron a un mapa de comunidades vegetales y se definieron los intervalos climáticos en los que se distribuyen las comunidades y la variable climática que más influye en la presencia y abundancia de las especies. Estos resultados coinciden con los requerimientos climáticos reportados por otros autores: la comunidad de *Pinus hartwegii* se distribuye en las partes altas (~3200-3850 msnm) bajo condiciones climáticas homogéneas, aunque la baja temperatura es la variable que más influye en ella (4 a 9°C de t. media). La comunidad de *Abies religiosa* se distribuye a menor altitud que *Pinus* (~2800-3600 msnm) bajo una mayor variedad de condiciones climáticas, y muestra mayor afinidad por la variable precipitación presentándose en los valores más altos (950 a 1300 mm anuales). La comunidad de *Quercus spp.* con bosque mixto se distribuye en las partes bajas (~2400-3000 msnm) en una mayor variedad de condiciones climáticas, relacionándose mayormente con las altas temperaturas (10 a 15°C de t. media). Este estudio amplía el conocimiento sobre las exigencias climáticas de las comunidades del área de estudio, lo cual puede orientar planes de reforestación o restauración. También representa un registro actualizado del clima y de la vegetación, lo que posibilita monitorear cambios en ambas variables en un área de vital importancia para la ciudad de México, por su componente hídrico y su vegetación.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 CLIMA: ELEMENTOS, FACTORES Y ESCALAS

De entre los factores físicos que conforman el ambiente, el clima es el más importante, pues actúa sobre los otros modificándolos (García, 1980). Esta aseveración demuestra porque lugares con clima similar tienen un gran parecido en su vegetación e incluso en su tipo de suelo.

El clima es el estado más frecuente o promedio de la atmósfera en un lugar determinado (Hann, 1908; López, 1922 en: García, 1980). Cuando uno se refiere a éste, se toman en cuenta algunas variables climáticas registradas por muchos años. Las variables son también llamadas “elementos del clima” y representan las propiedades físicas de la atmósfera que lo definen (García, 1980; Orellana y Hernández, 2004). Los elementos del clima son: temperatura, precipitación y humedad, dirección y rapidez del viento, presión atmosférica, radiación e insolación y nubosidad (García, 1980; Orellana y Hernández, 2004). El estudio y análisis de la variabilidad de estos elementos permiten definir y caracterizar al clima de una zona.

Los elementos del clima son modificados por los “factores climáticos”. La interacción entre los elementos y los factores son los que hacen que el clima cambie de un lugar a otro. Entre los factores climáticos más importantes están la latitud y la altitud. La primera condiciona los rasgos climáticos dominantes a escala global, y la segunda modifica las condiciones definidas por la latitud a una escala local (Orellana y Hernández, 2004).

La altitud, junto con otros factores como la exposición, topografía, albedo, geoforma, etc., se vuelven más determinantes cuanto mayor es la escala de trabajo¹, pues son responsables de los cambios en el clima de un área pequeña. Por otro lado, la latitud, distribución de continentes y océanos, patrones generales de circulación, etc., no se consideran en la misma escala ya que determinan el clima de áreas mucho más grandes (Orellana y Hernández, 2004; Yoshino, 2005).

Debido a la diferente relevancia de los factores climáticos según la escala, la definición de la misma es importante en un estudio climático. Yoshino (1975, en: Oliver, 1981) definió las escalas de la climatología en cuatro clases que van de lo local a lo global. Esta clasificación se muestra en la tabla 1 y se expone su correspondencia con las escalas del estudio de la vegetación según Montieith (1981).

¹ El uso que se le da a "mayor escala" y "menor escala" en este estudio es el del enfoque ecológico. Esto quiere decir que a "mayor escala" el análisis será de un área pequeña con gran detalle. En el enfoque geográfico, una "mayor escala" se refiere a poca resolución en un mapa, abarcando una gran área (Arita y Rodríguez, 2001)

Tabla 1. Escalas en el estudio del clima (Yoshino, 1975; Montieth, 1981; Oliver y Hidore, 2002; Orellana y Hernández, 2004).

Escala	Definición	Escala de vegetación
Macroclima	Es el clima a escala global, es decir, de franjas latitudinales o continentes. Las variaciones a una misma latitud varían de acuerdo con la distribución de océanos, continentes, orografía, biomasa. La extensión del área de estudio es mayor a 20,000 m horizontales y hasta 10,000 m verticales.	Bioma
Mesoclima	Es el clima que rige a un conjunto de paisajes. La extensión del área de estudio va desde los 1,000 hasta los 20,000 m horizontales y hasta 6,000 m verticales.	Comunidad
Clima local	Es el clima resultante de la interacción de las condiciones regionales de latitud, altitud, relieve y continentalidad. Comprende el conjunto de microclimas que conforman un grupo distinto al los de alrededor. El área de estudio va desde los 100 a los 10,000 m horizontales y hasta 1,000 m verticales.	Comunidad
Microclima	Es el clima resultante de la microtopografía, exposición, evapotranspiración, etc. Comprende desde menos de 1 a 100 m horizontales y hasta 10 m verticales.	Individuo

2.2 EL CLIMA EN UNA ZONA MONTAÑOSA

En zonas montañosas, los valores de los elementos climáticos presentan una gran variabilidad. Aparte de la altitud como factor que modifica el clima en general, la variedad de climas también se da por la presencia de la misma montaña y su forma, lo que influye en elementos como exposición y vientos (Barry, 1981; Greenland, 2005).

2.2.1 Radiación

La cantidad de radiación recibida por la superficie terrestre aumenta conforme incrementa la altitud, pues a mayores altitudes se presenta una menor cantidad de masa atmosférica, vapor de agua, y polvo que reducen el paso de la radiación (Greenland, 2005; Yoshino, 2005; Hernández y Carrasco, 2007). El aumento de la radiación a mayores altitudes se da cuando no hay nubes ni niebla que obstruya el paso de la misma (Körner, 2007). Otros aspectos importantes son la orientación y el grado de la pendiente, pues con relación a la estación del año y la ubicación de la montaña, la radiación sobre la superficie cambia (Barry, 1981; Cox y Barry, 2005; Greenland, 2005; Pérez, 2008).

2.2.2 Vientos

La concepción general del viento con relación a la altitud es que la rapidez de éste aumenta a mayores altitudes debido a una disminución en la fricción entre el movimiento del aire y la superficie terrestre, aunado a que se presentan menos elementos que obstruyan el flujo

(Gleason y Cronquist, 1964; Barry, 1981; Greenland, 2005). Esto no siempre se cumple, pues la topografía, forma y tamaño de la montaña puede intervenir frenando el flujo (Körner, 2007) y su dirección (movimiento lateral o por encima de una elevación, así como la canalización a través de valles que actúan como “túneles orográficos”) (Barry, 1981; Greenland, 2005; Hernández y Carrasco, 2007) (fig. 1a). Otro tipo de vientos son aquellos influenciados por la temperatura que transmite la superficie al aire: durante el día, la acentuada insolación provoca el aumento de temperatura de las laderas, así como del aire en contacto con ellas. El resultado es una expansión de las masas de aire y pérdida de densidad, por lo que éstas tienden a subir por las laderas (vientos anabáticos). Por la noche, cuando la temperatura de la superficie baja, también la de las masas de aire en contacto con la misma, por lo que se da el proceso inverso (vientos catabáticos) (Oliver y Fairbridge, 2005; Hernández y Carrasco, 2007) (fig. 1b).

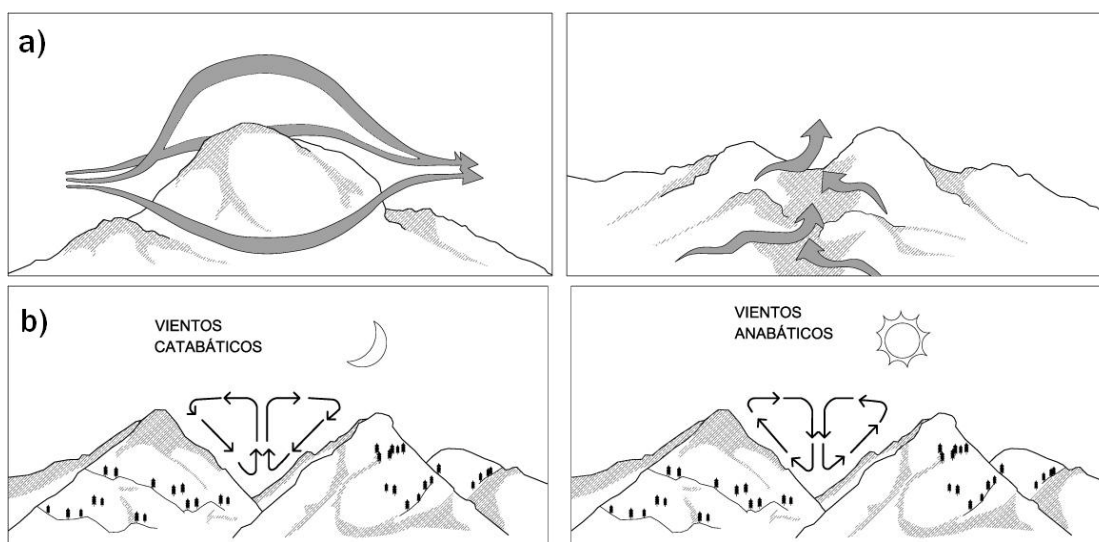


Figura 1a) Vientos presentes en zonas montañosas resultado de la transferencia de calor a las masas de aire a partir de la superficie (tomado de Oliver y Fairbridge, 2005). b) Efecto del viento dependiente del tamaño y forma de la montaña, y su canalización en presencia de un "túnel orográfico" (tomado de Whiteman, 2000).

2.2.3 Temperatura

Debido a que la atmósfera se calienta principalmente por la radiación (infrarroja) proveniente de la superficie terrestre, la temperatura del aire a mayores altitudes desciende. Como a mayores altitudes existe una menor proporción de superficie terrestre, la acumulación y retención de calor es menor que en los valles y partes bajas (Barry, 1981; Greenland, 2005; Hernández y Carrasco, 2007). Como ya se mencionó, la temperatura también puede presentar una gran variabilidad a lo largo del día, debido a que también está definida por los vientos catabáticos y anabáticos (MacArthur, 1972; Greenland, 2005).

2.2.4 Precipitación

A nivel global, se han descrito patrones de precipitación relacionados con la altitud, sin embargo, a nivel local, no siempre se da una correspondencia lineal. Se han documentado máximos de precipitación que no coinciden con el máximo de altitud (Lauscher, 1976 en: Greenland, 2005). Se reconocen cuatro factores que determinan la variación no lineal de la precipitación con la altitud: a) temperatura del aire en la base de la montaña y su tasa de cambio, b) concentración de vapor de agua en el aire, c) comportamiento vertical del viento, y d) relación de la dirección del viento con la montaña (Leuschner, 2000). Si una masa de aire húmeda se aproxima a una montaña y asciende por la misma (por efecto orográfico o convectivo), el resultado será una disminución en su temperatura, así como en su capacidad de contener humedad (punto de saturación). Este proceso deriva en la condensación y precipitación del vapor de agua, y puede presentarse a cualquier altitud en la montaña dependiendo del comportamiento de los factores antes mencionados (MacArthur, 1972; Barry, 1981; Greenland, 2005). Lauscher (1976 en: Leuschner, 2000) identificó el máximo de precipitación en altitudes menores a 1000 msnm para montañas ecuatoriales, entre 1000 y 1500 msnm para montañas tropicales, y para latitudes mayores, la relación lluvia-altitud suele ser lineal.

2.3 EL CLIMA Y SU RELACIÓN CON LA VEGETACIÓN

Tres factores son los que se consideran determinantes en la distribución geográfica de las plantas: los factores históricos, las interacciones con otras especies, y las condiciones ambientales (Gleason y Cronquist, 1964; MacDonald, 2003). El clima como parte de las condiciones ambientales es uno de los más relevantes, especialmente la temperatura y la precipitación (García, 1980; González Medrano, 2003; Orellana y Hernández, 2004).

2.3.1 El efecto de los elementos del clima en las plantas

La temperatura define los límites geográficos de una planta al representar un elemento de diferenciación ecológica de primer orden, pues influye en todas las etapas de desarrollo de la planta (Ferrerías y Fidalgo, 1999; MacDonald, 2003). Debido a que la temperatura está en función de la radiación (entre otros elementos), en conjunto, ambos elementos influyen en la fotosíntesis: la reacción utiliza la luz solar como fuente de energía y es estimulada por la temperatura (Ferrerías, 2000). Muy altas temperaturas ocasionan cambios en la actividad enzimática de las plantas; y muy bajas, el bloqueo de las funciones fisiológicas, así como daños mecánicos en diferentes estructuras (Ferrerías y Fidalgo, 1999; MacDonald, 2003).

La humedad y la precipitación se encuentran en un dinamismo constante entre la planta y el medio (aire y suelo). Ninguna de las funciones fisiológicas se puede realizar sin agua, pues actúa como vehículo de nutrientes, e influye en la respiración y transpiración (Ferrerías y Fidalgo, 1999). La tasa de evapotranspiración depende de algunos factores, tanto

morfofisiológicos (e.g. estomas) como ambientales, refiriéndonos a las condiciones del viento y la disponibilidad de agua (MacDonald, 2003). Cuando por medio de la evapotranspiración se pierde más agua que la que se obtiene, las plantas entran en estrés hídrico, ocasionando marchitamiento y muerte de tejidos (García, 1980; MacDonald, 2003).

Otros elementos climáticos también guardan cierta relación con el desarrollo de las plantas, sin embargo, se consideran menos determinantes y/o influyen de manera indirecta. Tal es el caso de la nubosidad, la nieve, el viento, etc. El viento, por ejemplo, actúa de manera directa por acción mecánica, influyendo en el crecimiento y forma, dispersión de polen y semillas, e intercambio de gases. De manera indirecta modifica la humedad y la temperatura del medio (Ferrerías y Fidalgo, 1999; Ferrerías, 2000).

2.3.2 Los conceptos de "hábitat" y "continuum"

En las plantas es posible encontrar diversas adaptaciones fisiológicas y morfológicas que hacen que las plantas puedan soportar diferentes condiciones de temperatura y humedad (y demás elementos climáticos). Por ejemplo, en algunos bosques es posible encontrar ciertas especies (latifoliadas) que se deshacen de su cobertura foliar y cubren sus meristemos apicales para evitar que éstos sufran daños mecánicos durante las bajas temperaturas del invierno. Por otro lado, las coníferas no pierden sus hojas y son capaces de conservarlas aunque la temperatura descienda por debajo de los 0°C (Gleason y Cronquist, 1964; MacDonald, 2003).

Las diferentes adaptaciones que se presentan en las distintas especies explica porque éstas ocupan un espacio geográfico específico: su área de distribución está determinada por la capacidad de la especie para sobrevivir a las variables ambientales de un lugar dado. Esa capacidad está en función de sus adaptaciones (Brown *et al.*, 1996).

Las múltiples variables que afectan la sobrevivencia de una especie definen el nicho o hábitat de la misma. Whittaker *et al.* (1973) considera que el término "hábitat" es más apropiado para considerar las variables ambientales exclusivamente, mientras que "nicho" se relaciona más con las variables resultantes de la interacción entre especies de la comunidad.

Una especie presenta mayores probabilidades de sobrevivir en cierto intervalo de alguna variable que conforma su hábitat. Dentro de este intervalo se presenta un óptimo y subóptimos para la misma variable, en donde las probabilidades de sobrevivir aumentan y disminuyen respectivamente (Hutchinson, 1958 en: Whittaker *et al.*, 1973). Debido a los óptimos y subóptimos, la especie aumenta y disminuye en abundancia de manera gradual a través de un gradiente ambiental. Esta es la base del concepto de "continuum" e implica que cada especie posee respuestas individuales al ambiente. Sin embargo, varias especies puedan estar adaptadas a las mismas condiciones ambientales, coincidiendo a veces en los valores para sus óptimos, y si además comparten un mismo espacio geográfico, se ensamblan las formaciones, comunidades, asociaciones, etc. (Gleason, 1926; Whittaker, 1975; Callaway, 1997; González, 2003).

En un gradiente como la altitud (gradiente indirecto), conforme se asciende o desciende del mismo, las condiciones climáticas cambian así como la composición y abundancia de especies (Whittaker, 1975; Austin, 1985). Esto demuestra que a cierta altitud, las especies que se presentan de manera consistente son las que tienen su óptimo para ese clima como parte de su hábitat.

2.3.3 La respuesta de la vegetación al clima

El estudio de la relación entre clima y vegetación ha derivado en la predicción del efecto que tienen ciertas condiciones climáticas específicas para las plantas. Teniendo caracterizado el clima de un área es posible determinar que tipo de vegetación se distribuye ahí. La respuesta fisonómica ha sido muy estudiada, y aunque determinar la composición es algo complejo, ya existen modelaciones bioclimáticas que definen distribuciones potenciales a nivel de especie (Lindenmayer *et al.*, 1991; Téllez-Valdés y Dávila-Aranda, 2003; Beaumont *et al.*, 2005).

Existen numerosos estudios que se han centrado en la modelación de la vegetación con base en el clima. Holdridge (1947) predijo sus “zonas de vida” con base en datos de temperatura, precipitación, y evapotranspiración, y Rosenzweig (1968) predijo la productividad primaria neta de comunidades utilizando, de igual manera, datos climáticos.

La predicción de la fisonomía es posible debido a la existencia de ciertos índices presentes en las plantas que revelan las condiciones climáticas a las que están sometidas. Un ejemplo es el área foliar, pues es un indicador de la cantidad de radiación recibida, así como de la temperatura y precipitación. Estos elementos influyen en la permanencia de la hoja, el potencial hídrico y crecimiento de la hoja (Woodward, 1988). Así, aunque entre bosques de clima frío la composición difiera, en ambos predominarán coníferas u otras especies con hojas aciculares.

3.OBJETIVO Y JUSTIFICACIÓN

El objetivo fundamental de este trabajo es el de caracterizar el clima a escala local de las subcuencas de los ríos Magdalena, Eslava, y Regaderas-Viborillas, en el suroeste del D.F., y relacionar la distribución del clima con la de las comunidades vegetales del área de estudio. Para esto, fue necesario elaborar la cartografía climática con base en datos provenientes de estaciones meteorológicas, y sobreponer con mapas de vegetación y datos de cobertura.

Las tres subcuencas estudiadas representan una zona importante debido a su ubicación dentro del Suelo de Conservación del D.F. En ellas destacan dos elementos principales: su componente hídrico y su vegetación. Ambos elementos aportan una serie de servicios ecosistémicos a los más de 20 millones de habitantes de la Zona Metropolitana de la ciudad de México (Almeida-Leñero *et al.*, 2007).

Las laderas y cañadas que conforman el área de estudio representan unidades de recarga para los sistemas de aguas subterráneas y de captación superficial. Incluso uno de los ríos, el Magdalena, constituye un abastecimiento de agua considerable para la ciudad de México (10% de los requerimientos de la ciudad) (Jujnovsky, 2006). La vegetación actúa como un “amortiguador ambiental” en el que los contaminantes atmosféricos son captados. También contribuye a la retención de suelos evitando su erosión y al aporte de agua para las subcuencas (Ávila-Akerberg, 2002). Por esto, la conservación del área no solo es vital para preservar su fisonomía, sino también para garantizar la sustentabilidad hídrica de la ciudad (Garza, 2000; Mazari, 2000). Por último, la zona provee servicios culturales tales como ecoturismo y recreación, en especial en las partes bajas por encontrarse la zona de influencia humana y el área urbana (Jujnovsky, 2006).

La importancia de este estudio radica en que representa un registro actualizado del clima y de la vegetación de un área de vital importancia para la ciudad de México, por lo que es posible utilizar esta información en un futuro para analizar y monitorear cambios en ambas variables. Este tipo de estudios cobran cada vez mayor relevancia debido a que las zonas montañosas están reconocidas como áreas muy susceptibles al cambio climático (McDonald y Brown, 1992; Gottfried *et al.*, 1999; Parmesan, 2006). El conocimiento completo de estas áreas puede derivar en toma de decisiones más acertadas para mitigar tal cambio y proteger los ecosistemas naturales cercanos a la ciudad. La identificación de los intervalos y variables climáticas que definen la distribución de la vegetación también son importantes pues permiten elaborar propuestas de reforestación o restauración en zonas cercanas con clima similar.

4. ÁREA DE ESTUDIO

4.1 LOCALIZACIÓN

Dentro del Eje Neovolcánico Transversal se localiza la Cuenca de México, la cual alberga al Distrito Federal. Esta cuenca se encuentra rodeada por una serie de serranías de origen volcánico que sobrepasan los 3500 m de altitud: la Sierra del Ajusco y Chichinautzin hacia el sur, la Sierra Nevada por el suroriente, la de Río Frío y Pachuca por el norte, y la Sierra de las Cruces al surponiente (Lugo, 1984). Es en esta última es donde se enclavan las tres subcuencas (sensu stricto) sujetas a estudio: la de los ríos Magdalena, Eslava y Regaderas-Viborillas (fig. 2).

4.2 GEOMORFOLOGÍA, GEOLOGÍA Y EDAFOLOGÍA

La Sierra de las Cruces ocupa una superficie considerable, en especial su vertiente oriental, la que corresponde a la Cuenca de México. En esta vertiente se ubican las subcuencas a estudiar, y se presentan laderas de material lávico y piroclástico por arriba del límite superior del piedemonte. Éstas se encuentran cortadas por cañadas profundas que dejan entre sí superficies estrechas de parteaguas. En el piedemonte también se encuentran materiales piroclásticos, tanto depositados ahí, como removidos (Lugo, 1984).

La formación de este complejo montañoso se debe a procesos volcánicos y tectónicos que se han ido desarrollando a partir del Eoceno superior (hace 50 millones de años) (Palma *et al.*, 1999). El vulcanismo de esa época produjo espesores de dos kilómetros de lava basáltica (ígneas extrusivas), con material piroclástico asociado (tobas, cenizas y brechas) (Lugo, 1984; Anónimo, 1995). El gradiente altitudinal en el área de estudio va de 2470 a 3850 msnm, teniendo las altitudes mayores en el parteaguas occidental de la subcuenca del Magdalena, colindante con el Estado de México (Álvarez, 2000).

Las características genéticas y morfológicas de los diversos tipos de suelos de la zona están determinadas, básicamente, por la complejidad litológica dada por la composición y la edad de los materiales eruptivos, así como por la influencia diferencial del clima debido a los cambios altitudinales de la zona. Otros factores como la pendiente y el desagüe también se ven reflejados en los procesos edáficos (Palma *et al.*, 1999).

Los suelos son en su mayoría de tipo Andosol húmico, originados a partir de los materiales piroclásticos volcánicos. Los húmicos, en específico, se presentan en cenizas de edad mediana y antigua bajo un clima frío-húmedo. En la zona también hay presencia de otros Andosoles: mólico y ócrico y mezclas con Litosoles, estos últimos siendo suelos poco desarrollados y muy someros debido a procesos de erosión que impiden el desarrollo del perfil (Anónimo, 1995; Palma *et al.*, 1999; Jujnovsky, 2003).

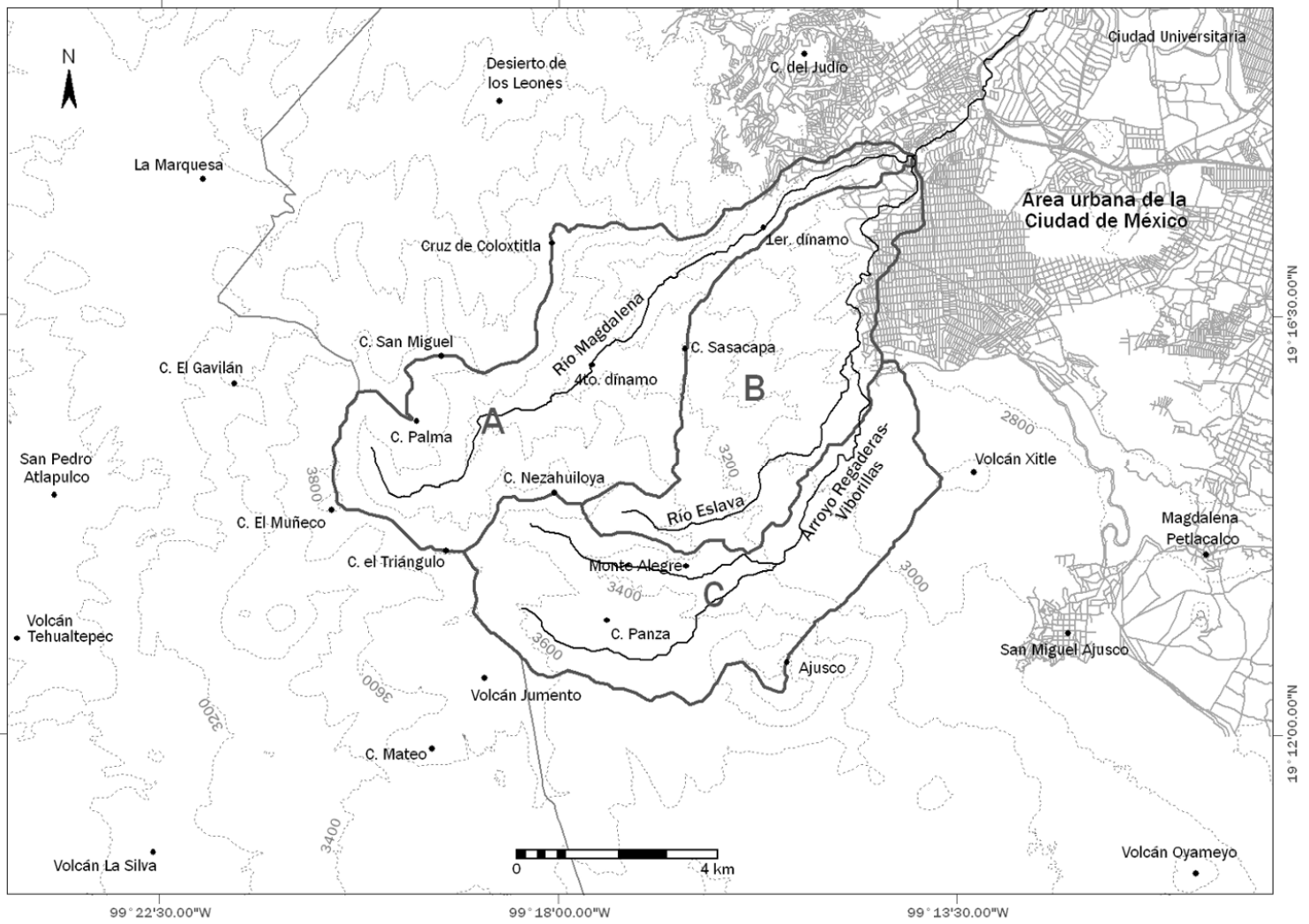
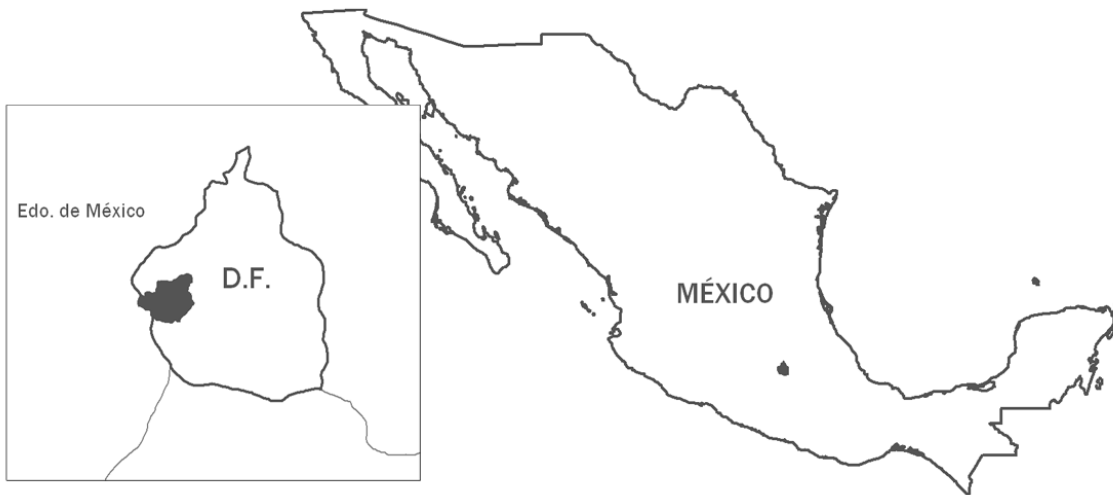


Figura 2. Localización de las tres subcuencas sujetas a estudio: A) Magdalena, B) Eslava, C) Regaderas-Viborillas.

4.3 HIDROLOGÍA Y GENERALIDADES DEL CLIMA

En la zona se presentan los escurrimientos superficiales de los ríos Magdalena y Eslava, así como del arroyo Regaderas-Viborillas. El Magdalena se alimenta por el aporte de gran número de manantiales de la zona: Agua Azul, Cieneguillas, Los Cuervos, Huayatitla, Temamatla y Temascalco y corre con dirección al noreste. En los últimos 400m de su trayectoria recibe las descargas de las colonias ubicadas ahí, sirviendo de drenaje hasta llegar a la presa Anzaldo. El río Eslava, ubicado al sur del río Magdalena, corre en el mismo sentido que éste y en la zona urbana, ambos ríos se unen. El Eslava es objeto del mismo descuido, pues de igual manera es utilizado como cuerpo receptor de aguas negras de las colonias cercanas (Anónimo, 1995). El arroyo Regaderas-Viborillas es un río intermitente que cuenta con agua solo en temporada de lluvias.

El clima corresponde a un régimen templado en las partes más bajas, y semifrío en las partes altas. La zona templada presenta una temperatura media anual entre 12 y 18°C. La zona semifría, de 5 a 12°C. La región se ve afectada por sistemas de circulación atmosférica que definen una época húmeda (junio a octubre) y seca (abril a mayo). Las lluvias son principalmente del tipo orográfico debido al relieve abrupto y los vientos dominantes (alisios del noreste) (Vidal, 2005), pero también hay convectivas y frontales². Las primeras dos se presentan en verano, mientras que la tercera es característica del invierno, ya que tiene sus orígenes en las masas de aire polar que se desplazan desde el norte del continente (Palma *et al.*, 1999).

4.2 VEGETACIÓN

El Eje Neovolcánico Transversal es la zona de contacto y transición de las dos regiones biogeográficas del continente americano: Holártica y Neotropical (Silva *et al.*, 1999), por lo que en el área de estudio se presenta una alta riqueza de especies y endemismos (Ávila-Akerberg, 2004). Con respecto a la vegetación, ésta corresponde a la Provincia Florística de las Serranías Meridionales dentro de la Región Mesoamericana de Montaña (Rzedowski, 1978). Debido al gradiente altitudinal, las comunidades presentes se distribuyen en bandas más o menos definidas (Ávila-Akerberg, 2004): en las partes altas se presenta la comunidad de *Pinus hartwegii*; en las altitudes medias, la comunidad de *Abies religiosa*; y en las partes bajas, la comunidad de *Quercus spp.* con bosque mixto (Nava, 2003).

² Existen tres tipos de precipitación. En todos los casos se da un ascenso de aire húmedo que deriva en el enfriamiento y, posteriormente, la condensación de esta masa. En la precipitación orográfica, el ascenso se da por el encuentro del aire con una montaña o relieve elevado; en la convectiva, el aire se eleva por la obtención de calor a partir de alguna superficie terrestre; y en la frontal, una masa de aire frío choca con una de aire caliente, provocando que ésta última se eleve, pues la fría actúa como una barrera (Smith, 1979).

4.2.1 Comunidad de *Pinus hartwegii*

Es la comunidad que domina en las altitudes mayores de las subcuencas, entre 3230 y 3850 msnm. Se sitúa por arriba de *Abies religiosa*. En la mayor parte de la zona forma asociaciones con pastos amacollados, siendo estos últimos dominantes del estrato herbáceo. Cabe mencionar que solo se presentan dos estratos: arbóreo, dominado por *P. hartwegii*, y herbáceo, donde se encuentra *Muhlenbergia quadridentata* y *Calamagrostis tolucensis* (Anónimo, 1995; Silva *et al.*, 1999; Nava, 2003; Ávila-Akerberg, 2002, 2004).

4.2.2 Comunidad de *Abies religiosa*

Esta comunidad se desarrolla en las altitudes medias de las subcuencas, entre 2800 y 3450 msnm. Aquí las condiciones del relieve son de pendientes moderadas a fuertes, con suelos profundos de buen drenaje. La comunidad se localiza principalmente en laderas de cerros y cañadas que se encuentran protegidas contra la acción de vientos fuertes e insolación. La especie que domina es *Abies religiosa* en el estrato arbóreo, aunque también se presenta *Pinus pseudostrobus*, *P. leiophylla*, *Salix paradoxa* y *Alnus jorullensis*. El estrato arbustivo es abundante en zonas perturbadas, presentándose los géneros *Roldana angulifolia*, *R. barba-johannis* y *Acaena elongata*. En el estrato herbáceo se encuentra *Salvia elegans* y *Eupatorium mairetianum* (Anónimo, 1995; Silva *et al.*, 1999; Nava, 2003; Ávila-Akerberg, 2002, 2004).

4.2.3 Comunidad de *Quercus spp.* con bosque mixto

Se distribuye entre 2520 y 3010 msnm, la parte más baja del área de estudio. Sus requerimientos de humedad son bajos, por lo que se ubica en las laderas de mayor exposición a la insolación y a las fuertes corrientes de aire. Las especies de encino dominantes son *Quercus rugosa* y *Q. laurina*. Otras especies arbóreas son *Arbutus xalapensis*, *Pinus patula*, *Buddleia cordata* y *Abies religiosa*. El estrato arbustivo y herbáceo es rico; se presentan las especies *Eupatorium petiolare*, *E. pazcuarensis*, *Geranium seemannii*, *Castilleja arvensis*, *C. tenuiflora*, *Cestrum thyrsoideum*, *Muhlenbergia macroaura*, *Rubus pumilus*, *Salvia polystachia* y *Verbesina oncophora*. Esta comunidad es de las más perturbadas debido a la cercanía con la ciudad, su disminución en área y la introducción de especies exóticas (Anónimo, 1995; Silva *et al.*, 1999; Nava, 2003; Ávila-Akerberg, 2002, 2004).

5. MÉTODO

5.1 CARACTERIZACIÓN DEL CLIMA

Este estudio se enfoca en el clima a escala local del área de estudio. Aunque a esta escala se consideren varios elementos climáticos, debido al tipo de estaciones utilizadas sólo se consideró la temperatura (máxima, media, mínima) anual y la precipitación total anual para caracterizar el clima.

Análisis de mapas publicados

Para analizar los patrones climáticos generales del área y así tener una base que definiera el comportamiento del clima a grandes rasgos, se realizó el corte correspondiente al área de estudio de tres diferentes mapas climáticos publicados (editados por CETENAL, DETENAL, y CONABIO), así como la captura de los datos de las estaciones meteorológicas utilizadas para el trazo de los mismos. En la tabla 2 se muestran los detalles de estos mapas.

En la figura 3 se muestra la localización de las estaciones que fueron utilizadas por dependencias y autores correspondientes para la elaboración de los mapas publicados. En la tabla 3 se enlistan las mismas y se incluye el tipo climático de cada una según el Sistema Modificado por García (2004). Para algunas estaciones, el tipo climático en ciertas ediciones no se muestra, lo que significa que para esa edición, la estación no se tomó en cuenta ni utilizó por encontrarse suspendida o inexistente.

Tabla 2. Mapas publicados y fuente de datos de las estaciones meteorológicas.

Edición	Año de la edición	Escala	Incluye	Fuente de datos de estaciones
CETENAL	1970	1:50,000	Isotermas medias anuales, isoyetas medias anuales, tipos climáticos	Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen (García, 1973)
DETENAL	1980	1:1,000,000	Isotermas medias anuales, isoyetas medias anuales, tipos climáticos	Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen (García, 1981)
CONABIO	1998	1:1,000,000	Isotermas medias anuales, isoyetas medias anuales, tipos climáticos	Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen (García, 2004)

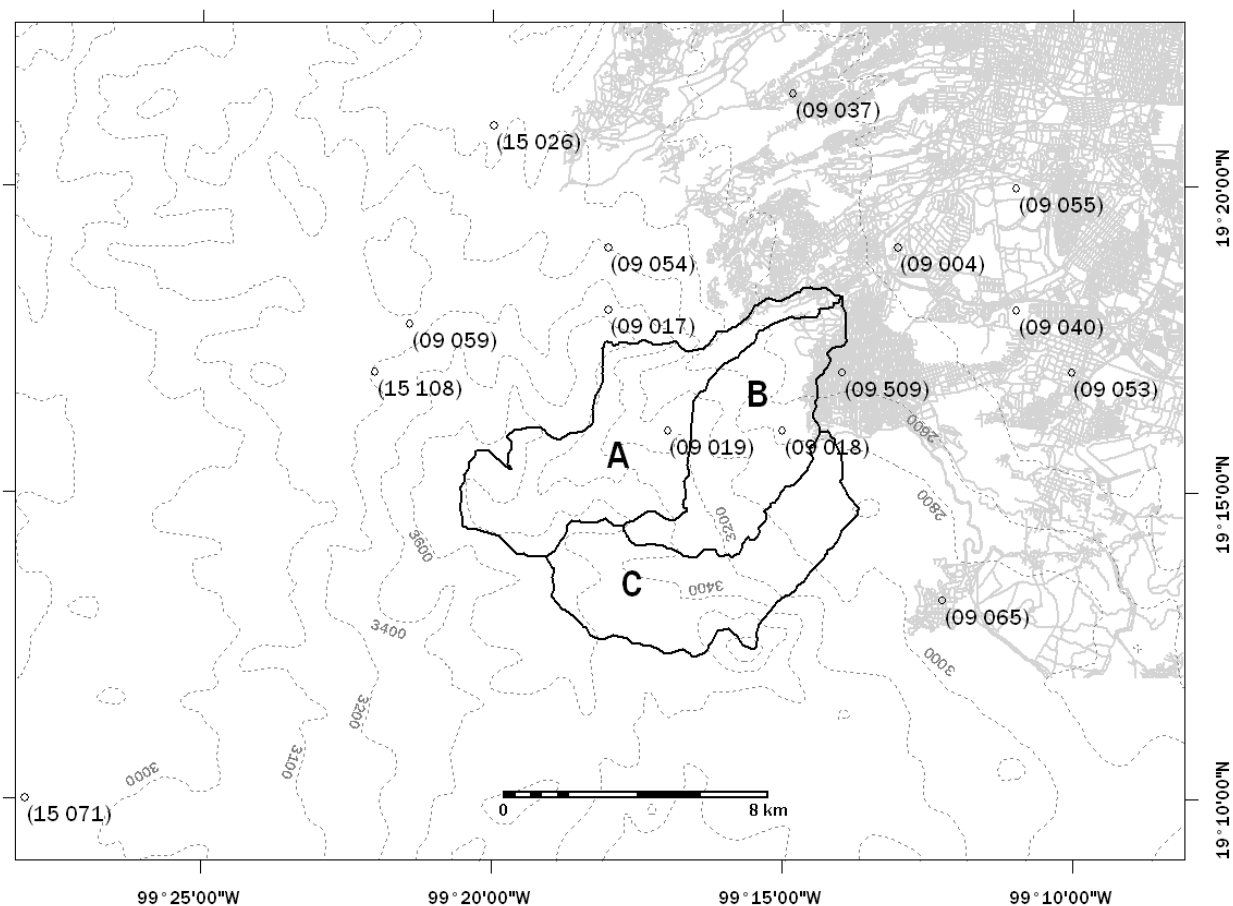


Figura 3. Localización de las estaciones meteorológicas utilizadas en el trazo de los mapas publicados. A) Magdalena, B) Eslava, C) Regaderas-Viborillas.

Tabla 3. Listado de estaciones meteorológicas utilizadas en el trazo de las diferentes ediciones de los mapas publicados. Se comparan los tipos climáticos que cada una tenía para las diferentes ediciones y se incluye el número de años de servicio.

Estación	Edición CETENAL 1970	Años	Edición DETENAL 1980	Años	Edición CONABIO 1997	Años
Anzaldo, Presa 09004	Cb(w ₁)(w)(i´)	T: 7 P: 7	Cb(w ₂)(w)(i´)g	T: 22 P: 22	Cb(w ₂)(w)(i´)g	T: d.i. P: d.i.
Desierto de los Leones 09017	Cb´(w ₂)(w)ig	T: 34 P: 34	Cb´(w ₂)(w)ig	T:24 P:23	Cb´(w ₂)(w)ig	T: d.i. P: d.i.
Desviación alta al pedregal 09018	-- (no T)	T: 0 P: 11	Cb(w ₂)(w)(i´)g	T: 9 P: 26	Cb(w ₂)(w)ig	T: d.i. P: d.i.
Dinamo no. 3 09019	-- (no T)	T: 0 P: 29				
Mixcoac, Presa 09037	Cb(w ₁)(w)ig	T: 7 P: 7	Cb(w ₂)(w)ig	T: 22 P: 22	Cb(w ₂)(w)ig	T: d.i. P: d.i.
Hda. Peña Pobre 09040	Cb(w ₁)(w)(i´)	T: 6 P: 6	Cb(w ₂)(w)(i´)	T: 18 P: 19	Cb(w ₂)(w)(i´)	T: d.i. P: d.i.
Tlalpan 09053	Cb(w ₁)(w)(e)g	T: 7 P: 7		T: 27 P: 27		
La Venta, Cuajimalpa 09054			Cb´(w ₂)(w)i	T: 30 P: 30	Cb´(w ₂)(w)ig	T: d.i. P: d.i.
Villa Obregón 09055	Cb(w ₁)(w)(i´)	T: 25 P: 25	Cb(w ₁)(w)(i´)	T: 10 P: 10	Cb(w ₁)(w)(i´)	T: d.i. P: d.i.
El Zarco 09059	Cc(w ₂)(w)i	T: 5 P: 5	Cb´(w ₂)(w)i	T: 10 P: 10	Cb´(w ₂)(w)i	T: d.i. P: d.i.
Ajusco 09065			Cb´(w ₂)(w)ig	T: 24 P: 15	Cb´(w ₂)(w)ig	T: d.i. P: d.i.
Desierto de los Leones (2) 09079			Cb´(w ₂)(w)ig	T: 24 P: 24		
Contreras 09509					Cb(w ₂)(w)ig	T: d.i. P: d.i.
Huixquilucan 15026	Cb(w ₂)(w)ig	T: 11 P: 17	Cb(w ₂)(w)ig	T: 22 P: 32	Cb(w ₂)(w)ig	T: d.i. P: d.i.
Santiago Tianguistengo 15071	Cb(w ₂)(w)ig	T: 7 P: 15	Cb(w ₂)(w)(i´)g	T: 15 P: 30	Cb(w ₂)(w)(i´)g	T: d.i. P: d.i.
La Marquesa 15108			Cb´(w ₂)(w)ig	T: 9 P: 10	Cb´(w ₂)(w)ig	T: d.i. P: d.i.

T: temperatura; P: precipitación; d.i.: dato inexistente.

Elaboración de mapas actualizados

Las estaciones meteorológicas se seleccionaron por su cercanía al área de estudio y por el número de años de registro. Se verificó y corrigió la ubicación de las estaciones con base en mapas de localidades del INEGI escala 1:50,000. Para algunas estaciones, se corrigieron inconsistencias encontradas entre la altitud que aparecía en registros y la altitud que les correspondía al situar a la estación en un mapa topográfico. En ciertos casos se verificó en campo con GPS y altímetro. La localización corregida de las estaciones utilizadas para elaborar los mapas actualizados se muestra en la figura 4.

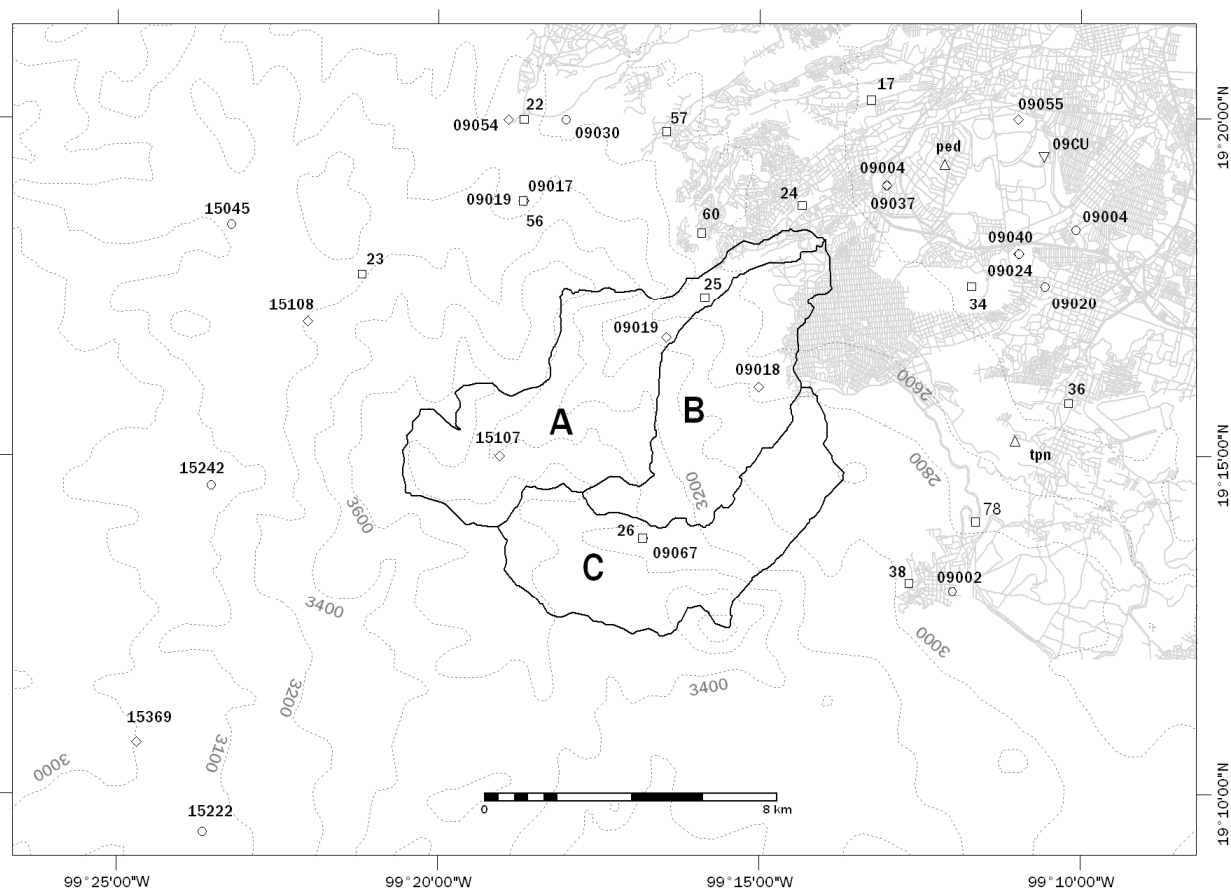


Figura 4. Localización de las estaciones meteorológicas utilizadas en el trazo de los mapas actualizados. A) Magdalena, B) Eslava, C) Regaderas-Viborillas. (◇) estaciones históricas, (△) estaciones de la RAMA, (□) estaciones de la SMA, (○) estaciones del CLICOM.

Posteriormente se obtuvieron los datos climáticos de las mismas. Estos datos provienen de varias fuentes e instituciones:

- Estaciones históricas: estaciones que han sido suspendidas y cuentan con datos no actuales de temperatura y precipitación a nivel mensual, sin embargo, su información sirve de complemento y apoyo en el trazo de las isóneas. Los datos se encuentran en el archivo del Instituto de Geografía de la UNAM.

- Estaciones del CLICOM: pertenecientes al sistema de CLImatología COMputarizada del Servicio Meteorológico Nacional, el cual recopila los datos de diversas estaciones, tanto vigentes como suspendidas. Los datos que provee son temperatura máxima, mínima, precipitación, evaporación, días con tormenta eléctrica, granizo, niebla, helada y cobertura nubosa a nivel diario.

- Estaciones de la RAMA: pertenecientes a la Subdirección de Meteorología de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México. Los datos que provee son niveles de contaminantes y temperatura media, máxima y mínima a nivel diario.

- Estaciones de la SMA: pertenecientes a Subdirección de Macromedición y Control de Redes, instancia de la Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal. Miden precipitación a nivel mensual.

Se capturaron los datos en una hoja de EXCEL y se calcularon los promedios mensuales y anuales de la temperatura y precipitación. Se eliminaron los años con más de cinco meses sin datos y se calcularon datos faltantes cuando era posible. Se clasificaron las estaciones según el Sistema Modificado (García, 2004). En la tabla 4 se enlistan las estaciones con su tipo según la fuente, el número de años de servicio y tipo climático.

Con base en las cartas topográficas del INEGI escala 1:50,000 se elaboró la carta base, que consiste en un mapa hipsométrico con curvas de nivel cada 50 m y la localización de las estaciones seleccionadas. Sobre esta carta se trazaron las isotermas medias, máximas y mínimas anuales e isoyetas totales anuales. Las isolíneas de temperatura media anual y precipitación total anual, y los tipos climáticos obtenidos con base en la clasificación de las estaciones según el Sistema Modificado por García (2004) dio lugar al mapa de tipos climáticos. Toda esta información se procesó con el SIG ILWIS 3.3.

5.2 RELACIÓN CLIMA-VEGETACIÓN

Para comparar la distribución del clima con la de la vegetación, se elaboró un mapa de comunidades vegetales presentes en las subcuencas. Se realizó con base en otros mapas existentes: Uso de suelo y vegetación de INEGI escala 1:250,000, y Vegetación de la Magdalena Contreras (F.C. UNAM, 2008). Las áreas que presentaran vegetación secundaria o azonal (no influenciada por el clima) se caracterizaron en conjunto como polígonos no considerados.

Tabla 4. Listado de estaciones meteorológicas utilizadas en el trazo de los mapas actualizados. Se incluye su tipo según la fuente, número de años de servicio, y tipo climático de cada estación.

Estación	Fuente	Tipo climático	Años	Estación	Fuente	Tipo climático	Años
Anzaldo 09004	Histórica	Cb(w ₂)(w)(i')g	T: 28 P: 28	San Bartolo Ameyalco 57	DGCOH	-- (no T)	T: 0 P: 7
Desierto de los Leones 09017	Histórica	Cb'(w ₂)(w)ig	T: 61 P: 61	San Francisco 24	DGCOH	-- (no T)	T: 0 P: 20
Desv. alta al pedregal 09018	Histórica	-- (no T)	T: 0 P: 31	San Pedro Mártir 36	DGCOH	-- (no T)	T: 0 P: 20
Dinamo no. 3 09019	Histórica	-- (no T)	T: 0 P: 31	Tanque Lienzo 17	DGCOH	-- (no T)	T: 0 P: 20
Hda. Peña Pobre 09040	Histórica	Cb(w ₂)(w)(i')	T: 15 P: 17	Ajusco 09002	CLICOM	Cb'(w ₂)(w)(i)g	T: 26 T: 26
La Venta 09054	Histórica	Cb'(w ₂)(w)ig	T: 31 P: 31	Presa Anzaldo 09037	CLICOM	Cb(w ₂)(w)ig	P: 35 T: 35
Villa Obregón 09055	Histórica	Cb(w ₁)(w)(i')	T: 30 P: 30	Desierto de los Leones 09019	CLICOM	Cb'(w ₂)(w)ig	T: 27 P: 27
Magdalena Chichicarpa 15107	Histórica	-- (no T)	T: 0 P: 19	Desv. Al Pedregal 09020	CLICOM	Cb(w ₂)(w)ig	T: 39 P: 54
La Marquesa 15108	Histórica	-- (no P)	T: 23 P: 0	Hda. Peña Pobre 09024	CLICOM	Cb(w ₁)(w)(i')	T: 20 P: 20
Pedregal ped	RAMA	-- (no P)	T: 21 P: 0	La Marquesa 15045	CLICOM	Cb'(w ₂)(w)i	T: 36 P: 36
Tlalpan tpn	RAMA	-- (no P)	T: 8 P: 0	Monte Alegre 09076	CLICOM	Cb'(w ₂)(w)ig	T: 8 P: 8
Ajusco 38	DGCOH	-- (no T)	T: 0 P: 20	Calvario 61 09004	CLICOM	-- (no T)	T: 0 P: 35
Bosque de Tlalpan 34	DGCOH	-- (no T)	T: 0 P: 20	La Venta Cuajimalpa (SMN) 09030	CLICOM	Cb'(w ₂)(w)ig	T: 37 P: 37
Desierto de los Leones 56	DGCOH	-- (no T)	T: 0 P: 7	Cuajimalpa 09016	CLICOM	Cb(w ₂)(w)ig	T: 20 P: 20
El Zarco 23	DGCOH	-- (no T)	T: 0 P: 20	CBTA Jalatlaco 15369	CLICOM	Cb(w ₂)(w)(i')g"	T: 2 P: 2
Huayatla 60	DGCOH	-- (no T)	T: 0 P: 7	El Capulín 15354	CLICOM	Cb'(w ₂)(w)iw"	T: 3 P: 8
La Venta 22	DGCOH	-- (no T)	T: 0 P: 18	San Pedro Atlapulco 15242	CLICOM	Cb'(w ₂)(w)ig	T: 13 P: 13
Monte Alegre 26	DGCOH	-- (no T)	T: 0 P: 20	Coaxapa 15222	CLICOM	Cb(w ₂)(w)ig	T: 11 P: 11
Planta Abasolo 78	DGCOH	-- (no T)	T: 0 P: 7	Observatorio CU 09CU	CU	Cb(w ₁)(w)(i')g	T: 41 P: 41
Río Magdalena 25	DGCOH	-- (no T)	T: 0 P: 20				

T: temperatura; P: precipitación

Se realizó otro mapa con la localización de 144 puntos de muestreo que contienen datos de cobertura por especie. Esta información proviene de levantamientos fitosociológicos³ realizados previamente en el área de estudio por Nava (2003) y Ávila-Akerberg (2002, 2004).

Los mapas climáticos (temperatura media, máxima, mínima anual, precipitación total anual y tipos climáticos) se sobrepusieron al mapa de comunidades vegetales. Para obtener una imagen general de la relación entre clima y vegetación, se elaboraron dos perfiles con diferente orientación que muestran la distribución de comunidades con relación a los cambios en las variables climáticas estudiadas. La diferente orientación en los perfiles permitió encontrar semejanzas y diferencias en esta relación. Otro análisis consistió en cuantificar el grado de sobreposición o correspondencia que existía entre las comunidades y los mapas climáticos. Los mapas climáticos se poligonizaron para poder cuantificar el grado de correspondencia (porcentaje de superficie que las comunidades ocupaban en cada uno de estos polígonos), y así observar los cambios a lo largo del gradiente altitudinal. Por último, los muestreos de cobertura se sobrepusieron a los mapas climáticos para asignarles valores de temperatura y precipitación. Con estos datos se corrió un análisis de correspondencia canónico (ACC) en XL-STAT.). El ACC es un análisis multivariado que permite visualizar la relación entre varias especies y elementos ambientales: consiste en una selección de variables que maximizan la dispersión de las especies en la comunidad (Ter Braak, 1987).

³ Los levantamientos fitosociológicos son muestreos con relevés de 25x25 m en los que se distinguen todas las especies presentes, así como una estimación de cobertura de las mismas por estrato.

6. RESULTADOS

6.1 CARACTERIZACIÓN DEL CLIMA

6.1.1 El clima a partir de mapas publicados

La temperatura media anual del área (fig. 5) se distribuye en dos pisos térmicos: el templado (entre 12 y 18°C) en las partes bajas del extremo noreste de las subcuencas, y el semifrío (entre 5 y 12°C) ocupando la mayor parte del área de estudio. El intervalo de temperatura media dentro de las subcuencas va de los 8 a los 14°C, salvo en la carta de CONABIO, en la que no se registran temperaturas menores a 10°C.

En el caso de la precipitación total anual se puede observar que en las tres ediciones los valores dentro de las cuencas van de los 1000 a 1500 mm. Los valores más altos se ubican en las zonas más altas, mientras que las isoyetas de menor valor se encuentran en la parte noreste, a menor altitud.

En cuanto a los tipos climáticos, se presentan dos subgrupos climáticos determinados por la temperatura: el templado [Cb] y el semifrío [Cb´]. Las condiciones de humedad son de subhúmedo, el más húmedo [(w₂)]. Fuera de las subcuencas, en el extremo noreste también se presenta el tipo intermedio [(w₁)]. La zona registra menos del 5% de lluvia invernal con respecto a la anual [(w)], así como un verano fresco largo por presentar la temperatura del mes más caliente menor a 22°C [b]. El mes más caliente se presenta antes de junio en la mayoría de las estaciones, por lo que se tiene una marcha anual de la temperatura tipo Ganges [g]. Por último, la oscilación térmica (la diferencia de temperatura entre el mes más caliente y el mes más frío) es menor a 5°C en las estaciones ubicadas en las partes altas y medias [i], y entre 5 y 7°C en las estaciones de las partes bajas [(i´)].

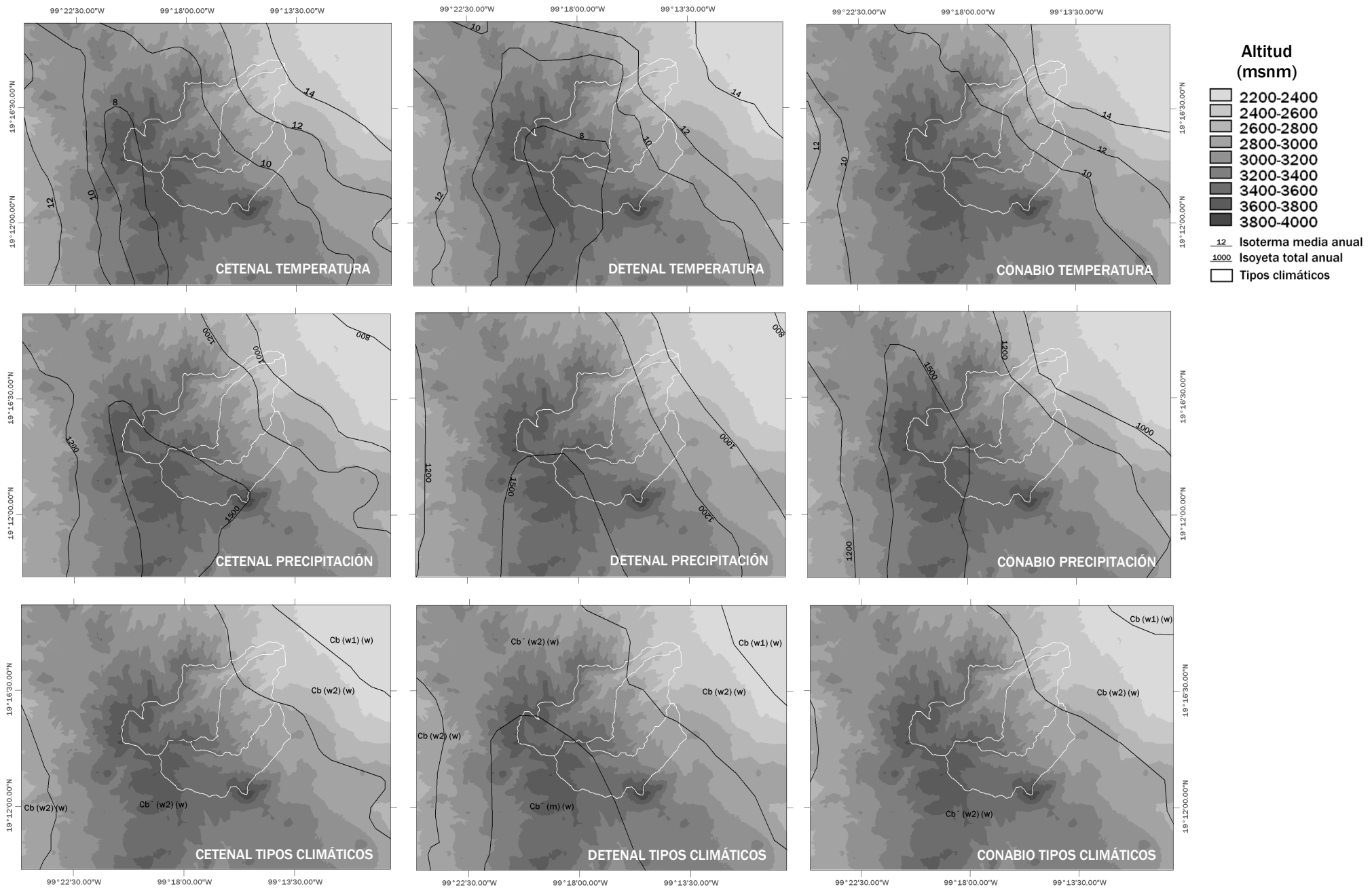


Figura 5. Mapas publicados

6.1.2 El clima a partir de mapas actualizados

La **temperatura media anual** tiene su máximo en el mes de mayo, como puede observarse en los diagramas ombrotérmicos de las estaciones Desierto de los Leones 09019 (2960 msnm) y Ciudad Universitaria 09CU (2270 msnm) (fig. 6). Los valores en las subcuencas se encuentran entre 5 y 14°C (fig. 7). La distribución de estas isotermas presenta cierta similitud con los mapas publicados, sin embargo, el detalle es mayor. La mayor superficie de las subcuencas presenta temperaturas medias menores a 12°C (83%), es decir, condiciones de semifrío. Esta isoterma se localiza aproximadamente a los 2800 msnm. Por debajo de esta cota, la temperatura aumenta hacia el noreste, en las partes bajas, presentando condiciones de templado. Las condiciones de frío, con temperaturas menores a 5°C, se ubican en donde la altitud supera los 3700 msnm, en los parteaguas del poniente. El valor más bajo es menor a los 4°C en la cima del Ajusco.

La distribución espacial de la **temperatura máxima anual** se muestra en la figura 8. En la parte baja de las subcuencas se alcanzan temperaturas de 21°C, mientras que en las más altas 9°C. Las temperaturas que van de los 10 a los 17°C ocupan el 47% de la superficie de las subcuencas.

Por lo que se refiere a la temperatura **mínima anual**, se observa en la figura 9 que los valores más bajos son del orden de 0°C en las partes más altas. Aumentan hacia el noreste hasta alcanzar los 7°C en las zonas bajas. Los valores de temperatura mínima que predominan están entre los 0 y 5°C, ocupan 82% de la superficie de las subcuencas.

La **precipitación** se concentra principalmente en los meses de mayo a octubre, donde se registra el 91% de lluvia con respecto a la total recibida en el año. El número de meses secos es de 5 a 6, y el de húmedos de 6 a 7. La distribución espacial de las isoyetas anuales se muestra en la figura 10. La cantidad de lluvia recibida en las subcuencas fluctúa entre 900 y 1300 mm anuales. Los valores superiores a 1300 mm se registran sobre la ladera oriental de la Sierra de las Cruces, en las altitudes medias de las subcuencas. A partir de aquí disminuye hacia el noreste, así como al suroeste, pese a que en esta dirección la altitud aumenta. La mayor superficie de la zona de estudio recibe entre 1000 y 1300 mm de lluvia al año (54%).

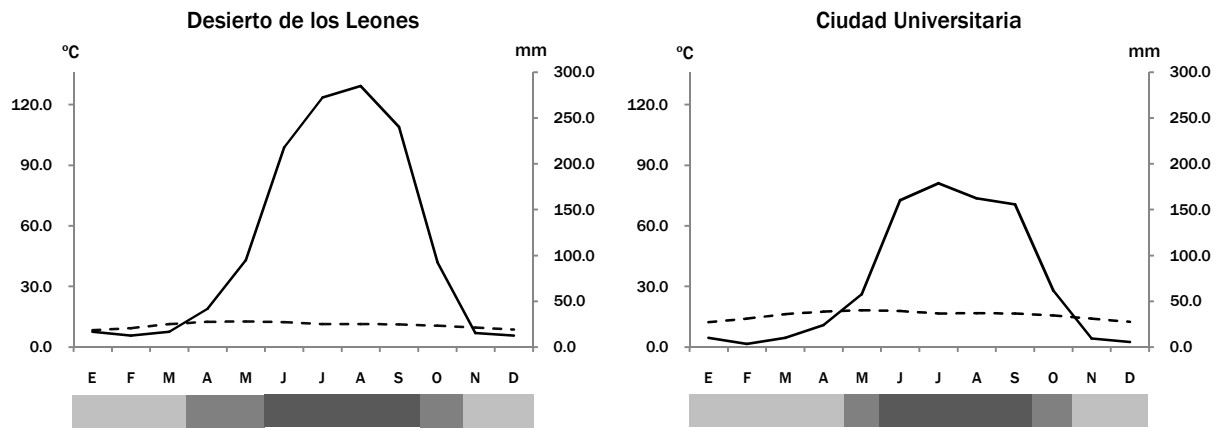


Figura 6. Diagramas ombrotérmicos de las estaciones meteorológicas Desierto de los Leones (09019) y Ciudad Universitaria (09CU). (—) precipitación, (- - -) temperatura media, (■) temporada seca, (■) temporada lluviosa, (■) superávit de lluvia. La escala de los ejes se elaboró según la razón $P=2T+28$ para determinar el número de meses secos (aquellos en los que la temperatura este por encima de la precipitación) (García *et al.*, 1983).

Los **climas** presentes en las subcuencas pertenecen a los tipos templado, semifrío, y frío (fig. 11). En la parte baja se presenta el tipo templado más húmedo de los subhúmedos [$Cb(w_2)(w)$], ocupando 13% de las subcuencas. La mayor parte del área (83%) la ocupa el tipo semifrío más húmedo de los subhúmedos [$Cb'(w_2)(w)$]. Por último, en las partes más altas se registra el tipo frío más húmedo de los subhúmedos [$E(T)HC(w_2)$], ocupando sólo el 4% de las subcuencas. Debido a que este último tipo se presenta en México por altitud y no por latitud, se agrega la letra "H" a la fórmula climática.

Toda el área registra menos del 5% de lluvia invernal con respecto a la total anual [(w)]. Se tiene entre 5 y 7°C de oscilación térmica anual en las partes bajas [(i´)], mientras que en las partes altas se presenta isothermalidad (menos del 5°C) [i]. La razón por la cual la oscilación a lo largo del año es menor en las partes altas que en las bajas puede deberse a que se presentan más variables que alteran la temperatura a bajas altitudes. Esto debido a la mayor cantidad de masa atmosférica en estas zonas, pues el aumento de la columna deriva en mayor variabilidad a lo largo del año. De igual manera, el movimiento (aparente) del sol en las diferentes estaciones no afecta de la misma manera la cima de una montaña que el fondo de un valle, pues en ciertas temporadas la radiación al valle se verá obstruida, mientras que en la montaña es más constante por no presentarse elementos que le impidan el paso. La marcha de la temperatura es de tipo Ganges en toda el área por presentarse el mes más caliente antes de junio [g].

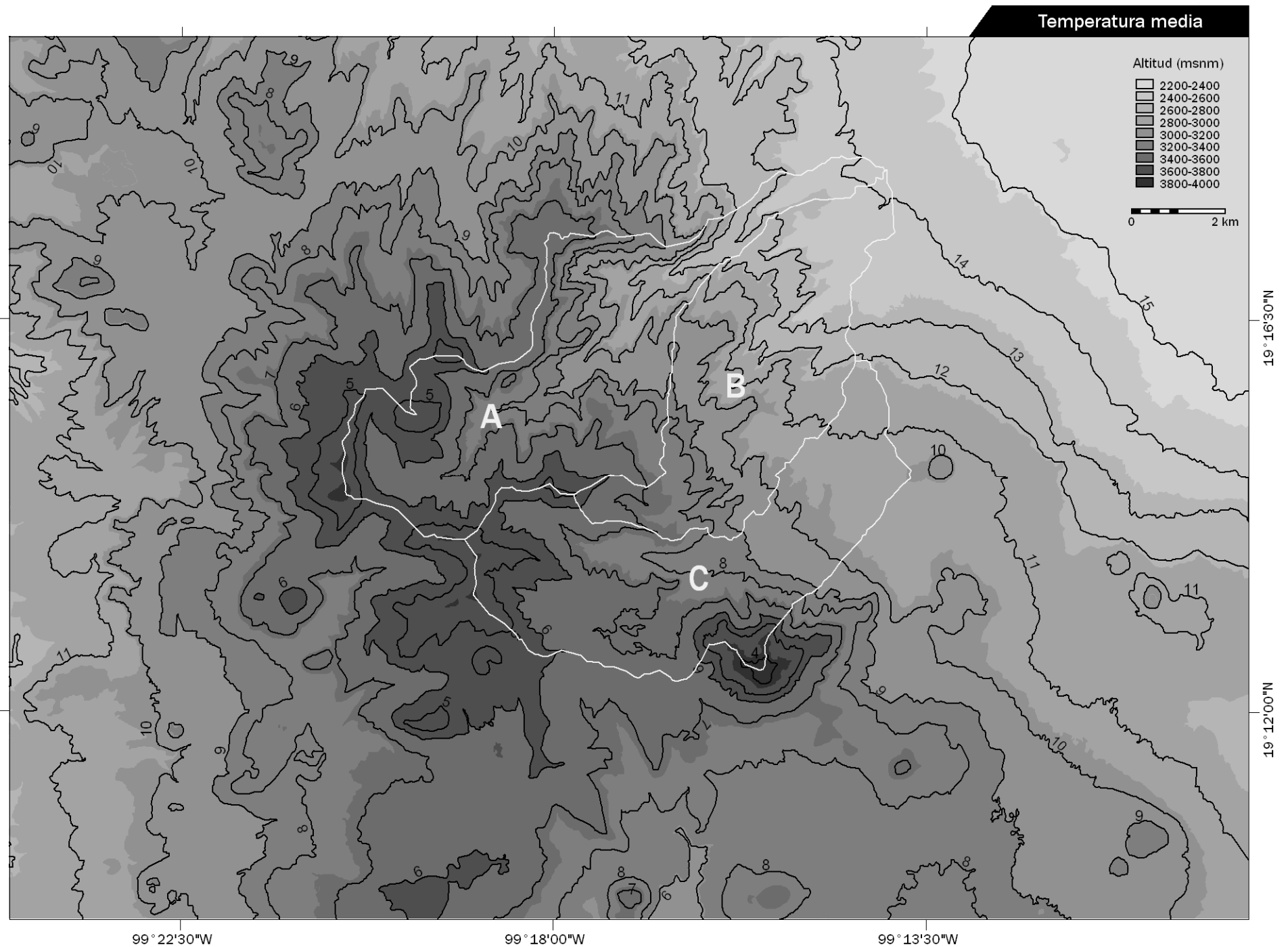


Figura 7. Mapa de isotermas medias anuales. Subcuencas: A) Magdalena, B) Eslava, C) Regaderas-Viborillas.
 Trazo: Ma. Engracia Hernández; Manejo en SIG: Carlos Dobler

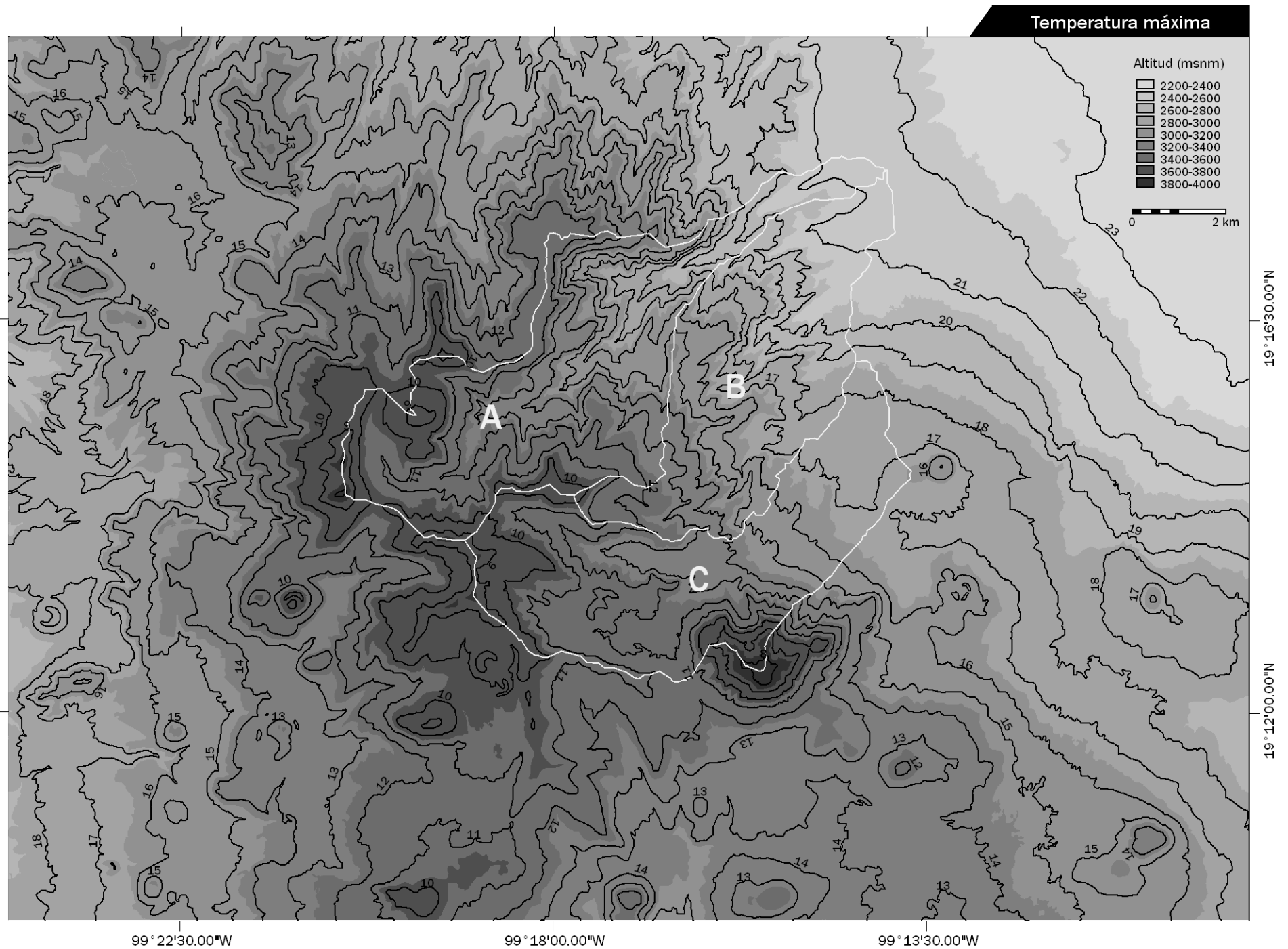


Figura 8. Mapa de isotermas máximas anuales. Subcuencas: A) Magdalena, B) Eslava, C) Regaderas-Viborillas.
 Trazo: Ma. Engracia Hernández; Manejo en SIG: Carlos Doblér

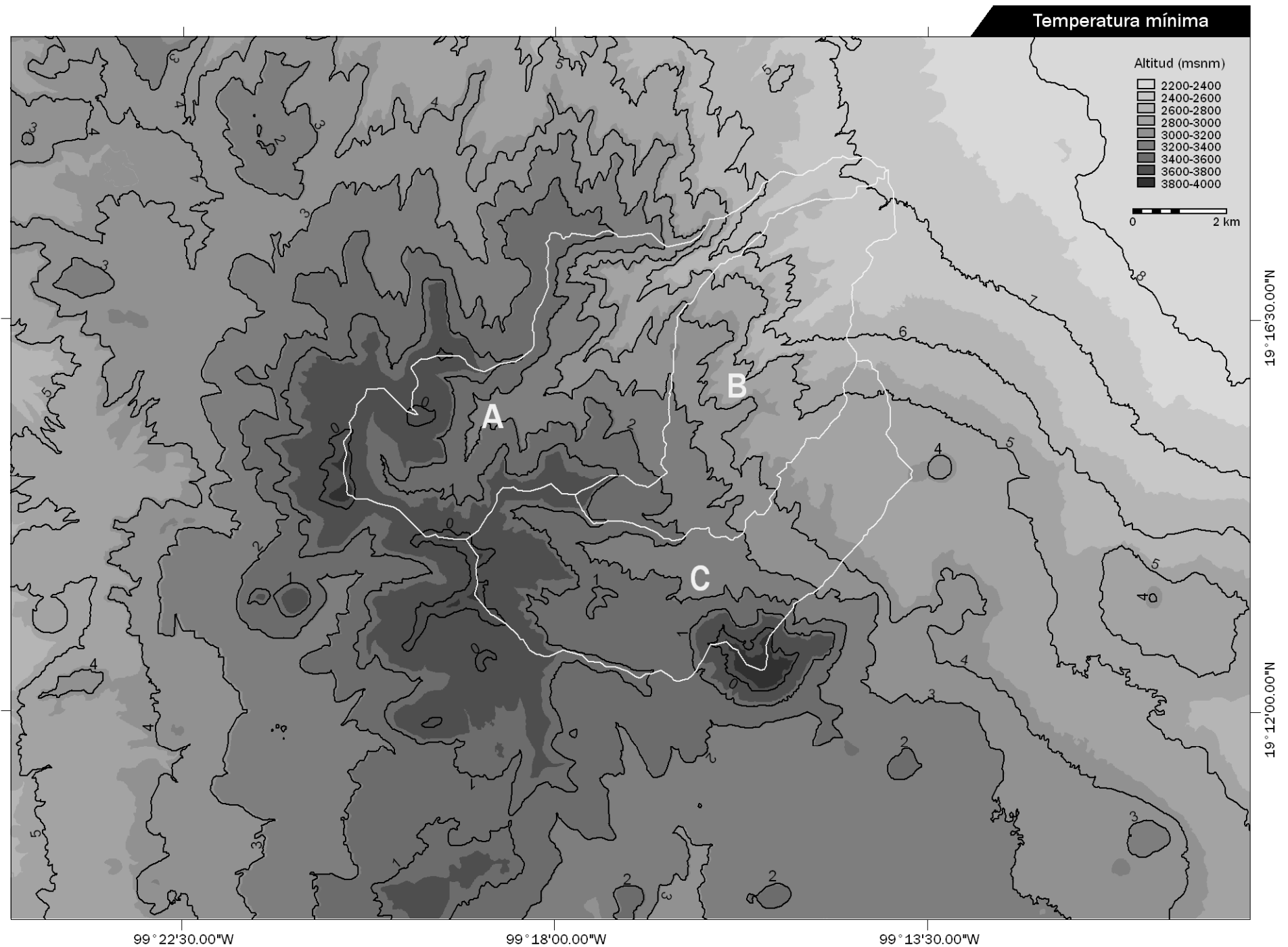


Figura 9. Mapa de isotermas mínimas anuales. Subcuencas: A) Magdalena, B) Eslava, C) Regaderas-Viborillas.
 Trazo: Ma. Engracia Hernández; Manejo en SIG: Carlos Dobler

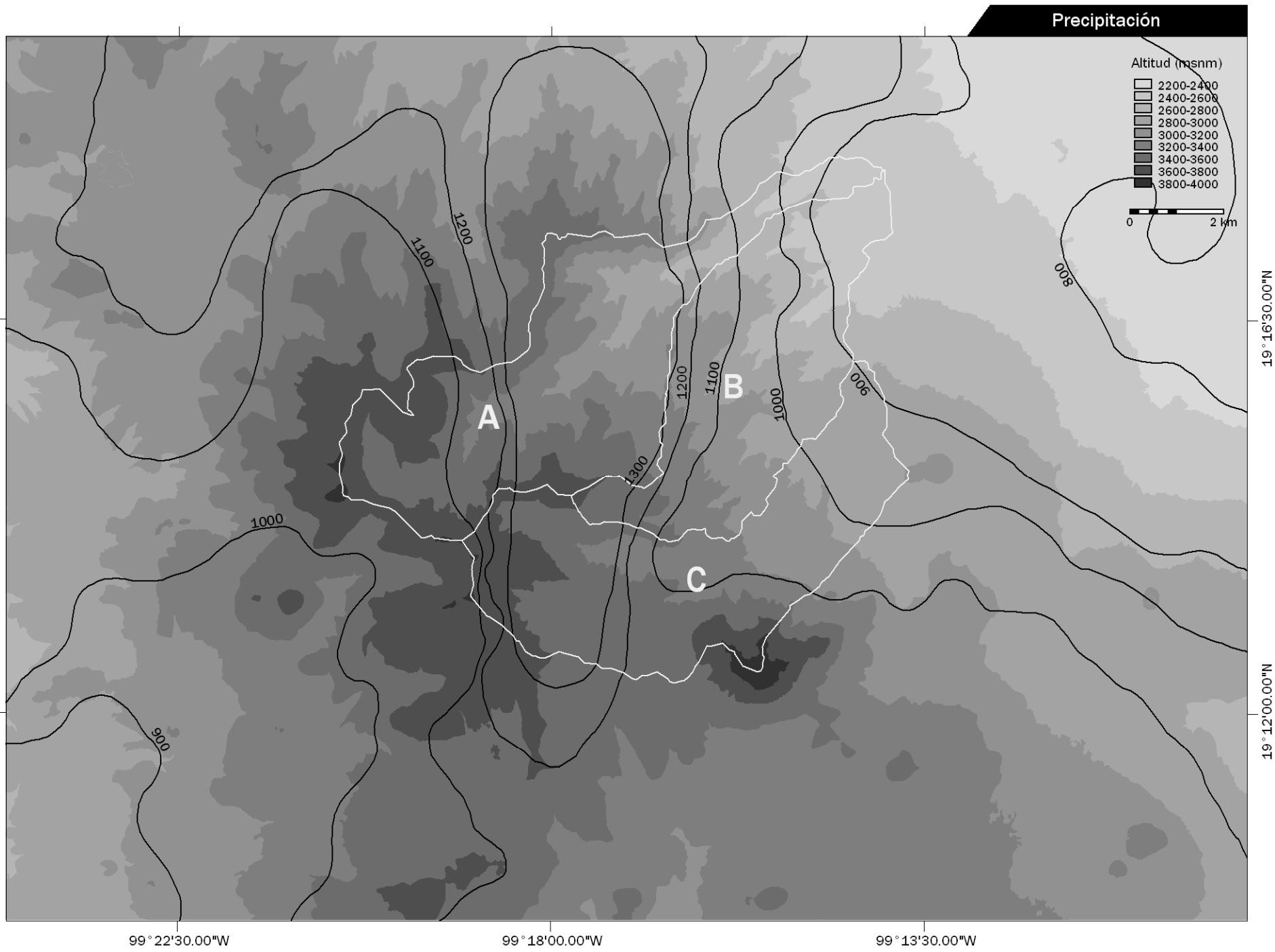


Figura 10. Mapa de isoyetas totales anuales. Subcuencas: A) Magdalena, B) Eslava, C) Regaderas-Viborillas. Trazo: Ma. Engracia Hernández; Manejo en SIG: Carlos Dobler

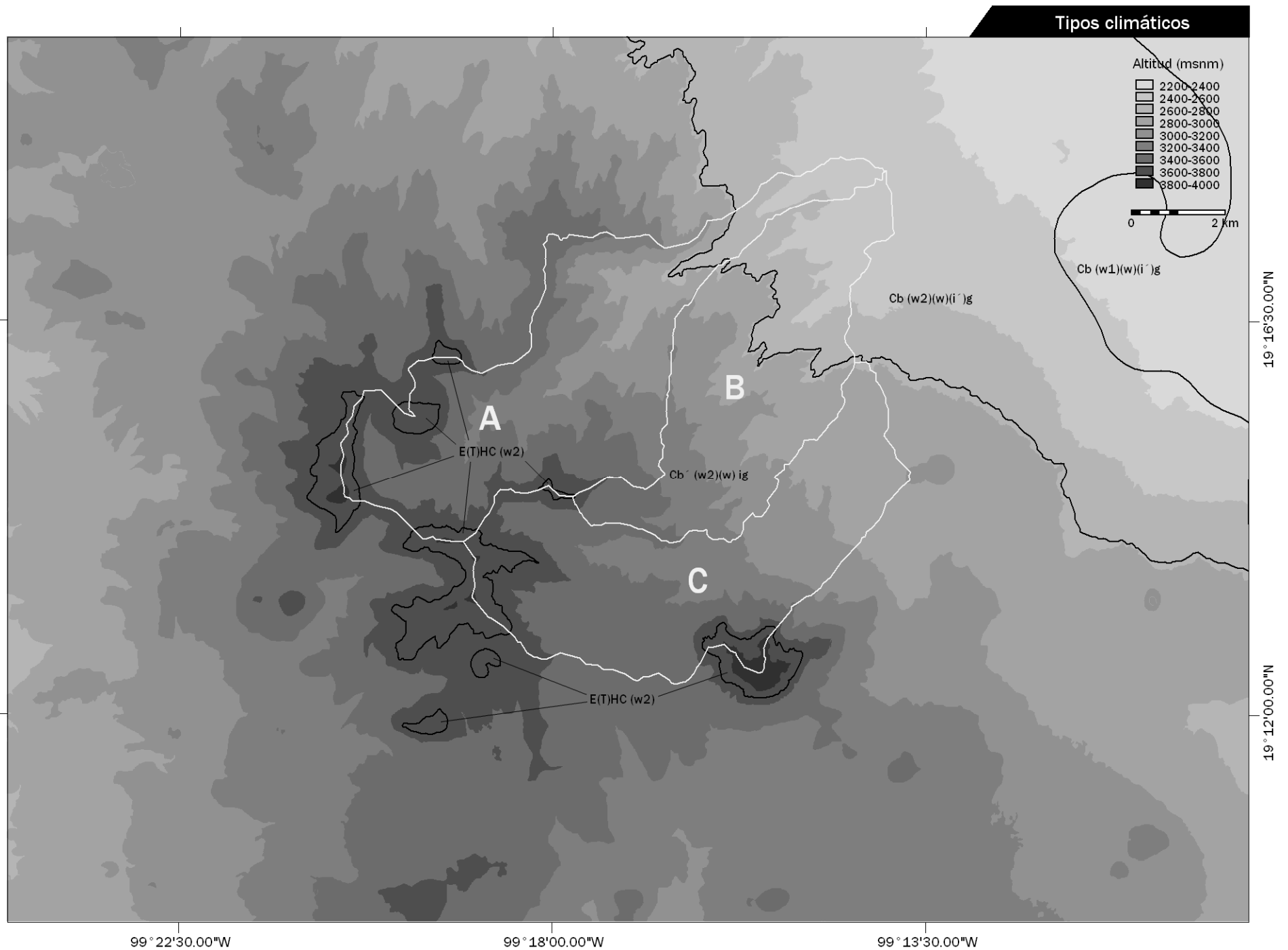


Figura 11. Mapa de tipos climáticos. Subcuencas: A) Magdalena, B) Eslava, C) Regaderas-Viborillas.
 Trazo: Ma. Engracia Hernández; Manejo en SIG: Carlos Dobler

6.2 RELACIÓN CLIMA-VEGETACIÓN

6.2.1 Perfiles de vegetación

Los dos perfiles se muestran en las figuras 12 y 13. El primero inicia en el cerro Muñeco, a una altitud de 3850 msnm (i). Desciende y pasa por una ladera del cerro Palma (ii). En su descenso, a los 3510 msnm, se da el cambio entre la comunidad de *Pinus* y *Abies*. El perfil continúa descendiendo y pasa por el cauce del río Magdalena, posteriormente asciende por el cerro Sasacapa hasta los 3120 msnm (iii). Este punto representa el parteaguas que limita la subcuenca del Magdalena. Desciende por la subcuenca del Eslava hasta una zona de vegetación perturbada. A los 2900 msnm se da el cambio entre la comunidad de *Abies* y *Quercus*. Esta comunidad persiste hasta los 2580 msnm, donde se encuentra con el área urbana.

A grandes rasgos, la comunidad de *Pinus hartwegii* se distribuye en la parte más fría, abarcando los pisos térmicos frío (-2 a 5°C de temperatura media) y semifrío (5 a 12°C). Cuando la temperatura media aumenta hasta los 8°C, la comunidad presente es *Abies religiosa*, la cual solo se presenta en el piso térmico semifrío. Esta zona también cuenta con la precipitación más alta, alcanzando los 1300 mm anuales. En la parte baja y con mayor temperatura se encuentra la comunidad de *Quercus spp.* con bosque mixto. Esta comunidad se presenta en la parte templada (12 a 18°C) y menos lluviosa de las subcuencas.

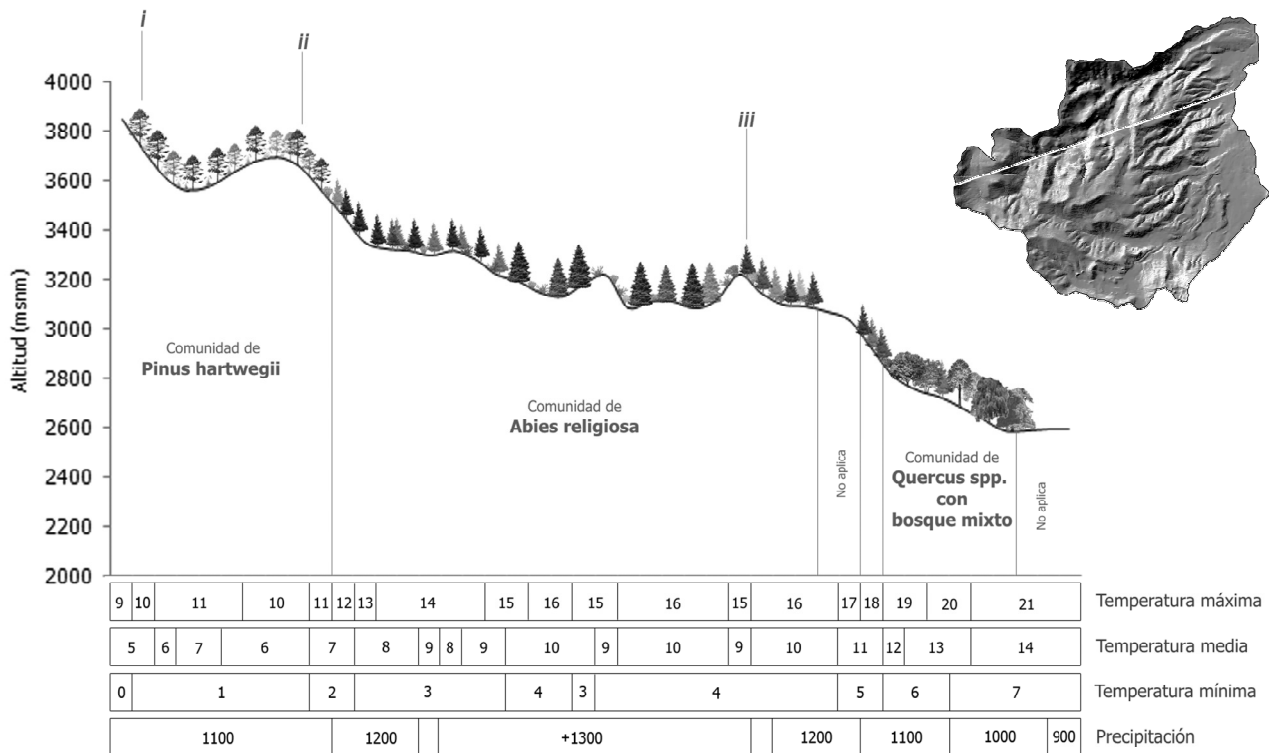


Figura 12. Perfil 1 de vegetación y su relación con las variables climáticas estudiadas. Los datos de temperatura están en °C y los de precipitación en mm.

El perfil 2 inicia en el parteaguas sur de la subcuenca del arroyo Viborillas, a 3690 msnm, con la comunidad de *Pinus* (i). Avanza por el complejo que divide los dos arroyos que forman esta subcuenca (ii). En la ladera norte de este complejo se presenta una porción de *Abies*, y cuando el perfil vuelve a ascender por el parteaguas que divide a las subcuencas del río Viborillas y Eslava (iii), la comunidad presente vuelve a ser *Pinus*. Desciende por el nacimiento del río Eslava y asciende por el parteaguas que divide a las subcuencas del río Eslava y Magdalena (iv). En el descenso por la subcuenca de este último río se da el cambio a la comunidad de *Abies*, a los 3480 msnm. Vuelve a cruzar el parteaguas que divide a las subcuencas del río Magdalena y Eslava cerca del cerro Sasacapa (v), y a los 3750 msnm se da el cambio entre la comunidad de *Abies* y *Quercus*, pasando antes por una zona de vegetación perturbada. El perfil continúa hasta el río Magdalena (vi) donde termina en contacto con el área urbana a 2590 msnm.

De manera similar al perfil 1, la comunidad de *Pinus hartwegii* se distribuye en la parte más fría. Su distribución se ve interrumpida por una zona de *Abies religiosa* a los 7°C de temperatura media, pero de manera más marcada, esta última se presenta cuando se alcanzan los 8°C. Tanto la comunidad de *Pinus* como la de *Abies* están distribuidas en el piso térmico semifrío y en la parte más lluviosa de las subcuencas. Por otra parte, la comunidad de *Quercus spp.* con bosque mixto se distribuye en la parte templada y menor precipitación de la parte baja.

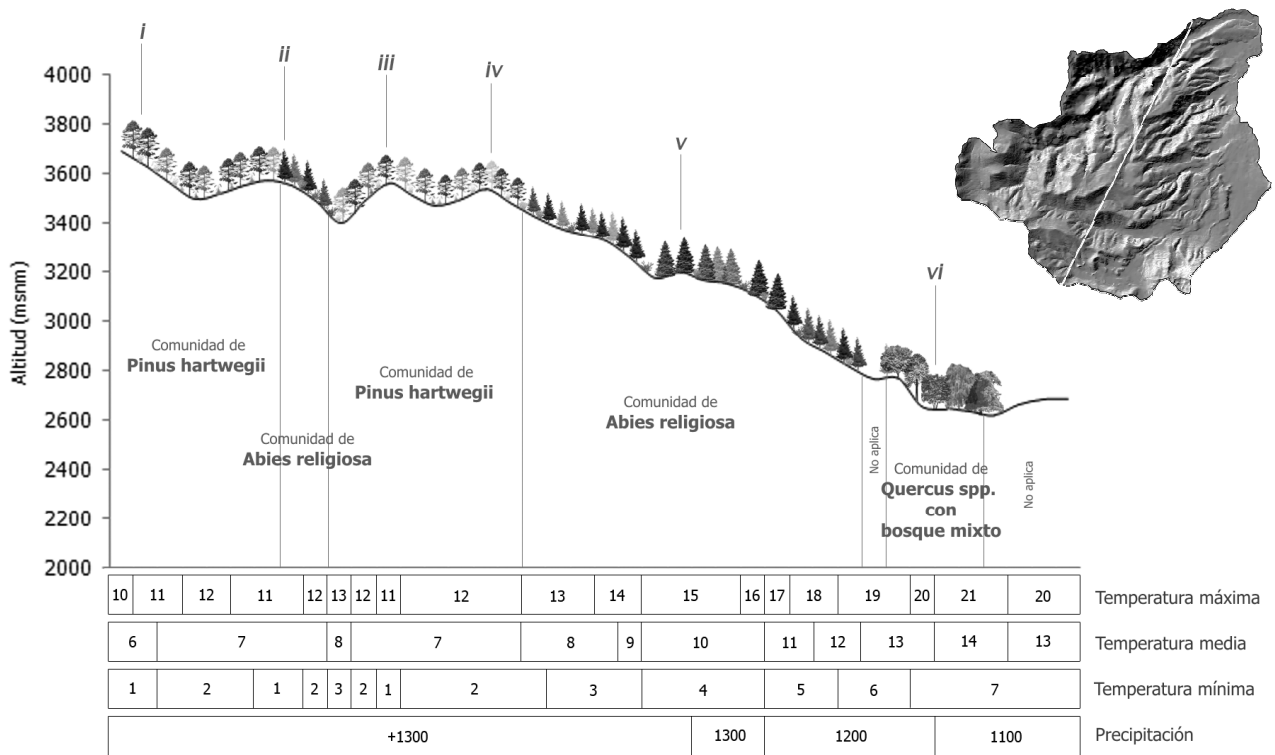


Figura 13. Perfil 2 de vegetación y su relación con las variables climáticas estudiadas. Los datos de temperatura están en °C y los de precipitación en mm.

En general, las comunidades se distribuyen en valores similares de temperatura y precipitación en los dos perfiles. Se observan diferencias en algunos valores donde se presentan los límites de las comunidades. Esto debido a la compleja topografía que deriva en condiciones microclimáticas particulares y diversas.

6.2.2 Cambio de distribución a lo largo de gradientes

Los intervalos de temperatura anual en sus tres variantes analizadas (media, máxima, y mínima) y precipitación total anual, así como los tipos climáticos en los cuales las comunidades del área de estudio se distribuyen se muestran en la tabla 5. Esta tabla sintetiza la información de las figuras 14 a 18, en las que se presenta la sobreposición de cada variable climática estudiada con la distribución de las comunidades. De la sobreposición se obtiene la superficie que las comunidades ocupan a lo largo de los gradientes térmicos y pluviales, así como la distribución de cada comunidad dentro de su intervalo.

Tabla 5. Intervalos térmicos, pluviales y tipos climáticos que las comunidades ocupan en las subcuencas. Los intervalos de cada variable representan los valores y tipos climáticos en los que las comunidades se encuentran (presencia). Dentro del intervalo, las comunidades ocupan una mayor superficie para un valor dado, e.g. la comunidad de *Pinus hartwegii* ocupa 48% de su superficie total entre 6 y 7°C de temperatura media.




Comunidad	Temp. media (°C)	Mayor superficie	Temp. máxima (°C)	Mayor superficie	Temp. mínima (°C)	Mayor superficie	Precip. anual (mm)	Mayor superficie	Tipos climáticos	Mayor superficie
<i>Pinus hartwegii</i>	4-9	6-7°C (48%)	7-15	10-11°C (34%)	-1-3	0-1°C (55%)	1000-1300	1250-1300 mm (42%)	E(T)HC(w ₂) Cb´(w ₂)(w)ig	Cb´(w ₂)(w)ig (89%)
<i>Abies religiosa</i>	5-13	7-8°C (34%)	9-20	12-13°C (18%)	0-6	2-3°C (32%)	950-1300	1250-1300 mm (40%)	Cb´(w ₂)(w)ig	Cb´(w ₂)(w)ig (100%)
<i>Quercus spp.</i> con bosque mixto	10-15	11-12°C (36%)	16-22	17-18°C (33%)	4-8	4-5°C (41%)	850-1300	950-1000 mm (32%)	Cb´(w ₂)(w)ig Cb(w ₂)(w)(i´)g	Cb´(w ₂)(w)ig (63%)

Temperatura media

Valor de temperatura de los polígonos

Polígono	Temperatura (°C)
1	4-5
2	5-6
3	6-7
4	7-8
5	8-9
6	9-10
7	10-11
8	11-12
9	12-13
10	13-14
11	14-15

Comunidades vegetales

	<i>Pinus hartwegii</i>
	<i>Abies religiosa</i>
	<i>Quercus spp.</i> con bosque mixto

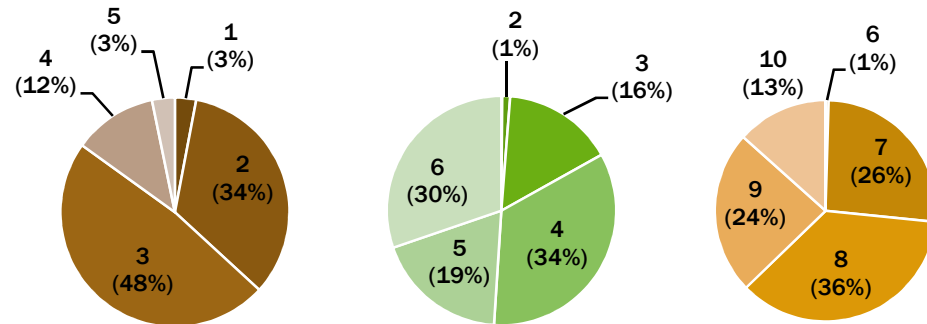
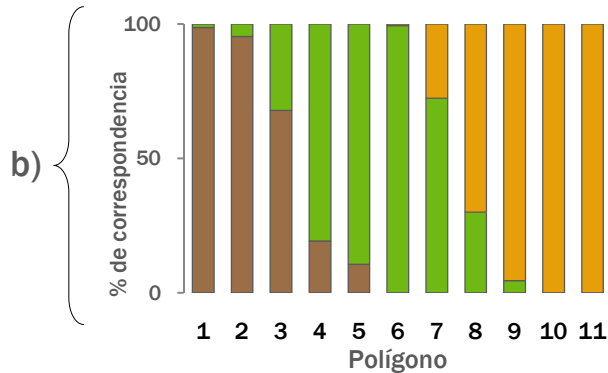
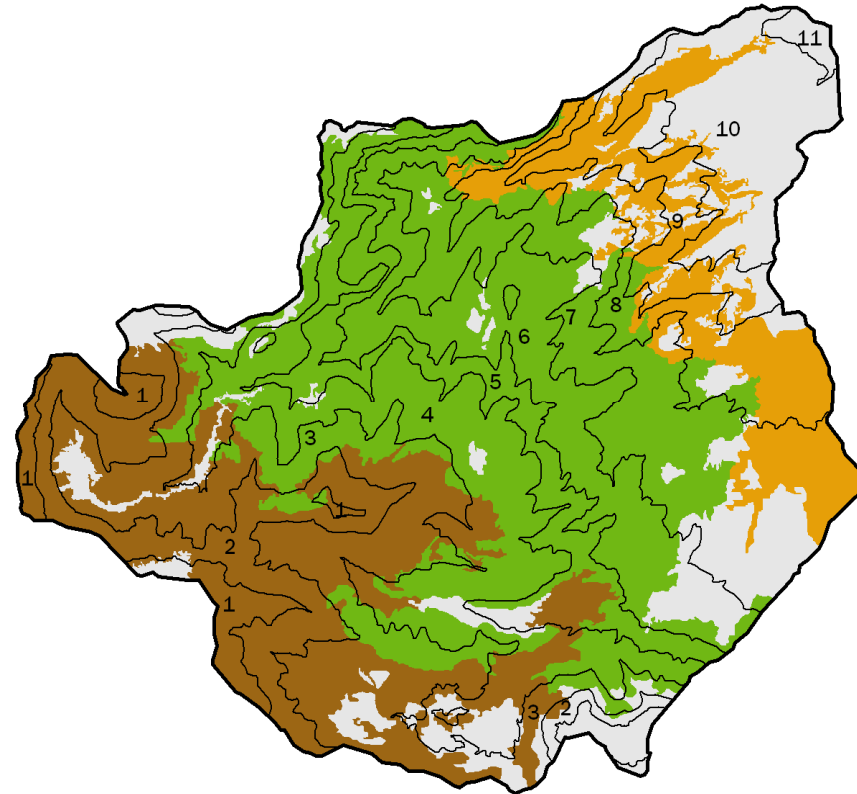


Figura 14. a) Sobreposición del mapa de isotermas medias y de comunidades vegetales. Las áreas grises son polígonos no considerados. b) Cambio de distribución para los diferentes polígonos de temperatura media. El nivel de la barra representa el porcentaje de correspondencia entre la comunidad y el valor de temperatura. c) Distribución de cada comunidad dentro del total de polígonos de temperatura media que ocupa.

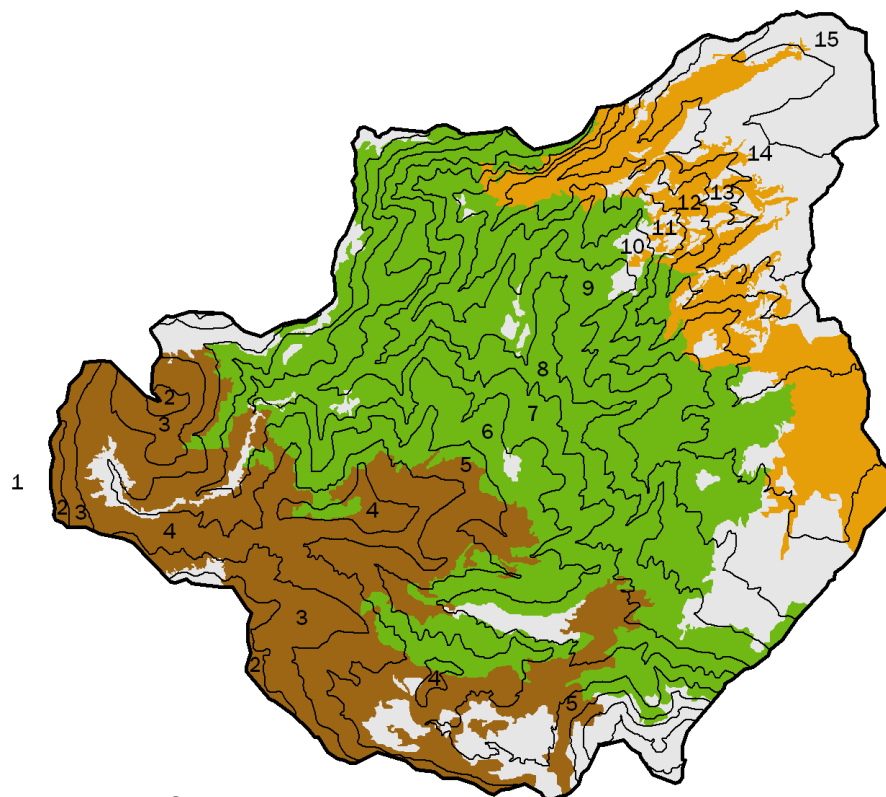
Temperatura máxima

Valor de temperatura de los polígonos

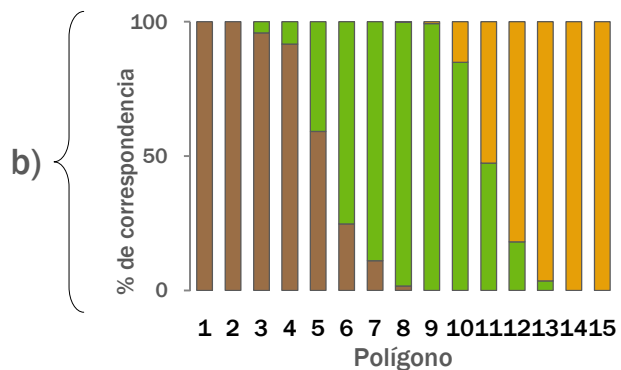
Polígono	Temperatura (°C)
1	7-8
2	8-9
3	9-10
4	10-11
5	11-12
6	12-13
7	13-14
8	14-15
9	15-16
10	16-17
11	17-18
12	18-19
13	19-20
14	20-21
15	21-22

Comunidades vegetales

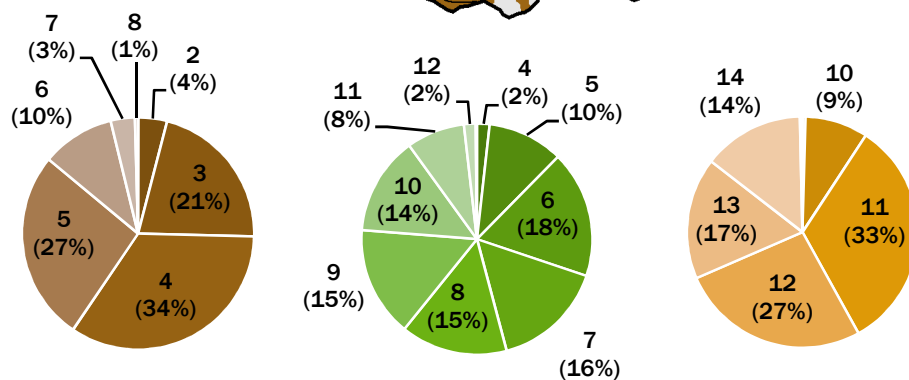
- Pinus hartwegii*
- Abies religiosa*
- Quercus spp.* con bosque mixto



a)



b)



c)

Figura 15. a) Sobreposición del mapa de isotermas máximas y de comunidades vegetales. Las áreas grises son polígonos no considerados. b) Cambio de distribución para los diferentes polígonos de temperatura máxima. El nivel de la barra representa el porcentaje de correspondencia entre la comunidad y el valor de temperatura. c) Distribución de cada comunidad dentro del total de polígonos de temperatura máxima que ocupa.

Temperatura mínima

Valor de temperatura de los polígonos

Polígono	Temperatura (°C)
1	-1-0
2	0-1
3	1-2
4	2-3
5	3-4
6	4-5
7	5-6
8	6-7
9	7-8

Comunidades vegetales

- Pinus hartwegii*
- Abies religiosa*
- Quercus spp.* con bosque mixto

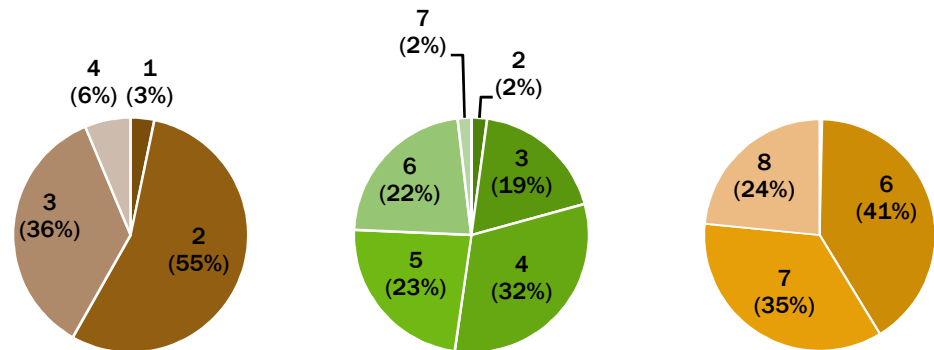
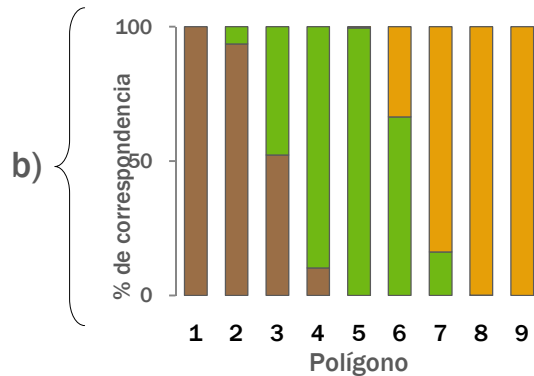
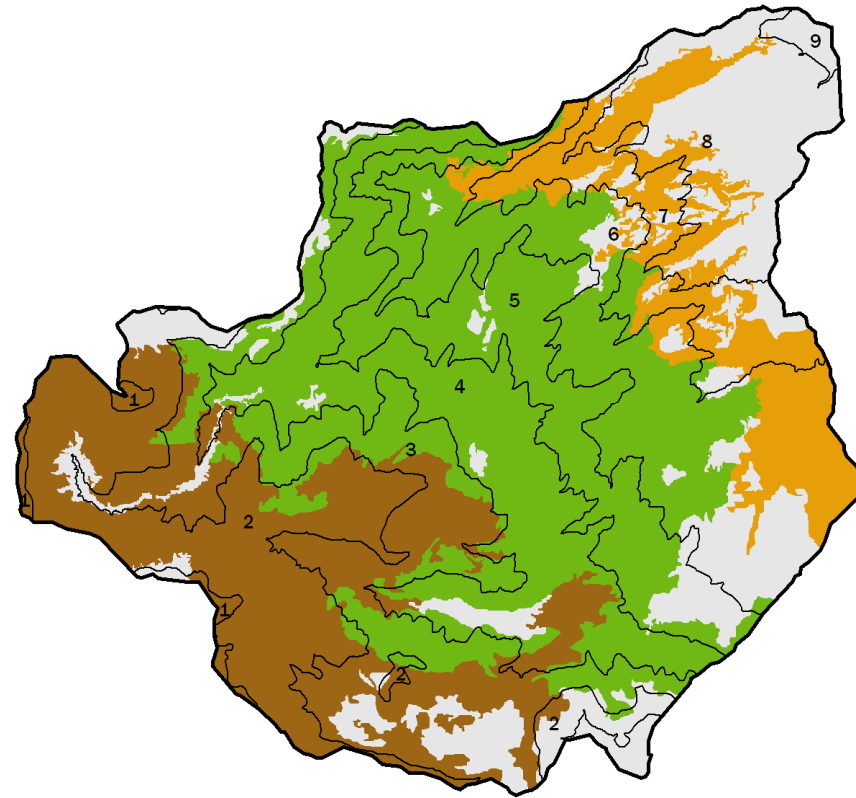





Figura 16. a) Sobreposición del mapa de isotermas mínimas y de comunidades vegetales. Las áreas grises son polígonos no considerados. b) Cambio de distribución para los diferentes polígonos de temperatura mínima. El nivel de la barra representa el porcentaje de correspondencia entre la comunidad y el valor de temperatura. c) Distribución de cada comunidad dentro del total de polígonos de temperatura mínima que ocupa.

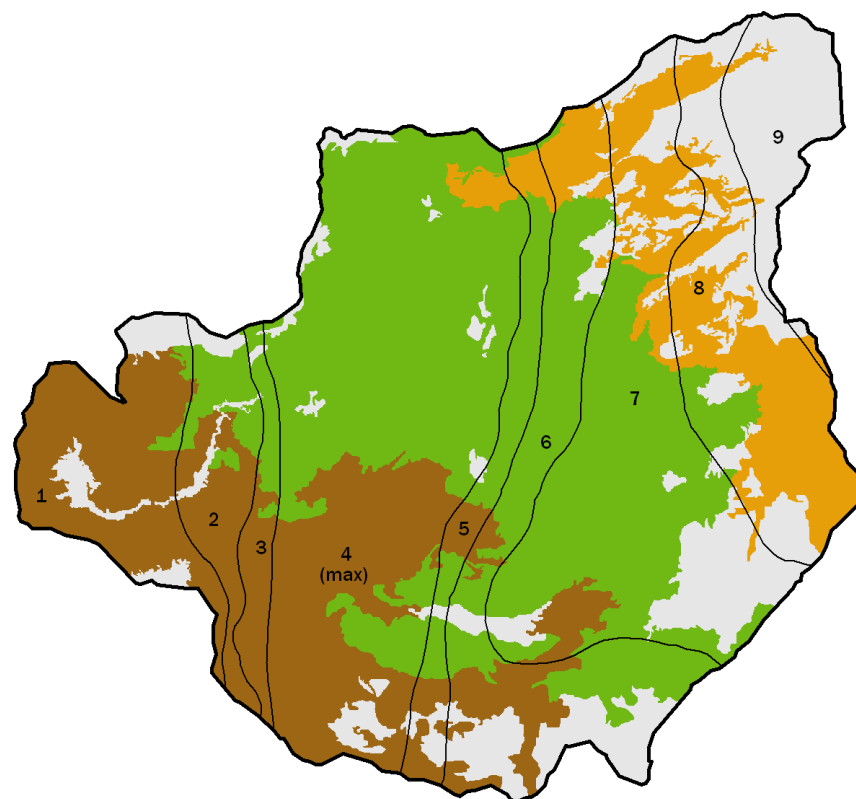
Precipitación

Valor de precipitación de los polígonos

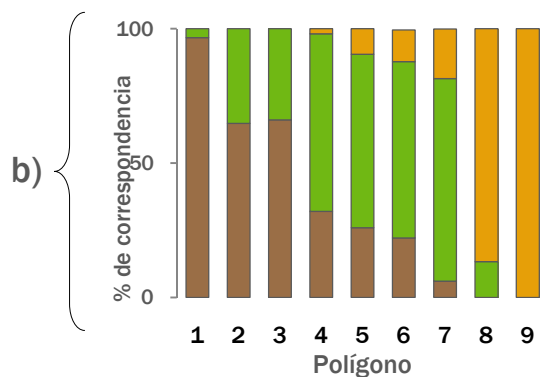
Polígono	Precipitación (mm)
1	1000-1100
2	1100-1200
3	1200-1300
4	+1300
5	1200-1300
6	1100-1200
7	1000-1100
8	900-1000
9	800-900

Comunidades vegetales

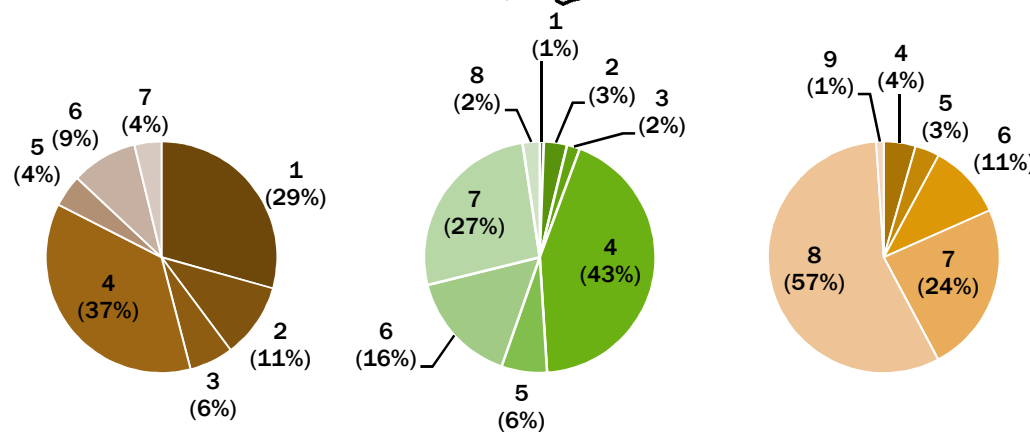
	<i>Pinus hartwegii</i>
	<i>Abies religiosa</i>
	<i>Quercus spp.</i> con bosque mixto



a)



b)



c)




Figura 17. a) Sobreposición del mapa de isoyetas anuales y de comunidades vegetales. Las áreas grises son polígonos no considerados. b) Cambio de distribución para los diferentes polígonos de precipitación anual. El nivel de la barra representa el porcentaje de correspondencia entre la comunidad y el valor de precipitación. c) Distribución de cada comunidad dentro del total de polígonos de precipitación anual que ocupa.

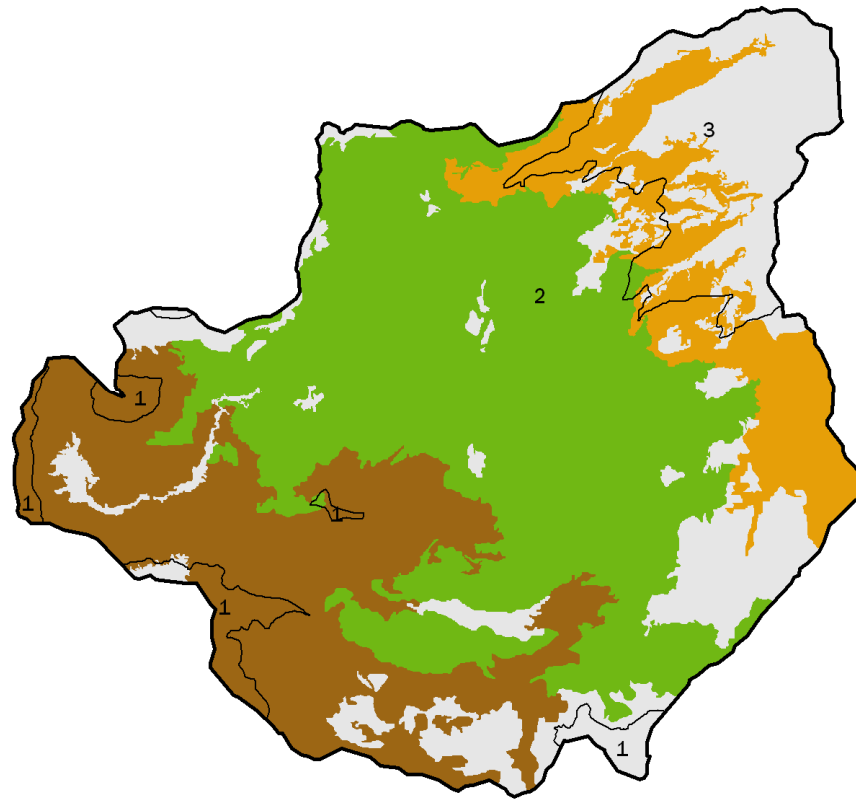
Tipos climáticos

Tipos climáticos de los polígonos

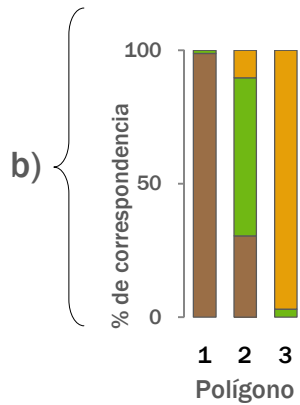
Polígono	Tipos climáticos
1	E(T)HC(w ₂)
2	Cb'(w ₂)(w)ig
3	Cb(w ₂)(w)(i')g

Comunidades vegetales

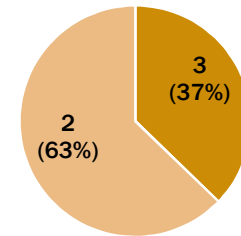
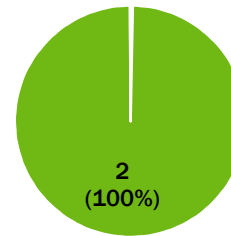
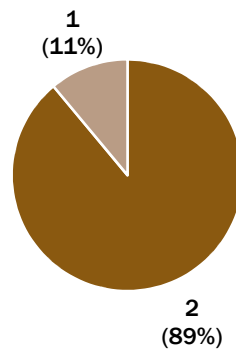
	<i>Pinus hartwegii</i>
	<i>Abies religiosa</i>
	<i>Quercus spp.</i> con bosque mixto



a)



b)



c)

Figura 18. a) Sobreposición del mapa de tipos climáticos y de comunidades vegetales. Las áreas grises son polígonos no considerados. b) Cambio de distribución para los diferentes tipos climáticos. El nivel de la barra representa el porcentaje de correspondencia entre la comunidad y el tipo climático. c) Distribución de cada comunidad dentro de los tipos climáticos que ocupa.

6.2.3 Análisis de correspondencia canónico (ACC)

La influencia de las variables climáticas en la cobertura de las especies diagnósticas de cada comunidad se muestra en el ACC (fig. 19) El análisis identifica cuál variable climática es la responsable de que la especie exprese una mayor cobertura.

Cada variable climática esta representada por una flecha. La flecha a su vez, determina un eje en el diagrama. La distancia de cada especie con respecto a este eje, está relacionada con la influencia de la variable en la abundancia (cobertura) de la especie, de tal manera que especies cercanas a un eje (e.g. precipitación) están fuertemente influenciadas por esa variable. El sentido de la flecha determina hacia donde aumentan los valores de la variable, mientras que la longitud está relacionada con cuánto explica la variación en la comunidad.

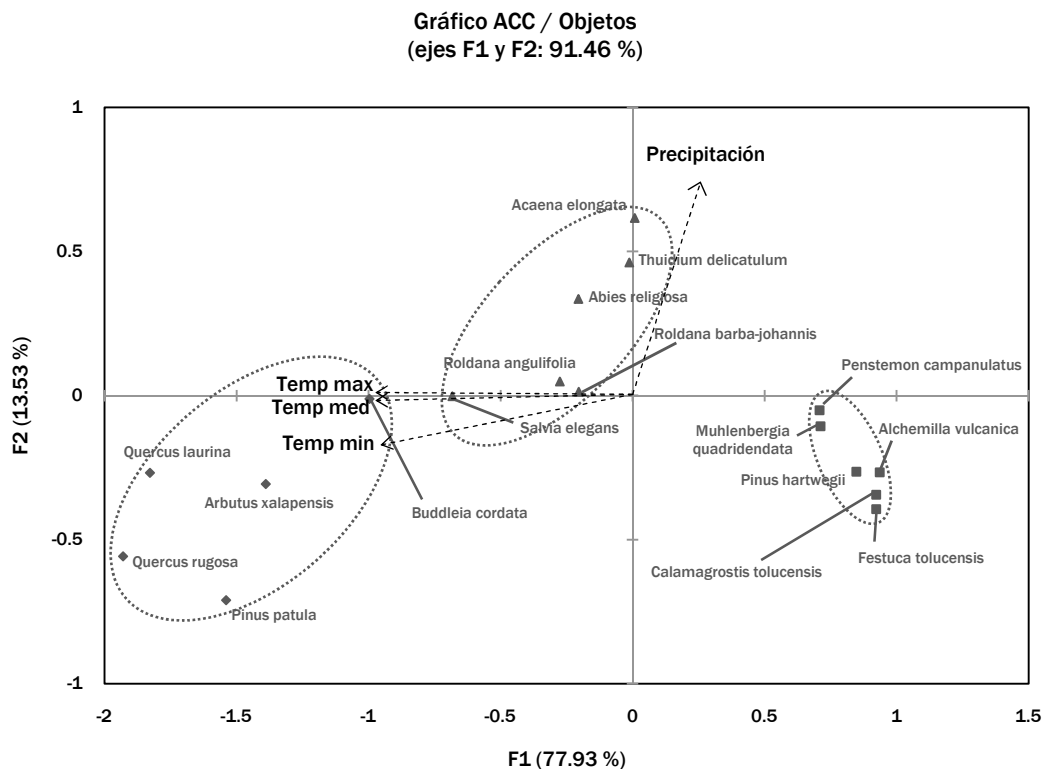


Figura 19. ACC. (■) especies de la comunidad de *Pinus hartwegii*, (▲) especies de la comunidad de *Abies religiosa*, (◆) especies de la comunidad de *Quercus spp.* con bosque mixto.

En el ACC se observa que las especies de la comunidad de *Pinus hartwegii* se localizan cercanas al eje de la temperatura (en sus tres variantes) con dirección al decremento de la misma. Hacia el aumento se encuentran las especies de la comunidad de *Quercus spp.* con bosque mixto. En una zona intermedia y más alejada del eje de la temperatura, se encuentran las especies de la comunidad de *Abies religiosa*. Éstas se acercan más a la variable precipitación, denotando mayor influencia por parte de la misma. Debido a que la temperatura esta en estrecha relación

con la altitud, es de esperarse que el eje de esta variable muestre la distribución de las comunidades igual al gradiente altitudinal: *Pinus* en las partes altas, *Abies* en las altitudes medias, y *Quercus* en las partes bajas. No es el caso de la precipitación, pues solo la comunidad de *Abies religiosa* es la que se aproxima a este eje.

Hay que resaltar que, dentro del ACC, las especies de la comunidad de *Pinus hartwegii* se encuentran mejor agrupadas que las especies de las comunidades de *Abies religiosa* y *Quercus spp.* con bosque mixto. Esto significa que la comunidad de *Pinus hartwegii* es más homogénea en cuanto a sus requerimientos climáticos. El arreglo más disperso de las especies de las otras dos comunidades denota mayor variabilidad en las condiciones climáticas que influyen en éstas (como comunidades).

7. DISCUSIÓN

Para interpretar los patrones climáticos generales del área se realizó un primer análisis haciendo uso de los mapas publicados a la fecha. De manera general, es posible ver que las isolíneas en las tres cartas se distribuyen de manera similar, aunque existen diferencias, sobretudo en la ubicación precisa de las isolíneas, y por tanto, de las zonas que abarca cada uno de los tipos climáticos. Esto se puede deber al número de años de datos, así como de la escala empleada. Es importante señalar que aunque la edición de CETENAL está elaborada a escala 1:500 000 y debería tener más detalle, es en la que menor número de estaciones se utilizaron y éstas contaban con un menor número de años de datos. Esto se refleja en el cambio del grado de humedad que registran las estaciones Presa Mixcoac y Hacienda Peña Pobre de (w1) (edición CETENAL) a (w2) (ediciones DETENAL y CONABIO), ya que este cambio no se debe a un aumento en la cantidad de lluvia recibida en ese lugar, sino a un mayor número de datos que hacen más confiable la información de las últimas.

Los mapas actualizados se elaboraron para analizar el clima a escala local. Para tal efecto, se calcularon gradientes térmicos a partir de datos provenientes de estaciones meteorológicas. En el caso particular de la precipitación no se calculó un gradiente, pues se observó que la cantidad de lluvia no presentaba una relación lineal con la altitud, sino que la cantidad máxima (más de 1300 mm anuales) ocurre en las altitudes medias de las cuencas. Este fenómeno está bien documentado, e incluso se ha registrado en zonas montañosas cercanas al área de estudio (Giménez *et al.*, 2003). Se puede inferir que las masas de aire húmedo provenientes del noreste (alisios) se elevan por efecto orográfico al encontrarse con la Sierra de las Cruces. La temperatura de las masas desciende conforme aumenta la altitud, provocando su condensación y precipitación antes de alcanzar las altitudes máximas.

Los tipos climáticos observados en las subcuencas se obtuvieron a partir del Sistema Modificado por García (2004). Éste es una adaptación del sistema de clasificación de Köppen para las condiciones de México. Los tipos climáticos del Sistema Modificado describen de manera más precisa el clima de la zona de estudio, pues no solo toma en cuenta la distribución de isotermas e isoyetas, sino considera otros factores e índices que no es posible ver en los mapas de temperatura y precipitación. Un ejemplo de esto es el régimen de lluvias: las fórmulas climáticas indican que la lluvia se concentra en la mitad caliente del año, lo cual no puede observarse en el mapa de precipitación. Otro elemento importante es el índice de Lang (P/T), pues representa la relación que existe entre los dos elementos más importantes del clima en la distribución de la vegetación (García 2004). Los tipos climáticos no solo delimitan requerimientos térmicos y pluviales para las plantas, sino que incorporan factores que influyen en el desarrollo de las mismas (García, 1972).

En el área de estudio se observa que existe cierta relación entre la distribución de los tipos climáticos con la distribución de las comunidades vegetales. El límite entre la comunidad de

Abies y *Quercus* se ubica cerca del límite del clima templado y semifrío. Por otra parte, no existe un límite entre tipos climáticos que se relacione con el cambio de comunidades de *Abies* a *Pinus*, debido a que esta última comunidad se presenta tanto en el clima semifrío como en el frío.

La identificación de los intervalos climáticos bajo los cuales cada comunidad se distribuye permite conocer cuáles son los requerimientos térmicos y pluviales necesarios para el establecimiento de las especies que las conforman. Estos intervalos se han reconocido previamente para las comunidades de las subcuencas, principalmente lo que concierne a la temperatura media anual y a la precipitación total anual.

Con respecto a la comunidad de *Pinus hartwegii*, se distribuye en las partes más altas de las cuencas, representando el límite superior de la vegetación y siendo la más tolerante a las bajas temperaturas (Miranda y Hernández, 1963; Rzedowski, 1978; Giménez *et al.*, 2003). Las temperaturas medias que se han identificado como requerimiento para la presencia de los pinares (en general) en México se encuentran alrededor de 10 a 20°C (Rzedowski, 1978). Para la precipitación, se reportan en zonas que presentan de 600 a 1000 mm (Rzedowski, 1978) y hasta 1200 mm (Challenger, 1998) de precipitación anual. Este dato coincide parcialmente con los resultados obtenidos para la comunidad de *Pinus hartwegii* (1000 a 1300 mm), y se atribuye que la comunidad es capaz de soportar las condiciones de menor precipitación características de las zonas altas (Rzedowski, 1978; Challenger, 1998). Las temperaturas medias reportadas para los pinares no coinciden con los resultados obtenidos (4-9°C) pues en este caso se trata de una comunidad más específica.

La comunidad de *Abies religiosa* está descrita como una comunidad restringida a los sitios de alta montaña, y por lo general, distribuida por debajo de *Pinus hartwegii* en altitud debido a que los oyameles no están bien adaptados a las condiciones de menor precipitación de zonas altas (Rzedowski, 1978; Challenger, 1998). Esto hace que la comunidad esté caracterizada por ser un bosque con afinidad a condiciones de humedad, las cuales encuentra en barrancas y laderas protegidas del viento fuerte e insolación intensa (Rzedowski, 1978; Challenger, 1998). Estos requerimientos climáticos relativos a la humedad coinciden con los resultados obtenidos, pues es posible ver que la comunidad de *Abies* se encuentra en la zona con mayor precipitación y más accidentada de las cuencas. Rzedowski (1978) delimita a esta comunidad de los 7 a los 15°C, lo que coincide relativamente con los resultados (5-13°C). La tolerancia de esta comunidad con respecto a la temperatura es amplia, y es casi siempre la distribución de la humedad la que determina los límites altitudinales de este bosque (Rzedowski, 1978; Giménez *et al.*, 2003).

Por último, los bosques de encino están caracterizados por presentarse en conjunto con pinos, conformando bosques mixtos, o por debajo de los mismos. Se encuentran de los 12 a los 20°C de temperatura media, así como entre 600 y 1200 mm de precipitación anual (Rzedowski, 1978; Challenger, 1998). Estos valores se ajustan en parte a los resultados obtenidos (10-15°C y 850-1300 mm). La distribución de esta comunidad coincide con lo descrito por Rzedowski (1978),

quien describe a los encinos como un género poco exigente en cuanto a sus condiciones climáticas, pues se pueden encontrar tanto en zonas áridas como muy húmedas, por ejemplo, en bosques mesófilos de montaña.

En términos generales, la relación entre la distribución de las variables climáticas y la distribución de la vegetación se refleja en la disposición “en bandas” de estas últimas a diferentes altitudes. Para analizar la relación entre estas bandas y las isolíneas trazadas, se realizó la sobreposición de mapas climáticos y de vegetación. Los cambios en la distribución de las comunidades a lo largo de los gradientes térmicos y pluviales (figs. 14b, 15b, 16b, 17b, y 18b) indican cuánta superficie ocupa la comunidad para los diferentes valores de temperatura y precipitación. Cuando para una comunidad, el porcentaje de correspondencia se encuentra al 100% para un valor dado, significa que esa comunidad se encuentra de manera exclusiva en el valor dado, es decir, no hay otra comunidad compartiendo ese espacio. Se interpreta que ese valor de temperatura o precipitación le es favorable sobre las otras comunidades. Cuando el porcentaje desciende, es porque la superficie para un valor dado está compartida por la presencia de la comunidad vecina, lo que significa que ese valor es favorable para ambas comunidades.

Bajo este principio, se observa que en las partes frías *Pinus hartwegii* se encuentra de manera exclusiva. Conforme se asciende en el gradiente térmico, tanto esta comunidad como la de *Abies religiosa* encuentran condiciones favorables. A mayor temperatura, solo *Abies religiosa* está presente. Si el gradiente aumenta más, también la comunidad de *Quercus spp.* se favorece, y al final, esta comunidad se encuentra exclusivamente en la parte más baja y con mayor temperatura de las subcuencas. Con respecto al gradiente pluvial, éste no tiene una relación directa con la altitud, presentando su máximo entre ~3000 y 3400 msnm. En los valores más altos, la comunidad de *Abies religiosa* es la favorecida, y conforme desciende, *Pinus hartwegii* se distribuye por el suroeste (a mayor altitud) y *Quercus spp.* por el noreste (a menor altitud).

En los mapas sobrepuestos se observa que las comunidades se encuentran parcialmente delimitadas por alguna isolínea. La razón por la cual se presentan porciones de alguna comunidad por fuera de la delimitación general se puede explicar por la naturaleza del análisis. Éste considera las variables climáticas de manera independiente. Sin embargo, existen muchos factores que influyen en la distribución de la vegetación, además de que a menudo unos tienen influencia sobre otros, ejerciendo entre sí acciones complementarias o antagónicas (Rzedowski, 1978). Por ejemplo, el efecto que ejerce la temperatura sobre la eficiencia de la precipitación; la orientación de una pendiente influye en la exposición y a su vez en la temperatura; o cómo el suelo, según sus características, puede almacenar humedad y ponerla a disposición de la vegetación en temporada de estiaje (García, 1972, 1980; Fidalgo y Ferreras, 1999). Por tanto, es muy raro que una variable climática se relacione y explique de manera independiente la distribución de la vegetación (Brown, 1984; Stevens, 1992).

Por otra parte, el ACC analiza las variables en conjunto. A través de este análisis, se puede observar que el clima también tiene influencia en el modo en el que una comunidad se ensambla, pues muestra el grado en el que una variable climática afecta a cada especie (ter Braak, 1987) y cuando los requerimientos climáticos son similares para varias especies, éstas se distribuyen de manera conjunta (aunque intervienen también otros factores) (Whittaker, 1975).

El ACC coincide con los resultados obtenidos en la sobreposición de mapas: las condiciones de baja temperatura en sus tres variantes analizadas favorece la presencia de especies pertenecientes a la comunidad de *Pinus hartwegii*, temperaturas medias con alta precipitación, favorecen a especies de la comunidad de *Abies religiosa*. Se observa que hay algunas especies de esta comunidad que también se distribuyen con precipitación menor y temperatura mayor (e.g. *Salvia elegans*), lo que indica que la comunidad está ensamblada bajo una mayor variedad de condiciones climáticas, o dicho de otro modo, una mayor amplitud térmica y pluviométrica. Por último, las condiciones de temperaturas más elevadas son favorables para las especies de la comunidad de *Quercus spp.* con bosque mixto. Esta comunidad también presenta una alta variabilidad en cuanto a la precipitación bajo la cual sus especies se distribuyen. *Pinus patula* y *Quercus rugosa* representan especies afines a condiciones de menor precipitación, mientras que *Buddleia cordata* prefiere mayor precipitación. La amplitud en temperatura también es mayor que en las otras comunidades.

El ACC demuestra que la cobertura está en función de las variables climáticas. Utilizando a la cobertura como equivalente de abundancia, los resultados obtenidos se ajustan a la teoría de gradientes ambientales, pues a cierta temperatura, precipitación u otro elemento climático, la especie presenta un óptimo. El óptimo se refleja en un aumento de cobertura, que se revela en el ACC cuando la especie se aproxima gráficamente hacia aquellas variables que le son favorables. El ACC indica la dirección del óptimo (e.g. decremento de temperatura, aumento de precipitación, etc.), aunque no proporciona el dato exacto del valor en el que ocurre el mismo, y por lo mismo, tampoco de los valores de subóptimo, es decir, de estrés para la planta. Para tal efecto se debe realizar un análisis directo de gradientes, en el que se miden niveles de abundancia con relación a algún parámetro ambiental que cambie de manera gradual (Whittaker, 1975; Austin, 1985, 1989).

De los factores que influyen en la distribución de la vegetación se deben considerar tanto los físicos (ambientales) como los bióticos. Con respecto a éstos último, se ha reportado que la interacción entre especies es un factor muy importante. En las plantas, la más importante es la competencia (MacArthur, 1972). Ésta puede estar ligada de manera estrecha con el clima: bajo ciertas condiciones, un grupo de especies puede ser dominante sobre otro, y si las condiciones cambian, la dominancia puede invertirse (Dunson y Travis, 1991). Volviendo a la sobreposición de mapas, el hecho de encontrar condiciones favorables puede estar relacionado estrechamente con éxito competitivo.

En un gradiente ambiental, un mayor número de especies se presenta en donde las condiciones son menos extremas (Brown *et al.*, 1996). Este mayor número de especies también compiten, lo que reduce su área de distribución. Esto se conoce como la regla de Rapoport y se ha demostrado en gradientes tanto latitudinales como altitudinales (Stevens, 1989, 1992; Ruggiero, 2001; Pither, 2003). Un mayor número de especies en las partes bajas podría explicar la mayor variabilidad en requerimientos climáticos para las comunidades de *Quercus* y *Abies*. Por el contrario, debido al número restringido de especies en las partes altas, las condiciones climáticas que influyen en la comunidad de *Pinus* son más homogéneas.

Por último, la relación que se pueda encontrar entre clima y vegetación depende de la escala que se esté utilizando, tanto espacial como temporal. Con respecto a la espacial, se debe tomar en cuenta que el área de estudio no es un simple gradiente altitudinal, sino es un área con topografía compleja. La condición alternante entre valles y parteaguas propicia condiciones desiguales de microclima que afectan también el desarrollo de la vegetación (Giménez *et al.*, 2003). En los perfiles se observa que las comunidades se encuentran en condiciones climáticas que no coinciden exactamente en uno y otro perfil, lo que demuestra que se presentan otros factores que influyen en la distribución de las mismas, pero que no se revelan a esta escala. Un caso particular se da en el perfil 2, en donde se puede observar que la comunidad de *Abies* se distribuye en una franja de 3400 a 3600 msnm, lo cual no corresponde con la altitud a la que se distribuye el resto de la comunidad. Se entiende entonces que hay elementos considerados a escalas menores (radiación relacionada con la pendiente, temperatura a nivel del suelo, cantidad real de agua disponible, etc.) y que suelen tener una gran variabilidad (Woodward, 1988; Ferreras y Fidalgo, 1999). Con respecto a la escala temporal, el análisis de los regímenes climáticos puede darse a muchos niveles. En algunos se estudia la variabilidad horaria, diaria, mensual, etc. del clima, la cual tiene relación con muchos procesos en la vegetación (termoperiodo, fotoperiodo) (García, 1972; Ferreras y Fidalgo, 1999).

8. CONCLUSIONES

Se caracterizó el clima a escala local de tres subcuencas en el suroeste del D.F. Las variables climáticas utilizadas fueron temperatura (media, máxima y mínima) anual y precipitación total anual. A través de estas variables y la clasificación de las estaciones meteorológicas se obtuvieron los tipos climáticos según el Sistema Modificado por García (2004).

El análisis de los datos climáticos permitió el cálculo de gradientes térmicos. Se encontró que la precipitación no guarda una relación lineal con la altitud, por lo que se presenta un máximo a altitudes medias (~3000-3400 msnm).

La caracterización resultó en mapas precisos de isotermas (cada 1°C para las tres variantes analizadas), isoyetas (cada 100 mm) y tipos climáticos. Los tipos climáticos registrados son tres: frío más húmedo de los subhúmedos [E(T)HC (w2)] en los puntos más altos (cima de cerros y parteaguas); semifrío más húmedo de los subhúmedos [Cb´(w2)(w)(i)g] en las zonas altas y de altitud media; y templado más húmedo de los subhúmedos [Cb(w2)(w)(i´)g] en las zonas bajas.

El estudio incluye temperaturas máximas y mínimas promedio. Éstas representan variables de notable interés bioclimático y existe poca información sobre los intervalos en los que se distribuyen las comunidades.

Se reconoce al clima como un factor ambiental importante para el desarrollo de la vegetación, pues influye en la distribución de comunidades, así como en su ensamblaje a partir de diferentes especies. No se debe descartar la acción de otros factores, tanto físicos como bióticos, en especial la competencia.

El clima es en gran parte responsable de la disposición en bandas de la vegetación a lo largo del gradiente altitudinal. Dependiendo de la variable climática, también influye en los niveles de abundancia (cobertura) para diferentes especies.

La comunidad de *Pinus hartwegii* es una comunidad distribuida en la zona más fría de las subcuencas, capaz de soportar condiciones de menor precipitación, y está ensamblada bajo condiciones climáticas homogéneas. La comunidad de *Abies religiosa* se encuentra en las altitudes medias, donde se presenta la mayor precipitación, así como un relieve más accidentado que brinda protección contra vientos e insolación intensa. Las condiciones climáticas bajo las que se distribuye son amplias. La comunidad de *Quercus spp.* con bosque mixto se distribuye en la zona con mayor temperatura y menor precipitación. Sus exigencias climáticas son pocas, lo que significa que se desarrolla bajo condiciones climáticas más variadas.

Considerar a la vegetación a nivel de comunidad permite obtener los intervalos térmicos y pluviales bajo los cuales una agrupación de especies se distribuye. Esto tiene una aplicación inmediata al conocer qué especies (en conjunto) son las más aptas para reforestar, rehabilitar o restaurar un área con clima similar (e historia biogeográfica).

El estudio de la vegetación y la caracterización climática actualizada posibilitan el monitoreo del cambio en ambas variables. Esto hace que este tipo de estudios sean importantes para demostrar que alterar elementos en la relación clima-vegetación puede resultar en efectos negativos para muchos ecosistemas.

Existe una notable ventaja de realizar estudios que involucren disciplinas y herramientas de diferentes ramas, en este caso, ecología y geografía, pues permite un entendimiento más completo sobre fenómenos naturales, por lo que estos estudios permiten decisiones más acertadas en la toma de las mismas.

9. LITERATURA CITADA

- Almeida-Leñero, L., M. Nava, A. Ramos, M. Espinosa, M. de J. Ordoñez y J. Jujnovsky. 2007. Servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal, México. *Gaceta ecológica* 84-85: 53-64.
- Álvarez, K. 2000. Geografía de la educación ambiental: algunas propuestas de trabajo en los bosques de los dinamos, área de conservación ecológica de la delegación Magdalena Contreras. Tesis de licenciatura en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México. 127 pp.
- Anónimo. 1995. Gaceta Oficial del Distrito Federal, Delegación Magdalena Contreras. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Estatal/DISTRITO%20FEDERAL/Delegaciones/La%20Magdalena%20Contreras/MagPro01.pdf>
- Arita, H. y P. Rodríguez. 2001. Ecología geográfica y macroecología. En: Llorente B., J. y J.J. Morrone (eds.). *Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: teorías, conceptos, métodos y aplicaciones*. Las prensas de Ciencias, UNAM, México. 277 pp.
- Austin, M.P. 1985. Continuum concept, ordination methods and niche theory. *Annual Review of Ecology and Systematics* 16: 39-61
- Austin, M.P. y T.M. Smith. 1989. A new model for the continuum concept. *Vegetatio* 83: 35-47.
- Ávila-Akerberg, V. 2002. La vegetación en la Cuenca alta del río Magdalena: un enfoque florístico, fitosociológico y estructural. Tesis de licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM, México. 92 pp.
- Ávila-Akerberg, V. 2004. Autenticidad de los bosques en la cuenca alta del río Magdalena. Diagnóstico hacia la restauración ecológica. Tesis de maestría en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias, UNAM, México. 90 pp.
- Barry, R. 1981. *Mountain weather and climate*. Methuen & Co. Ltd., Nueva York, E.U.A. 313 pp.
- Beaumont, L., L. Hughes y M. Poulsen. 2005. Predicting species distributions: use of climatic parameters in BIOCLIM and its impact on predictions of species' current and future distributions. *Ecological Modelling* 186: 250-269
- Brown, J.H. 1984. On the relationship between abundance and distribution of species. *The American Naturalist* 124: 255-279.
- Brown, J.H., G.C. Stevens y D.M. Kaufman. 1996. The geographic range: size, boundaries, and internal structure. *Annual review of ecology and systematic* 27: 597-623.
- Callaway, R.M. 1997. Positive interactions in plant communities and the individualistic continuum concept. *Oecología* 112: 143-149
- Challenger, A. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. UNAM y Agrupación Sierra Madre, S. C., México, D.F. 847 pp.
- Cox, C.B. y P.D. Barry. 2005. *Biogeography, an ecological and evolutionary approach*. Séptima edición. Blackwell Publishing, Reino Unido. 428 pp.
- Dunson, W.A. y J. Travis. 1991. The role of abiotic factors in community organization. *The American Naturalist* 138: 1067-1091.
- Facultad de Ciencias UNAM. 2008. Reporte de investigación para el Diagnóstico sectorial de la cuenca del río Magdalena: Componente 2. Medio Biofísico. En: Plan Maestro de Manejo Integral y Aprovechamiento Sustentable de la Cuenca del río Magdalena. GDF-SMA y UNAM, México, D.F.

- Ferrerías, C. 2000. Factores fototérmicos, factores hídricos y otros factores físicos. En: Meaza, G. (ed.). Metodología y práctica de la biogeografía. Ediciones del Serbal, España. 392 pp.
- Ferrerías, C. y Fidalgo, C. 1999. Biogeografía y edafogeografía. Editorial Síntesis, España. 262 pp.
- García, E. 1972. Correlación entre vegetación y clima según dos sistemas climáticos. En: Orellana, R., Vidal, L. (comps.) 2005. *Enriqueta García*, Antología. Centro de Investigación Científica de Yucatán y UNAM, México, D.F. 558 pp.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Segunda edición. Offset Larios, D.F., México. 252 pp.
- García, E. 1980. Apuntes de climatología. Tercera edición. UNAM, México. 111 pp.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Tercera edición. Offset Larios, D.F., México. 252 pp.
- García, E., M.E. Hernández y M.D. Cardoso. 1983. Las gráficas ombrotérmicas y los regímenes pluviométricos en la República Mexicana. En: Memoria del Congreso Nacional de Geografía, Tomo I. Guadalajara, México. 140-149.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Quinta edición. Instituto de Geografía, UNAM, México. 90 pp.
- Garza, G. 2000. Delegación La Magdalena Contreras. En: Garza, G. (coord.). La ciudad de México en el fin del segundo milenio. GDF y COLMEX, México. 768 pp.
- Giménez, J., M.I. Ramírez y M. Pinto. 2003. Las comunidades vegetales de la Sierra de Angangueo (estados de Michoacán y México, México): clasificación, composición y distribución. *Lazaroa* 24: 87-111.
- Gleason, H.A. 1926. The individualistic concept of plant association. *Bull Torrey Botanical Club* 53: 7-26
- Gleason, H.A. y A. Cronquist. 1964. The natural geography of plants. Columbia University Press, EUA. 420 pp.
- González M., F. 2003. Las comunidades vegetales de México. INE-SEMARNAT, México. 82 pp.
- Gottfried M., H. Pauli, K. Reiter. 1999. A fine-scaled predictive model for changes in species distribution patterns of highmountain plants induced by climate warming. *Diversity and Distributions* 5: 241-251.
- Greenland, D. 2005. Mountain climate. En: Oliver, J.E. (ed.). *Encyclopedia of World Climatology*. Springer, Doordrecht. 854 pp.
- Hernández, M.E. y G. Carrasco. 2007. Rasgos climáticos más importantes. En: Luna, I., J.J. Morrone y D. Espinosa (eds.). *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. Facultad de Estudios Superiores Iztacala e Instituto de Biología, UNAM, México. 514 pp.
- Holdridge, L.H. 1947. Determination of world plant formations from simple climatic data. *Science* 105: 367-368
- Jujnovsky, J. 2003. Las unidades de paisaje en la Cuenca alta del Río Magdalena, México, D.F. Base fundamental para la planificación ambiental. Tesis de licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM, México. 75 pp.
- Jujnovsky, J. 2006. Servicios ecosistémicos relacionados con el recurso agua en la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal, México. Tesis de maestría en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias, UNAM, México. 68 pp.
- Körner, C. 2007. The use of 'altitude' in ecological research. *Trends in Ecology and Evolution* 22: 569-574.

- Leuschner, C. 2000. Are High Elevations in Tropical Mountains Arid Environments for Plants? *Ecology* 81: 1425-1436.
- Lindenmayer, D., H. Nix, J. McMahon, M. Hutchinson y M. Tanton. 1991. The Conservation of Leadbeater's Possum, *Gymnobelideus leadbeateri* (McCoy): A Case Study of the Use of Bioclimatic Modelling. *Journal of Biogeography* 18: 371-383.
- Lugo, H.J. 1984. Geomorfología del sur de la Cuenca de México. Serie Varia tomo 1 número 8. Instituto de Geografía, UNAM, México. 95 pp.
- Mazari, M. (Comp.). 2000. Dualidad Población-Agua: Inicio del Tercer Milenio. El Colegio Nacional, México, D.F. 281 pp.
- McDonald, K.A., J.H. Brown. 1992. Using montane mammals to model extinctions due to global change. *Conservation Biology*, 6: 409-415.
- MacArthur, R.H. 1972. *Geographical Ecology: Patterns in the Distribution of Species*. Harper and Row, Nueva York, EUA. 269 pp.
- MacDonald, G. 2003. *Biogeography, introduction to space, time and life*. John Wiley & Sons, Inc., EUA. 518 pp.
- Miranda, F. y E. Hernández-X. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 28: 29-178.
- Montieth, J.L. 1981. Coupling of plants to the atmosphere. En: Grace, J., E.D. Ford, P.G. Jarvis (eds). *Plant and their atmospheric environment*. Blackwell Scientific. Oxford, UK. 92 pp.
- Nava, M. 2003. Los bosques de la cuenca alta del río Magdalena, D.F., México. Un estudio de vegetación y fitodiversidad. Tesis de licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM, México. 64 pp.
- Oliver J.E. y R. Fairbridge. 2005. Mountain and valley winds. En: Oliver, J.E. (ed.). *Encyclopedia of World Climatology*. Springer, Doordrecht. 854 pp.
- Oliver, J.E. 1981. *Climatology, selected applications*. John Wiley & Sons, EUA. 260 pp.
- Oliver, J.E. y J.J. Hidore. 2002. *Climatology and atmospheric science*. Prentice Hall, EUA. 410 pp.
- Orellana, R. y Hernández, M.E. 2004. Clima. En: Bautista, F. (ed.). *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales*. UNAM, CONACYT, México. 507 pp.
- Palma M., S. Cram, G. Bocco y A. Velázquez. 1999. Caracterización abiótica de la región de montaña del sur de la cuenca de México. En: Velázquez, A. y F.J. Romero (eds.). *Biodiversidad de la región de montaña del sur de la cuenca de México*. UAM, SMA. DF, México. 351 pp.
- Parmesan, C. 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 37: 637-639.
- Pérez V., A. 2008. La contribución de los atributos de relieve para explicar la distribución espacial de la vegetación: estudio de caso en una montaña de alta diversidad. Tesis de doctorado en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México. 193 pp.
- Pither, J. 2003. Climate tolerance and interspecific variation in geographic range size. *Proceedings of the Royal Society* 270: 475-481.
- Rosenzweig, M.L. 1968. Net primary productivity of terrestrial communities: prediction from climatological data. *The American Naturalist* 102: 67-73
- Ruggiero, A. 2001. Interacciones entre la biogeografía ecológica y la macroecología: aportes para comprender los patrones espaciales en la diversidad biológica. En: Llorente B., J. y J.J. Morrone (eds.).

Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: teorías, conceptos, métodos y aplicaciones. Las prensas de Ciencias, UNAM, México. 277 pp.

-Rzedowsky, J. 1987. Vegetación de México. Limusa, México. 432 pp.

-Silva, L.C., F.J. Romero, A. Velázquez y L. Almeida-Leñero. 1999. La vegetación de la región de montaña del sur de la cuenca de México. En: Velázquez, A. y F.J. Romero (eds.). Biodiversidad de la región de montaña del sur de la cuenca de México. UAM, SMA. DF, México. 351 pp.

-Smith, R.B. 1979. The influence of mountains on the atmosphere. *Advances in Geophysics* 21: 87-229.

-Stevens, G.C. 1989. The latitudinal gradient in geographical range: how so many species coexist in the tropics. *The American Naturalist* 133: 240-256.

-Stevens, G.C. 1992. The Elevational Gradient in Altitudinal Range: An Extension of Rapoport's Latitudinal Rule to Altitude. *The American Naturalist* 140: 893-911.

-Téllez-Valdés, O. y Dávila-Aranda, P. 2003. Protected areas and climate change: a case study of the Cacti in the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve, México. *Conservation Biology* 17:846-853.

-Ter Braak, J.F. 1987. The analysis of vegetation-environment relationships by canonical correspondence analysis. *Vegetatio* 69: 69-77.

-Vidal, R. 2005. Las regiones climáticas de México. *Temas selectos de Geografía de México*, tomo I.2.2. Instituto de Geografía, UNAM, México. 212 pp.

-Whiteman, C.D. 2000. Mountain meteorology, fundamentals and applications. Oxford University Press, Nueva York, EUA. 355 pp.

-Whittaker, R.H. 1975. *Communities and ecosystems*. 2da edición. MacMillan, Nueva York, EUA. 374 pp.

-Whittaker, R.H., S.A. Levin, R.B. Root. 1973. Niche, habitat, and ecotope. *The American Naturalist* 107: 321-338.

-Woodward, F.I. 1988. *Climate and plant distribution*. Cambridge University Press. Cambridge, Reino Unido. 174 pp.

-Yoshino, M. 2005. Local climatology. En: Oliver, J.E. (ed) *Encyclopedia of World Climatology*. Springer, Doordrecht. 854 pp.