



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

COLEGIO DE GEOGRAFÍA

**CARACTERIZACIÓN DE LOS EVENTOS DE LLUVIA DE LA CORONA
REGIONAL DEL CENTRO DE MÉXICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE LICENCIADO EN GEOGRAFIA

PRESENTA

LUIS ARTURO ORTEGA LAZCANO

ASESORA: ELDA LUYANDO LÓPEZ





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIAS

A mis padres por infundir en mí el amor a la escuela, al deporte y por enseñarme siempre que la realización personal, profesional y la felicidad provienen de lo que más te gusta en la vida.

A mi familia que siempre me apoyo, acompaño, e impulso a seguir y terminar este gran ciclo de mi vida con la enseñanza de excelentes y buenos hábitos.

A todos ustedes los amo de verdad, muchas gracias.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, al Colegio de Geografía, al Instituto de Geografía, al Centro de Ciencias de la Atmósfera y a la Preparatoria N°9 Pedro de Alba por brindarme todo el conocimiento necesario que me ha ayudado a crecer personal y profesionalmente. En sus instalaciones he pasado muchos de los mejores momentos de mi vida y gracias a ello, con disciplina, perseverancia y paciencia, he podido concretar este ciclo de mi vida.

Además, agradezco infinitamente haber tenido la oportunidad de viajar y conocer una parte del mundo representando a mi país y a esta bella universidad por medio del deporte: en la gimnasia a Finlandia, y también académicamente, en el intercambio a Colombia. Me siento realmente orgulloso de haber estudiado en sus aulas que fueron para mí, como una segunda casa.

A la Dra. Elda Luyando López, por confiar en mí, por su enorme paciencia, tiempo, interés y apoyo en la tesis y en el servicio social. Gracias por ser una guía en el rudo camino de realizar este trabajo. Fue alguien que me impulsó a seguir adelante, compartir el conocimiento de esta hermosa carrera y me mostró la excelente persona y profesora que es.

A los miembros del sínodo: Dra. Leticia Gómez, Dra. Guadalupe Matías, Mtra. Asunción Avendaño y Mtro. Clemente López. Gracias por el tiempo dedicado a la tesis, por las observaciones acertadas que hicieron con el fin de mejorarla, por las enseñanzas que me han dejado en sus aulas y fuera de ellas, por su paciencia y su amabilidad.

Al proyecto PAPIIT (Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica) clave "IN105415" "*Efectos de la variabilidad de la precipitación sobre áreas urbanas y rurales de la Corona Regional del Centro de México*" por el apoyo brindado y por ser el origen de esta tesis.

A mi familia. A mi mamá y mi papá que me han tratado de guiar y me han apoyado en todas las decisiones que he tomado, las cuales, también han respetado. A mi tía

Gabriela y mi abuela María Elena quienes han estado siempre conmigo y me han apoyado desde el kínder, además, de muchas veces ser las alcahuetas de mis errores. A mi tío Christian, quien siempre ha estado apoyándome y a pesar de no siempre estar de acuerdo conmigo ha respetado las decisiones que he tomado. A mi tía Cecilia quien también frecuentemente busca esa forma de poderme apoyar. A mi prima Ilse que espero pueda ver este trabajo y a mí como un ejemplo a seguir para que llegue a ser, incluso, una mejor persona y mucho más preparada de lo que estoy. Por último a mi abuelo, quien me ha enseñado muchas cosas de la vida e indirectamente también ha sido un ejemplo. Gracias a todos por acompañarme, ayudarme y aconsejarme en este ciclo de mi vida.

A mis mejores amigos, Isma, Irwin, Dana y Viri quienes han sido como esos hermanos que no tengo. Ya que después de 18, 12, 10 y 9 años de conocernos, respectivamente, he entendido el verdadero sentido de una amistad, es decir, apoyarse siempre sin importar si es un momento malo o bueno, sin caer en prejuicios y diciendo la verdad. Gracias por acompañarme en este camino y vida de estudiantes que vivimos a la par, sé que aún nos falta vivir muchas más cosas. Gracias por escucharme, por las risas, los llantos, la comprensión, las rumbas y el apoyo. ¡Son mis meros carnales!

A mis amigos de la universidad. Sharon, mi ya casi Maestra en Geografía. Gracias por tu apoyo y por todos los buenos momentos que pasamos tanto en la facultad como en el ir y venir desde nuestras tierras lejanas a la universidad. Joshua, mi buen amigo geógrafo, gamer y mero brother. Gracias por apoyarme en muchos aspectos de mi vida y no solo en lo académico. Espero pronto poder asistir a tu examen profesional. Karla, gracias por estar siempre presente en mi facultad y en algunas de mis clases, aunque eras de psicología. Gracias por tu enorme apoyo en todos los sentidos, eres increíble y una excelente amiga. Lore, gracias por tu amistad y el apoyo que siempre brindas, tienes un corazón enorme, eres una amiga maravillosa. Santiago y Emilio, mis homies, gracias por toda su amistad y apoyo durante la carrera. Es genial pasar tiempo con ustedes dos, son amigos asombrosos.

A mis roomies. Mike, Paty, Ceci y Lenni (el gringo de papeles, pero de sangre peruana). Con quienes viví por más o menos siete meses en las tierras lejanas de Cali, Colombia. Aquel lugar, donde todos hicimos un intercambio que mudó nuestras vidas y de ser cinco chicos desconocidos que llegaron a vivir en una casa lejos de nuestro hogar y sin conocer a nadie pasamos a formar una pequeña familia de hermanos apoyándonos siempre. Gracias por todo ese apoyo que me dieron cuando estuvimos lejos de casa.

A mis amigos de Cali. JuanCa, sabes que a pesar de que eres de una tierra lejana y de diferente madre eres como un hermano para mí. Gracias por apoyarme y estar ahí cuando lo necesito, eres una persona increíble bro. Carlos, gracias por todo ese apoyo que tuve en el intercambio. Haber cursado algunas materias de la carrera de Administración Ambiental contigo fue algo brutal, al igual que haberte conocido y más que nada, gracias por tu amistad. Edward, gracias por no dejarme tirado, por enseñarme esos lugares tan chéveres en Cali, por las rumbas, por el apoyo y por tu amistad. Dani, Gracias por el apoyo, la amistad y la confianza de recibirme, eres increíble. Caro Hung, eres una amiga excelente, no creí que fuéramos a tener ese clic de amistad tan chévere. Gracias por tu amistad, confianza, apoyo e intentos de ayudarme con mi Capítulo 3. Marce, eres una persona súper, gracias por el apoyo, la amistad y la confianza de recibirme.

Y, por último, pero no menos importante, me quiero agradecer y dedicar esta tesis a mí mismo. A Luis Arturo Ortega Lazcano por tener esa paciencia, perseverancia y disciplina de terminar este ciclo. Desde que quedé inscrito en la UNAM cada año me ha forjado, me ha ayudado a crecer y ha valido totalmente la pena todo este esfuerzo.

¡MUCHAS GRACIAS POR AGUANTAR Y NO RENDIRTE!

Índice

INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO 1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y SOCIALES DE LA CORONA REGIONAL DEL CENTRO DE MÉXICO	6
1.1 Características físicas	6
1.2 Urbanización y características socioeconómicas de la Corona Regional del Centro de México.....	19
1.2.1 Evolución de la urbanización.....	19
1.2.2 Características socioeconómicas.....	24
CAPÍTULO 2. CARACTERÍSTICAS DE LA PRECIPITACIÓN	29
2.1 Variables hidrometeorológicas.	29
2.1.1 Humedad.....	29
2.1.2 Precipitación.....	31
2.1.3 Régimen de lluvias en la Corona Regional del Centro de México.....	36
2.2 Cuencas hidrográficas en la Corona Regional	41
2.3 Antecedentes de estudios de precipitación en la zona	43
CAPÍTULO 3. CLIMATOLOGÍA DE LA PRECIPITACIÓN EN LA CORONA REGIONAL DEL CENTRO DE MÉXICO	45
3.1 Elaboración de la climatología de la precipitación en la Corona Regional	45
3.1.1 Los datos.....	45
3.1.2 Metodología	51
3.2 Resultados	59
3.3 Climatología de los intervalos de precipitación	74
CONCLUSIONES	82
REFERENCIAS	85

INTRODUCCIÓN

El clima es uno de los principales elementos ambientales en estrecha relación con el ser humano y, por tanto, con la mayor parte de sus actividades económicas y sociales. Su enfoque depende de la disciplina que lo aborde, una de ellas es la Geografía que define a la Climatología como el conjunto promedio de estados de la atmósfera (temperatura, vientos, precipitación, radiación solar, humedad, etcétera) en un cierto periodo, por lo general mayor a 30 años, en algún lugar dado o de todo el mundo (Sánchez, *et al.*, 2011).

Una de las bases de la Climatología ha sido relacionar todos sus elementos entre sí para ser concebidos como uno mismo (Rodríguez, 2017). Bajo esta resolución es posible, identificar, analizar, entender y explicar diversos fenómenos ambientales y sociales en algún lugar en específico, tales como la precipitación en el centro de México.

La precipitación en el centro de México no es homogénea debido a los diversos factores que la definen, por lo que se identifican zonas con mayor o menor cantidad de lluvia, resultado de su ubicación geográfica. Asimismo, la zona central del país concentra la mayor cantidad de población, por lo tanto, la urbanización en la Ciudad de México y las que se encuentran en los estados a su alrededor, presentan, algunas de ellas, un mayor desarrollo económico y social, convirtiéndolas en una región de suma importancia.

La precipitación que ocurre en el centro de México presenta un régimen de tipo monzónico con una temporada de secas y una de lluvias (Luyando, 2016). Esta estacionalidad en escalas climáticas responde a la ubicación geográfica, la cual ha sido estudiada frecuentemente con el fin de poder caracterizar la zona y favorecer el conocimiento y comprensión del comportamiento de las lluvias para su mejor aprovechamiento.

A lo largo de los años, diversos investigadores y tesis han elaborado trabajos sobre el régimen y comportamiento de la precipitación, con especial énfasis en la Ciudad de México (Jáuregui y Romales, 1996; Magaña *et al.*, 2003; Aquino, 2012;

Betanzos, 2016). Sin embargo, para el centro de México, considerada como región, hasta la fecha no se ha hecho un estudio o climatología que caracterice la precipitación y tenga como base la metodología que se presenta en este trabajo.

Esta investigación contribuye a la caracterización e interpretación de las condiciones de precipitación en el centro de México, así como la realización de una climatología a escala regional para el periodo de 1961-1990. En la propuesta metodológica se tomaron en cuenta algunos elementos de la estadística descriptiva. Mediante la caracterización a través de intervalos, se muestran los resultados relacionados con el promedio anual de días con eventos de precipitación dependiendo de su intensidad en un periodo de 30 años. Finalmente, con ayuda de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se elaboraron los mapas que representan el comportamiento espacial de este fenómeno.

Una climatología de la precipitación puede tener diversas aplicaciones. En el presente trabajo se muestran algunos ejemplos de desastres asociados a lluvias intensas ya que muchos de ellos están estrechamente ligados a la precipitación. El centro de México, el lugar con mayor población del país, sufre cada año con este tipo de eventos desastrosos (Betanzos, 2016). La climatología realizada en este trabajo nos permite elaborar un análisis y conocer la posible relación entre las lluvias y los desastres, asumiendo que éstos se producen como una construcción social y no desde un punto de vista fisicalista.

Esta tesis hará un aporte, mediante su cuerpo teórico, con el conocimiento de los temas afines a la Geografía Física y Social, a las Ciencias Atmosféricas y Climatología en general. También busca que el marco teórico-conceptual y la metodología usada sirvan como apoyo a todos aquellos investigadores, alumnos y colegas de diversas instituciones como el Centro de Ciencias de la Atmósfera, el Colegio de Geografía de la UNAM, entre otros interesados por realizar investigaciones semejantes dentro de la climatología; o bien donde sea necesaria una base climatológica para estudios de cualquier área del conocimiento.

Asimismo, se espera que la información climatológica sirva como apoyo para las diversas aplicaciones en las cuales pueda ajustarse. En el caso de los desastres,

que sea utilizada como una base y estrategia para las medidas de mitigación de los efectos de las lluvias con el propósito de reducir su ocurrencia.

Hipótesis

La Corona Regional del Centro México se caracteriza por tener una distribución espacial diversa de la precipitación, la cual se muestra a través de la intensidad de los eventos de lluvia a lo largo de un ciclo anual.

Objetivos

General

Elaborar una caracterización y zonificación de la precipitación para identificar el comportamiento anual de los eventos de lluvia con respecto a su intensidad en la Corona Regional del Centro de México.

Objetivos particulares

- Compilar y procesar la base de datos de precipitación diaria para un mínimo de 30 años de estaciones pluviométricas disponibles en la Corona Regional del Centro de México.
- Caracterizar los eventos de precipitación considerando el número de días con intervalos de precipitación máxima ocurrida en 24 horas.
- Elaborar mapas representativos del número de días con eventos de precipitación por intervalos con el fin de sugerir una climatología de toda la zona.
- Identificar algunos municipios o localidades representativas, a manera de ejemplo, que resulten de interés por la ocurrencia de eventos de precipitación y posibles desastres.

CAPÍTULO 1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y SOCIALES DE LA CORONA REGIONAL DEL CENTRO DE MÉXICO

El presente capítulo busca explicar, de manera general, las principales características físicas de la Corona Regional del Centro de México. Además de la ubicación, relieve, geología, suelos, uso de suelo y vegetación, se exponen algunos fenómenos meteorológicos y climatológicos que interactúan dentro de la zona de estudio.

Asimismo, se presenta la evolución de la urbanización en la Corona Regional del Centro de México con el fin de tener una mejor comprensión de su desarrollo y cómo se convirtió en una región de suma importancia para el país. Finalmente, se muestra la estructura y las principales características socioeconómicas por estado.

1.1 Características físicas

Ubicación

La Corona Regional del Centro de México (CRCM), también conocida como Corona Regional de la Ciudad de México, término utilizado por Delgado (1996) es un conjunto de áreas metropolitanas que se encuentran dentro de los seis estados centrales del país: Hidalgo, Morelos, Puebla, Tlaxcala, Ciudad de México y Estado de México (Delgado, 1996) Figura 1. Se ubica entre las coordenadas: 21° 10' 16" latitud norte con el municipio de San Felipe Orizatlán, Hidalgo, al sur en las coordenadas 18° 02' 05" latitud norte en el municipio de Tulcingo de Valle, Puebla; 100° 17' 54" longitud oeste en el municipio de Luvianos, Estado de México y 99° 12' 21" longitud este en el municipio de San Sebastián Tlacotepec, Puebla; la altitud está comprendida entre los 1300 y 5400 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) (INEGI, 2008).

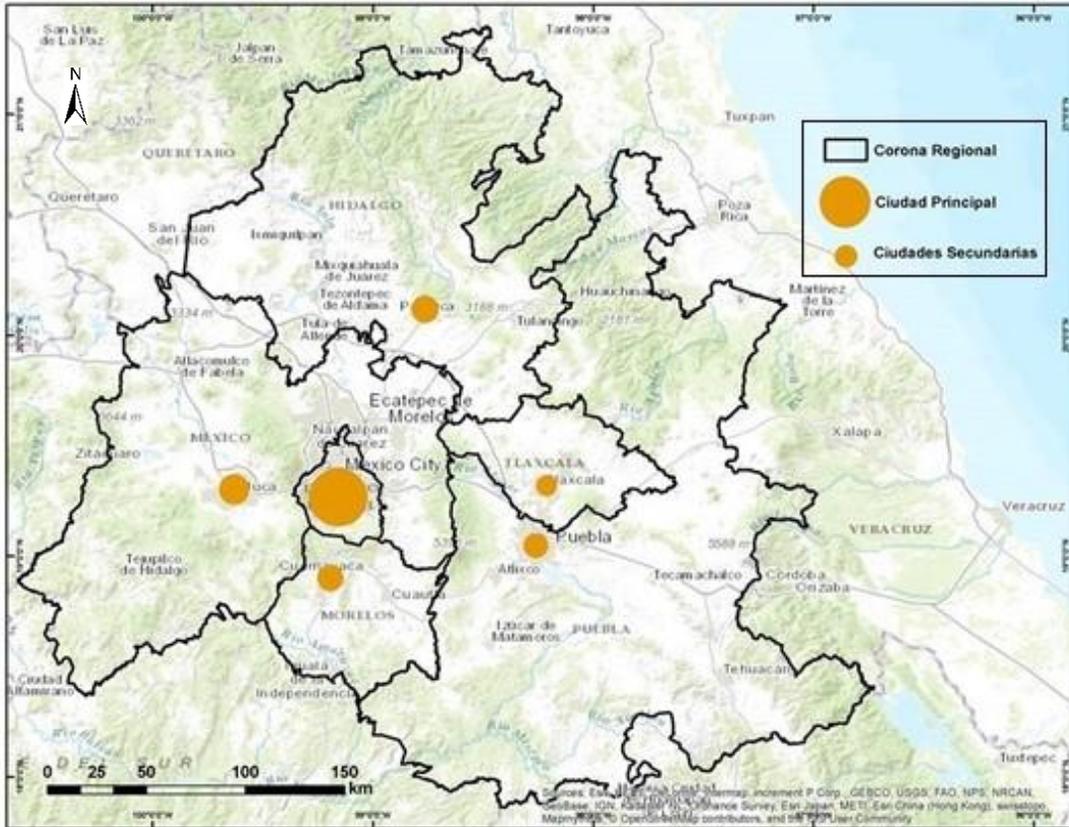


Figura: 1 Ubicación de la Corona Regional del Centro de México.

Fuente: Elaboración propia con base en Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). CONABIO (2015).

Relieve

La Ciudad de México, y toda el área que abarca el Valle de México, representa el centro de la Corona Regional. La mayor parte de ésta se encuentra a una altura superior a los 2000 m.s.n.m. La parte más baja se ubica al sur, en Cuernavaca y Cuautla, entre los 1300 y 1600 msnm. Gran parte de la Corona se ubica dentro de la provincia de los lagos y volcanes de Anáhuac del Sistema Volcánico Transversal (Luyando, *et al.*, 2014a), perteneciente a la subcuenca Pachuca-Ciudad de México de la cuenca del Río Moctezuma y la Región del Pánuco, con un área aproximada de 9000 km².

La Corona Regional se asienta en tres provincias fisiográficas (Figura 2):

La primera es el Eje Neovolcánico, también conocido como Sierra Volcánica Transversal (Martínez, 2017).

“Es una de las provincias con mayor variación de relieve y de tipos de rocas. Está ubicada en el centro del país, con 15 subprovincias. Se extiende desde el Océano Pacífico hasta el Golfo de México, constituyendo una ancha faja de 130 km. Inicia en la costa occidental, en la desembocadura del río Grande Santiago a la Bahía Banderas, continúa hacia el sureste hasta el volcán de Colima sobre el paralelo 19° N, y termina al pico de Orizaba y al Cofre de Perote alcanzando los 880 km de longitud. Es la cordillera más alta del país, con cimas que se encuentran coronadas de nieve y alcanzan alrededor de 5000 msnm. Su punto más alto es el Pico de Orizaba, con 5610 msnm”. (INEGI, 2008: 8-13).

Esta provincia fisiográfica es una estructura muy importante porque no solo delimita al norte del continente con Centroamérica, geológicamente hablando, sino que determina un límite altimétrico, orográfico y climatológico (Martínez, 2017).

“Abarca los estados de Aguascalientes, Colima, Ciudad de México, Estado de México, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Tlaxcala Veracruz y Zacatecas. Incluye a casi toda la Corona Regional y se caracteriza por ser una cadena volcánica que atraviesa todo el país de oeste a este, lo cual propicia la presencia de varios microclimas y diferencias en la temperatura y precipitación a lo largo de ella” (INEGI, 2008: 8-13).

Si bien la Sierra Volcánica Transversal abarca 15 subprovincias, las únicas cuatro que pertenecen a la Corona regional son: Llanura y Sierras de Querétaro e Hidalgo, Mil Cumbres, Chiconquiaco y Lagos y Volcanes de Anáhuac (CONABIO, 2016).

Al norte se encuentra la segunda provincia la Sierra Madre Oriental, la cual se caracteriza por ser:

“Una cadena montañosa en dirección noroeste-sureste que inicia desde el sur del Río Bravo, y corre paralela al Golfo de México hasta su punto de contacto con el Eje Neovolcánico. Su longitud es de 1350 km y una anchura de 80 a 100 km aproximadamente, con una elevación media de 2200 msnm. Atraviesa nueve

estados de México: Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala y Veracruz. Limita al noreste con las Grandes Llanuras de Norteamérica, al este con la Llanura Costera del Golfo, al oeste con la Meseta del Centro y al sur con el Eje Neovolcánico” (Martínez, 2017: 5).

La única subprovincia fisiográfica que está en la Corona Regional es la llamada Carso Huasteco (CONABIO, 2016).

La tercera provincia es la Sierra Madre del Sur que se caracteriza por ser:

“Una cadena montañosa paralela al Eje Neovolcánico y a la costa del Pacífico con una dirección general de noroeste a sureste, se extiende a lo largo de 1200 km con una anchura promedio de 150 km y una altitud media de 2000 msnm. Abarca los estados de Colima, Guerrero, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla y Veracruz” (Martínez, 2017: 12).

Son cuatro las subregiones fisiográficas donde se encuentra la Corona Regional: dos al sur en Estado de México y Morelos, y dos al este en Puebla. Éstas se llaman, correspondientemente: Depresión del Balsas, Sierras y Valles de Tepalcatepec; y Sierras Orientales y Sierras Centrales de Oaxaca (CONABIO, 2016).

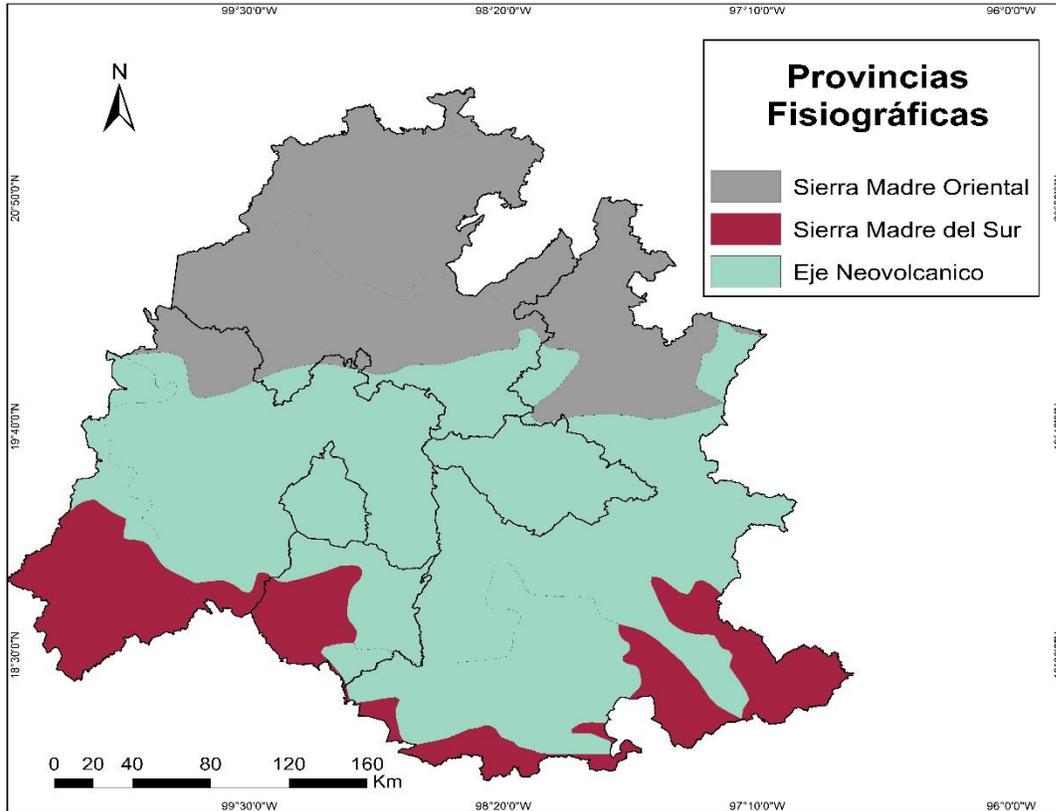


Figura 2: Provincias fisiográficas de la Corona Regional del Centro de México.

Fuente: Elaboración propia con base en CONABIO (2016).

Climas

La mayor parte de la población de la Corona Regional habita predominantemente los climas templado-subhúmedo con una precipitación promedio anual de entre los 1000 mm a los 2000 mm y semiárido-templado con una precipitación promedio anual de entre los 300 mm a los 600 mm (Jáuregui, 1975). Jáuregui (1973) describe el clima de esta región como tropical de altura mostrando cómo la altitud modifica un sitio eminentemente intertropical.

De acuerdo con la clasificación de Köppen (Jáuregui, 1975) la Corona Regional se caracteriza por tener dos tipos de climas consecuencia de las regiones fisiográficas: el clima templado-húmedo en el centro y sur; y además un clima más seco en la región norte y oriente. Sin embargo, dentro de estos dos climas generales hay una

mayor diversidad de microclimas (Figura 3) y se caracterizan según la clasificación modificada de Enriqueta García (García, E., 2004).

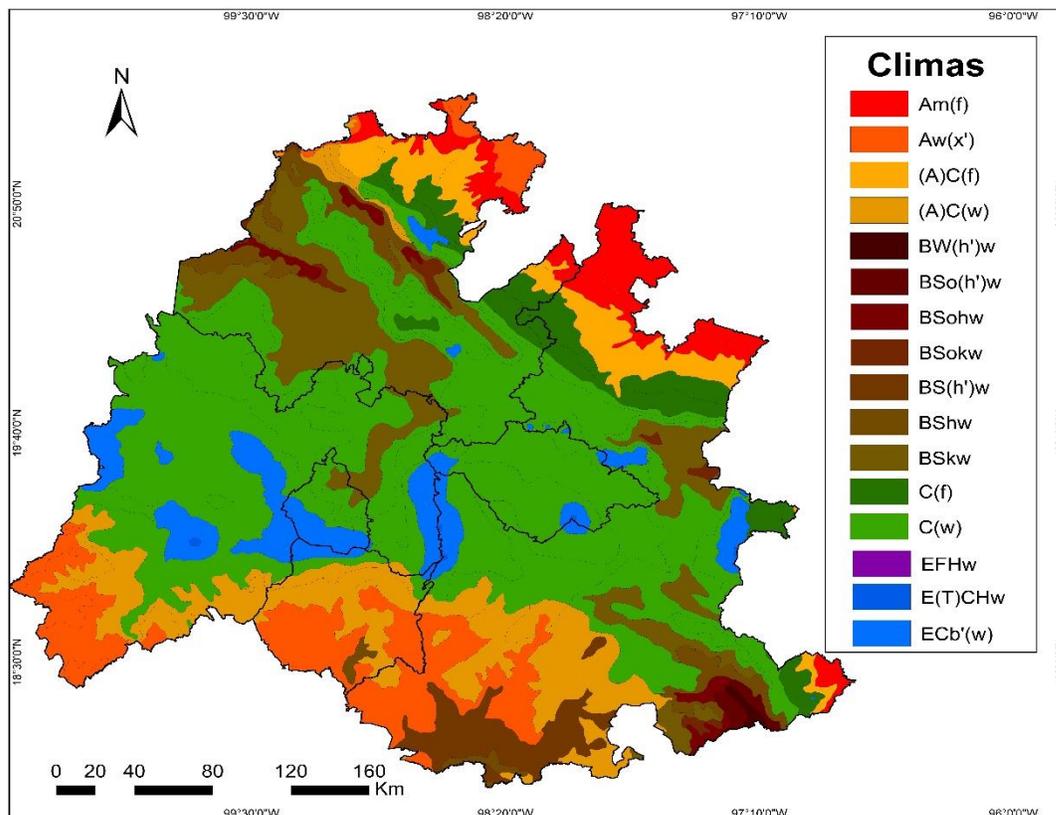


Figura 3: Climas de la Corona Regional del Centro de México.

Fuente: Elaboración propia con base en la clasificación modificada de Enriqueta García y CONABIO (2008a)

“Los primeros cuatro microclimas de la leyenda pertenecen a los climas cálidos que se identifican por la letra inicial “A” y los tonos cálidos rojos, naranjas y amarillos: el primero de ellos es el cálido-húmedo “Am(f)” donde la temperatura media anual es mayor de 22°C y la temperatura del mes más frío es mayor de 18°C. El segundo es un clima cálido-subhúmedo “Aw(x’)”, la temperatura media anual es mayor de 22°C y temperatura del mes más frío es mayor a 18°C. El tercer clima es semicálido-humedo “(A)C(f)”, su temperatura media anual es mayor de 18°C, la temperatura del mes más frío es menor de 18°C y la temperatura del mes más caliente es mayor de 22°C. Por último, está el clima semicálido-subhúmedo “(A)C(w)”, su temperatura media anual es mayor de 18°C, la temperatura del mes más frío es menor de 18°C y la temperatura del mes más caliente es mayor de 22°C” (García, 2004: 19-49).

“Los siguientes siete microclimas pertenecen al clima árido, los cuales se identifican por la letra inicial “B” y por los tonos de café: el clima muy árido-cálido “BW(h’w)”, tiene una temperatura media anual mayor de 22°C y la temperatura del mes más frío es mayor de 18°C. El clima árido-cálido “BSo(h’w)”, tiene una temperatura media anual mayor de 22°C y la temperatura del mes más frío es mayor de 18°C. El clima árido-semicálido “BSohw”, posee una temperatura entre los 18°C y 22°C, la temperatura del mes más frío es menor de 18°C y la temperatura del mes más caliente es mayor de 22°C. El clima árido-templado “BSokw”, se mantiene con una temperatura media anual entre los 12°C y 18°C y la temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C. El clima semiárido-cálido “BShw” tiene una temperatura media anual mayor de 22°C y la temperatura del mes más frío es mayor de 18°C. El clima Semiárido-semicálido “BShw” posee una temperatura media anual mayor de 18°C, la temperatura del mes más frío es menor de 18°C y la temperatura del mes más caliente es mayor de 22°C. Por último, el clima semiárido-templado “BSkw” tiene una temperatura media anual entre los 12°C y 18°C, la temperatura del mes más frío esta entre -3°C y 18°C y la temperatura del mes más caliente es menor de 22°C” (García, 2004: 19-49).

“Los siguientes dos microclimas pertenecen al clima templado, se distinguen por la letra inicial “C” y los tonos verdes en el mapa: el primer clima es el templado-húmedo “C(f)”, cuenta con una temperatura media anual entre 12°C y 18°C, la temperatura del mes más frío se ubica entre los -3°C y 18°C y la temperatura del mes más caliente por debajo de los 22°C. El segundo clima es el templado-subhúmedo “C(w)” posee una temperatura media anual entre los 12°C y 18°C, la temperatura del mes más frío entre los -3°C y 18°C y la temperatura del mes más caliente se encuentra por debajo de los 22°C” (García, 2004: 19-49).

“Los últimos tres microclimas pertenecen al clima frío, los cuales se señalan por la letra inicial “E” y los tonos azules y morados en el mapa. Estos microclimas son de menor presencia en el mapa ya que solo se encuentran en las zonas más altas como en el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl o en el Parque Nacional Cumbres del Ajusco. (García, 2004: 19-49).

Otros fenómenos meteorológicos y climatológicos que tienen influencia en la Corona Regional son:

- El Niño-Oscilación del Sur (ENSO): es un fenómeno relacionado al calentamiento de las aguas superficiales del Océano Pacífico ecuatorial. Se define como una interrupción ocasional de las aguas y vientos ocasionando un incremento en la temperatura superficial del océano cerca de Perú y

Ecuador (Günter, 2003). Ocasiona lluvias muy intensas con una periodicidad que va de entre 3 y 8 años, teniendo algunas intercalaciones con su fenómeno opuesto La Niña. El fenómeno de La Niña causa un enfriamiento de la superficie del Océano Pacífico ecuatorial cerca de las costas de Perú y Ecuador ocasionando secas y tiene también una periodicidad de entre 3 y 8 años (Günter, 2003). Estos fenómenos climáticos pueden afectar en gran medida a la Corona Regional debido a las fuertes lluvias o sequías que ocasionan por periodos largos, además de estar acompañados de olas de frío y calor.

- Los huracanes: son centros de bajas presiones estacionarios o móviles. Los vientos superficiales se mueven hacia el interior de la espiral, convergen hacia el centro para ascender hasta situarse en niveles superiores (Strahler, 2005). La temporada de huracanes normalmente comienza en mayo que es cuando la Zona de Convergencia Intertropical se mueve hacia el norte y favorece el calentamiento de la superficie del mar creando zonas de ciclogénesis. La temporada termina en octubre cuando la Zona de Convergencia Intertropical se desplaza al sur y la superficie del mar se enfría.
- Los frentes: son cuerpos o parcelas de aire con características físicas, de temperatura y humedad completamente uniformes, los cuales pueden ser estacionarios o móviles. Se encuentran sobre una extensa región donde también se les conoce con el nombre de masas de aire (Strahler, 2005). Se tienen dos tipos: los frentes o masas de aire cálidos que poseen mayor temperatura, mayor humedad, son más livianos y generalmente se ubican en los trópicos; y los frentes o masas de aire frío que poseen menor temperatura, menor humedad, son más pesados y principalmente se ubican en los polos. El frente puede ser tan vasto que llega a alcanzar grandes regiones abarcando zonas tan amplias que alcancen a cubrir toda la Corona Regional.

Geología

Debido al origen de las tres provincias fisiográficas se tiene una gran diversidad de tipos de rocas. La Sierra Madre Oriental tiene como origen el plegamiento de la corteza, cuando los depósitos de la era cretácica fueron levantados (Martínez, 2017). El Eje Neovolcánico transversal surge por el choque y la subducción de la placa de Cocos contra la placa Norteamericana de manera transversal. El origen de la Sierra Madre del Sur es prácticamente igual que el del Eje Neovolcánico (Martínez, 2017).

Como se observa en la Figura 4, la Corona Regional posee los tres principales grupos de rocas. De acuerdo a la información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (INEGI, 2008) categorizan otra zona como “suelo lacustre” ya que ahí el suelo es muy profundo y la roca madre no se puede apreciar porque está cubierta de los depósitos que dejaron los grandes lagos del Valle de Anáhuac.

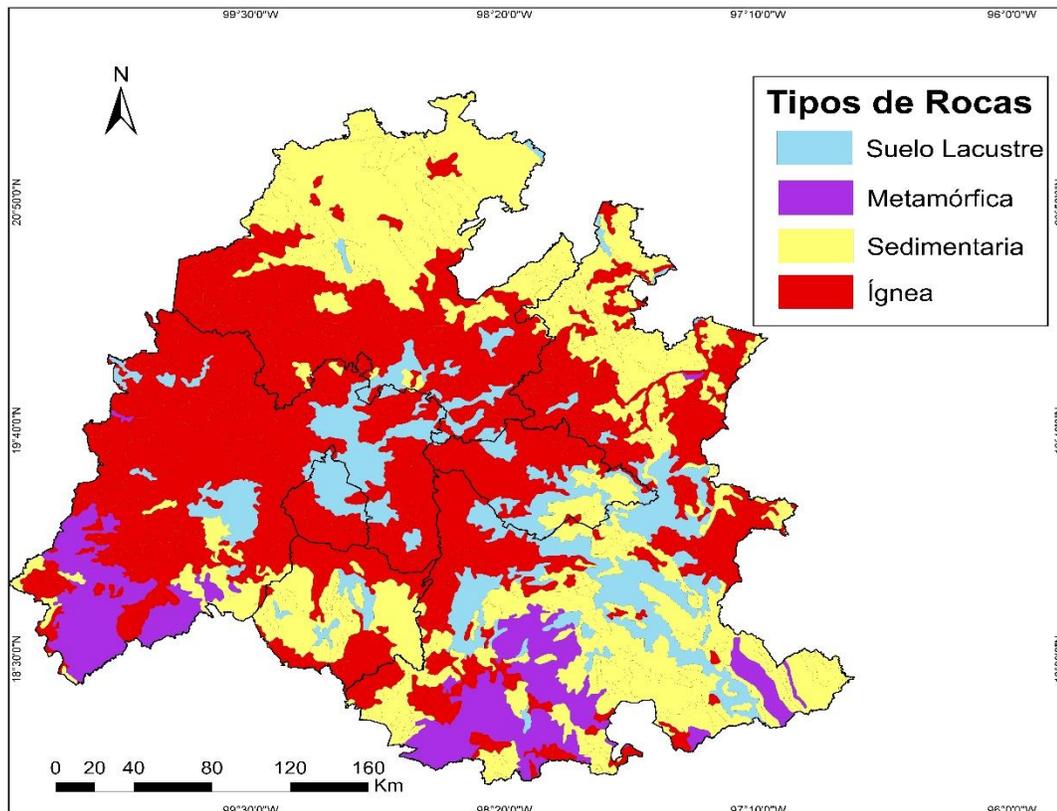


Figura 4: Geología de la Corona Regional del Centro de México.

Fuente: Elaboración propia con base en CONABIO (2008b).

Suelos

La Figura 5 muestra los suelos predominantes en la Corona Regional del Centro de México. De acuerdo con la información de la Federation and Agriculture Organization, por sus siglas en ingles FAO, (2007) y de CONABIO (2008c) la definición y ubicación de los ocho tipos de suelos que predominan en la zona de estudio son:

- Alisoles, son suelos con alta saturación de aluminio, junto con alta acidez y mayor porcentaje de arcilla (FAO, 2007). Estos suelos están localizados al sureste de la Corona Regional en el estado de Puebla en el límite de con Oaxaca en regiones húmedas tropicales y templado cálida (CONABIO, 2008c).
- Andosoles, son suelos que se desarrollan en eyecciones o vidrios volcánicos bajo casi cualquier clima y son ricos en silicatos (FAO, 2007). Se encuentran al este de la Corona Regional en el estado de Puebla en los límites con Veracruz y al centro-sur y centro-suroeste en el Estado de México, al sur de la Ciudad de México y al norte de Morelos (CONABIO, 2008c).
- Arenosoles, son suelos arenosos desarrollados en arenas residuales después de la meteorización in situ de sedimentos o rocas ricas en cuarzo en climas áridos hasta húmedos y desde climas muy fríos hasta extremadamente cálidos (FAO, 2007). Se localizan en y alrededor de los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl abarcando el área este del Estado de México, oeste de Puebla y un poco del noreste de Morelos (CONABIO, 2008c).
- Cambisoles, son suelos con formación en su estructura y decoloración principalmente parduzca, incremento en el porcentaje de arcillas y carbonatos, se presentan en todo tipo de climas obteniendo un amplio rango de vegetación (FAO, 2007). Se ubican al este de la Corona Regional ocupando casi la mitad sur del estado de Tlaxcala y poco más de los límites con Puebla, también está en el centro y al norte en Puebla y una pequeña porción al este de Hidalgo (CONABIO, 2008c).
- Feozem, son suelos oscuros con un alto contenido de materia orgánica, asociados a regiones con un clima muy húmedo para que pueda existir un lavado, pero con una estación seca en el año, el clima puede ser desde cálido a frío y van desde zonas templadas a tierras altas tropicales en relieve llano o suavemente ondulados (FAO, 2007). Se sitúan en gran parte de la Corona Regional cubriendo grandes áreas (CONABIO, 2008c).

- Leptosoles, son suelos muy someros sobre roca continua y extremadamente pedregosos. Particularmente se encuentran en zonas montañosas en tierras de altitud media o alta y en todo tipo de climas (FAO, 2007). Se localizan en gran parte del sur de Puebla y en una pequeña porción del noroeste de Hidalgo (CONABIO, 2008c).
- Regosoles, son suelos minerales muy débilmente desarrollados en materiales no consolidados sin horizonte úmbrico, por lo tanto, no son muy someros ni muy ricos en gravas, arenosos o con materiales flúvicos (FAO, 2007). Se desarrollaron en unas pequeñas partes de la Corona Regional, al suroeste del Estado de México y Puebla y al norte de Hidalgo (CONABIO, 2008c).
- Vertisoles, son suelos muy arcillosos que se mezclan con una alta porción de arcillas expandibles que forman grietas anchas y profundas desde la superficie hacia abajo cuando se secan (FAO, 2007). Se ubican en algunas zonas de la Corona Regional en pequeñas áreas al norte del estado de Hidalgo y Puebla y una mayor área al oeste del Estado de México. (CONABIO, 2008c).

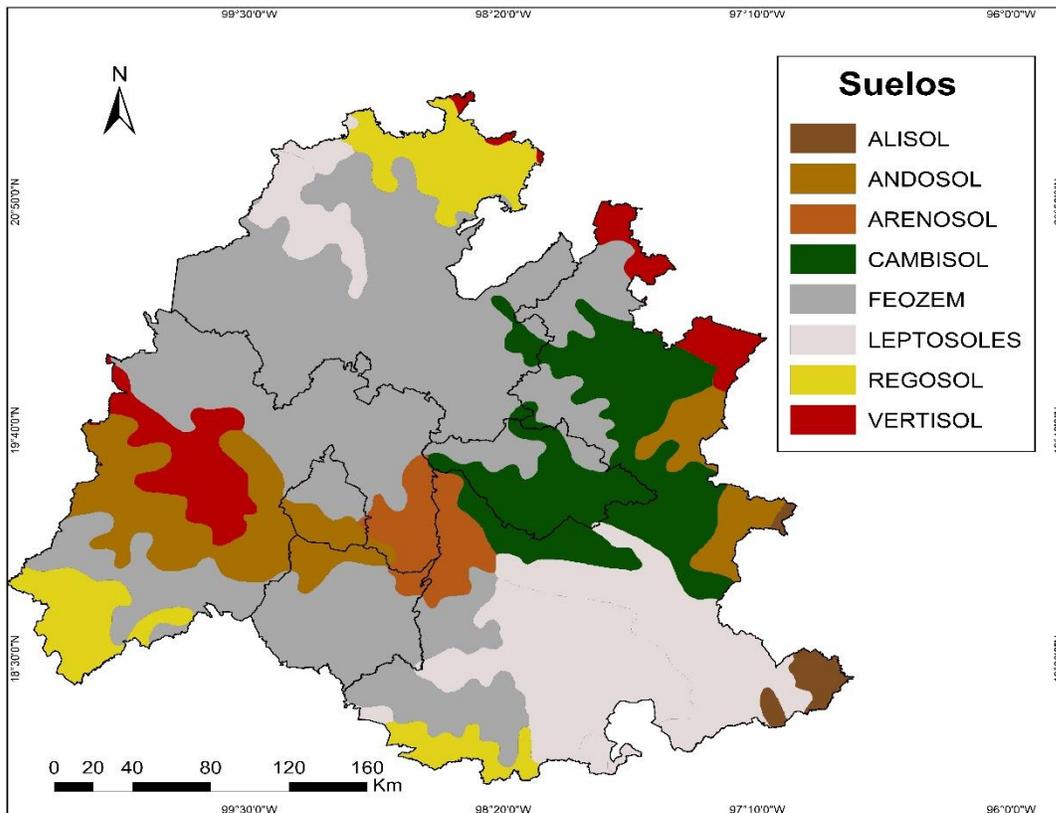


Figura 5: Suelos predominantes de la Corona Regional de Centro de México.

Fuente: Elaboración propia con base en CONABIO (2008c)

Uso de Suelo y Vegetación

La vegetación de la Corona Regional del Centro de México es muy variable y responde al tipo de suelo y clima predominante. De acuerdo con la información de CONABIO (2017) la Corona Regional cuenta con nueve tipos de vegetación: bosque, chaparral, matorral, mezquital, palmar, pastizal, pradera, selva y vegetación acuática (humedales). También presenta seis usos de suelo: agricultura de humedad, agricultura de riego, agricultura de temporal, áreas sin vegetación aparente, cuerpos de agua y zona urbana (Figura 6).

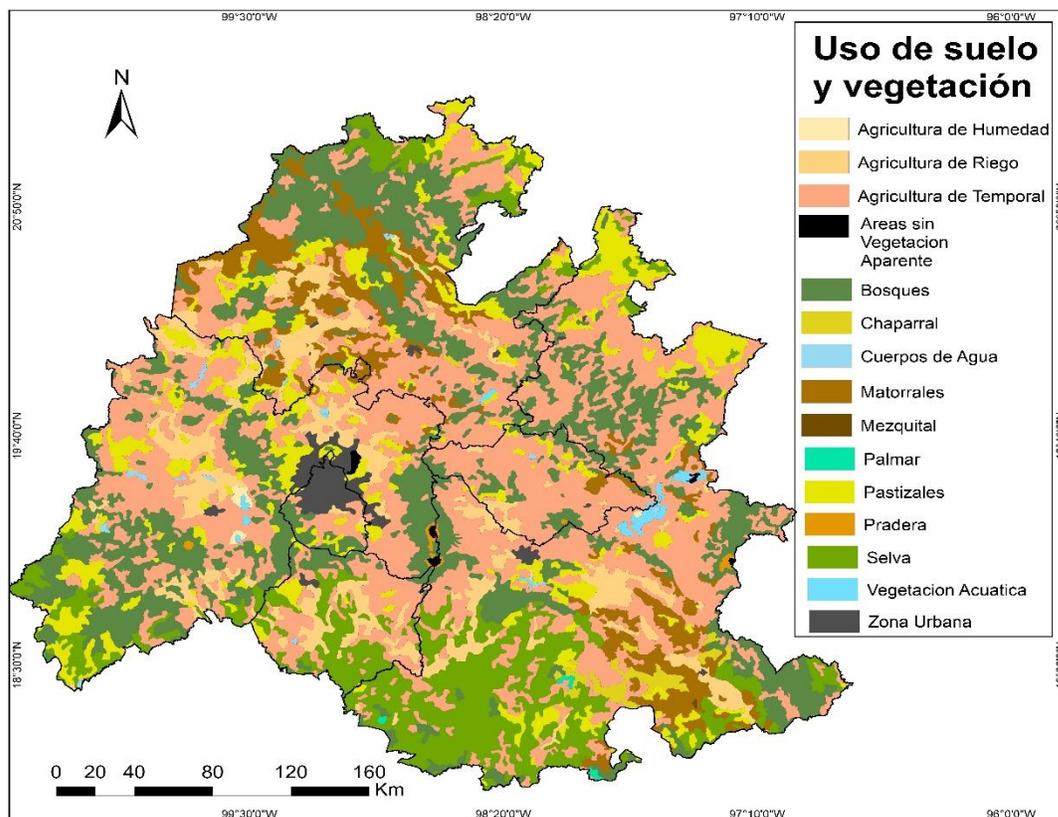


Figura 6: Uso de suelo y vegetación de la Corona Regional del Centro de México.

Fuente: Elaboración propia con base en CONABIO (2008d).

El bosque se presenta en un clima templado y semi-frío propio de las zonas montañosas con precipitaciones anuales entre los 600 mm a los 1000 mm (Challenger y Soberon 2008). Además, marca el límite altitudinal superior y térmico de la vegetación de zonas más bajas cálido-húmedas. Se localiza al norte de Hidalgo; al norte, este y sureste de Puebla; en la frontera del Estado de México y

Puebla; en la frontera de Morelos, Estado de México y Ciudad de México; y al suroeste del Estado de México (CONABIO, 2008d).

El chaparral y el mezquital se caracterizan porque sus comunidades vegetales son un tanto heterogéneas con árboles bajos que cuentan con espinas. Se desarrollan en lugares de clima seco que corresponde al bosque tropical caducifolio pero a la vez más húmedo que el de los matorrales xerófilos. (Challenger y Soberon 2008) Se encuentran solo en una pequeña zona al centro y norte de Hidalgo y al sureste de Puebla (CONABIO, 2008d).

El matorral abarca diversas especies y comunidades de vegetales arbustivos de baja estatura y baja densidad (Challenger y Soberon 2008). Se presenta principalmente en climas áridos y semi-áridos donde la producción de biomasa es limitada. Se sitúa en unas pequeñas zonas al centro de Hidalgo, oeste de Tlaxcala y al sureste de Puebla (CONABIO, 2008d).

Los palmares son comunidades vegetales de climas tropicales-húmedos donde las precipitaciones anuales son superiores a los 1000 mm con hasta 3 o 4 meses con menos de 60 mm en promedio y con suelos mayormente arenosos (Challenger y Soberon 2008). Se encuentran al sur de Puebla (CONABIO, 2008d).

Los pastizales y la pradera son una comunidad vegetal dominada por las gramíneas, las cuales incluyen a los zacatonales, los páramos de altura y las sabanas. Algunas están limitadas por condiciones climáticas y otras por el suelo, aunque su expansión se da por distribución antropogénica (Challenger y Soberon 2008). La distribución de los pastizales y la pradera en la Corona Regional abarcan pequeñas zonas que se identifican con el color amarillo y naranja (CONABIO, 2008d).

La selva se extiende en climas tropicales-húmedos y subhúmedos en condiciones de total inundación en temporada de lluvias y secas durante el estiaje. Constituye el límite térmico e hídrico de los tipos de vegetación cálido-húmedos. Se presenta en zonas con temperaturas anuales mayores a 20° C y precipitaciones anuales de 1200 mm como máximo (Challenger y Soberon 2008). El desarrollo de la selva se da al sur de la Corona Regional abarcando el suroeste del Estado de México, al sur del estado de Morelos y al sur de Puebla (CONABIO, 2008d).

Los humedales se caracterizan por ser áreas donde la saturación de agua es el factor dominante que determina el desarrollo del suelo y el tipo de plantas que crece (Challenger y Soberon 2008). Esta vegetación se localiza básicamente cerca de los cuerpos de agua que son las áreas que se identifican con el color azul (CONABIO, 2008d).

Las zonas de uso de suelo agrícola se dividen en tres: Agricultura de humedad, en la cual se usan los suelos que quedaron mojados después de la época de lluvias. Esta agricultura se encuentra en el Estado de México y Puebla, muy cerca de los cuerpos de agua. Agricultura de riego, la cual consiste en suministrar agua a los cultivos por métodos artificiales como canales, aspersores, etc. Esta agricultura se localiza en todos los estados de la Corona Regional. Agricultura de Temporal, depende principalmente de las lluvias y la estación del año para la producción de alimentos. Este tipo de agricultura abarca casi toda la Corona Regional y se identifica con el color rosa pastel (CONABIO, 2008d).

El uso de suelo urbano se identifica claramente de color gris oscuro donde se observa a la Zona Metropolitana del Valle de México y a las ciudades de su alrededor como Toluca, Pachuca, Puebla y Cuernavaca (CONABIO, 2008d).

1.2 Urbanización y características socioeconómicas de la Corona Regional del Centro de México.

1.2.1 Evolución de la urbanización

En la década de 1950 la población era aproximadamente de 1.7 millones de habitantes, por lo que la extensión de la Ciudad de México era mucho menor que en la actualidad. La población de las zonas periféricas del Estado de México y de los demás estados colindantes a la capital se concentraba en zonas rurales, ya que solo eran unos miles de pobladores. (Delgado, 2008).

Todavía quedaban muchos espacios sin urbanizar. Por ejemplo, las localidades de Azcapotzalco y Coyoacán eran pequeños pueblos a las afueras de la ciudad. A mediados de la década de 1950 comenzó una expansión de la metrópoli cuando se observó una de las tasas de crecimiento demográfico más altas de la

historia en la Ciudad de México (CAM, 2010). Durante esa misma década la Zona Metropolitana del Valle de México alcanza una superficie urbanizada de 700 km². En los siguientes veinte años la zona metropolitana aumenta 300 km², formando un total de 1,000km² en 1970. En este año, la expansión urbana rebasa los límites de la Ciudad de México por el aumento demográfico, lo cual ocasiona una expansión hacia el Estado de México (CAM, 2010). La población se triplica con respecto a 1950, donde el cambio más significativo se refleja en una mayor diversidad y complejidad en la estructura de la ciudad. En 1970 también se elaboró una de las primeras delimitaciones de la Zona Metropolitana del Valle de México, la cual incluía 15 alcaldías de la Ciudad de México y 8 municipios del Estado de México (Aguilar, 2002).

El interés en las demás ciudades alrededor de la capital es limitado en comparación con la Ciudad de México, así que se decide reducir la atracción que genera la gran ciudad y se propone un mayor desarrollo en la urbanización del valle de Toluca (Bataillon, 2008). Como consecuencia, se da impulso a la construcción de empresas modernas para la fabricación de bienes de consumo durables. Éstas pueden estar localizadas en cualquier lugar que cuente con la infraestructura y servicios necesarios para la mano de obra, por lo que la búsqueda de ese tipo de espacios por parte de las empresas da paso a la urbanización en las ciudades de Cuernavaca, Puebla y Tlaxcala (Delgado, 2008). De esta forma se hace la urbanización de los tres valles de tierras altas: Toluca, México, Puebla-Tlaxcala y el valle de tierras cálidas de Cuernavaca.

En 1980 la Ciudad de México tiene un crecimiento extraordinario, llegando a los 20 millones de habitantes en la capital del país (Bataillon, 2008). Eso quiere decir que en solo 30 años la ciudad duplica su superficie, y como resultado, una tercera parte de su población se sitúa en los municipios conurbados de los demás estados que rodean a la Ciudad de México, principalmente en el Estado de México y algunos más del estado de Hidalgo (Delgado, 2008).

Por el aumento demográfico que registra la Ciudad de México, ésta se convierte en un exportador neto de población hacia su periferia metropolitana (Cobos, 2016). Puesto que no hay espacio suficiente para contener a tanta gente en la capital, se

eleva mucho el costo de los servicios, esto ocasiona que gran parte de la población tenga que migrar del centro a la periferia.

Durante la primera mitad de los años 80, catorce nuevos municipios se incorporan a la Zona Metropolitana del Valle de México. Esto representa casi un millón de habitantes adicionales (Aguilar, 2002) por lo que se tiene que implementar infraestructura y servicios hacia la periferia en los estados ya conurbados. Se aminoran los costos para que sean más accesibles a la población migrante.

Después de veinte años, la superficie urbanizada crece 500 km² más, y llega a los 1,500 km² en 1990. En la misma década, Delgado (2008) demuestra cómo se incrementan los flujos telefónicos, los de carga y de pasajeros de las ciudades de los alrededores de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México hacia la capital, convirtiéndola en una ciudad central y prioritaria. El mismo autor señala que la Corona Regional emite y absorbe un 26% del PIB formando una región central muy fuerte. Él identifica un núcleo central, con la Ciudad de México, una corona, con todas las ciudades y municipios conurbados de la Zona Metropolitana del Valle de México, y una periferia regional que va a los límites de la Zona Metropolitana del Valle de México y sus demás municipios conurbados con las zonas rurales.

El crecimiento metropolitano se produjo en mayor medida en territorio del Estado de México, donde muchas casas de fin de semana se transformaron en residencia permanente para los jubilados, en un principio, y luego para las familias con un empleo de horario flexible. Dentro de la Corona Regional se tiene una población migrante hacia la propia Ciudad de México (Delgado, 2008).

A principios y mediados de los años 90, el crecimiento metropolitano empieza a presionar las áreas de conservación (CAM, 2010), dando origen a la creación de nuevos lugares para vivir. Como consecuencia de ello, en la Zona Metropolitana del Valle de México se adicionan 10 municipios más a la gran urbe, es decir, casi medio millón de habitantes adicionales (Aguilar, 2002).

La última expansión llega a los 1,800 km² en el año 2000 (PGDUDF, 2003). Durante ese tiempo, la Ciudad de México se ve afectada por la tala clandestina, incendios forestales, ocupación irregular y cambio de uso del suelo, del que se estima una

deforestación promedio anual entre 240 y 500 hectáreas. El área urbanizada alcanzó 200 mil hectáreas y su patrón de ocupación es horizontal (Iracheta, 2003). El crecimiento de la Ciudad de México, y en general de la Corona Regional, se desarrolla de forma polarizada, debido a que la Ciudad de México es sede de los poderes federales, las mejores ofertas laborales y una mejor calidad de vida (Delgado, 1996). Sin embargo, también se encuentra el mayor costo por los servicios y mayor desigualdad económica ya que todo en esta gran urbe está centralizado. Este desarrollo urbano se produce por el aumento poblacional, el cual ha sido irregular y con un escaso control urbano (Molla, 2006).

Los municipios colindantes que forman la Zona Metropolitana del Valle de México son los que posteriormente presentan mayor crecimiento poblacional y forman parte de la Corona Regional del Centro de México. Esta zona se integra por 16 alcaldías de la Ciudad de México, 59 municipios del Estado de México y un municipio del estado de Hidalgo (Escamilla y Santos, 2012). Además de las crecientes rutas de comercio, flujo de personas y de capital que se añaden entre esas regiones, se anexan también las zonas urbanas de Puebla, Tlaxcala y Morelos.

La Corona Regional contiene el 31% de la población total del país, con 37,310,161 habitantes (INEGI, 2015). La Zona Metropolitana de la Ciudad de México se ha convertido en el centro de la Corona Regional, donde la dinámica de las demás ciudades las hace dependientes de la capital (Bataillon, 2008).

La estructura de la Corona Regional del Centro de México es:

- Zona Metropolitana del Valle de México: Abarca a la ciudad de México, 59 municipios del Estado de México y un municipio de Hidalgo. Su población es de 22 116 842 (INEGI, 2010).
- Zona Metropolitana Puebla-Tlaxcala: Abarca a la capital del estado de Puebla con 17 municipios más y el sur de Tlaxcala con 20 municipios. Su población es de 2 728 790 (INEGI 2010).
- Zona metropolitana de Toluca: Abarca a la capital del Estado de México (Toluca de Lerdo) y 21 municipios más del mismo estado. Su población es de: 2 387 371 (INEGI 2010).
- Zona metropolitana de Cuernavaca: Abarca a la capital del estado de Morelos y a 4 municipios (Jiutepec, Temixco, Emiliano Zapata y Xochitepec) y a un

municipio del Estado de México (Ocuitlan). Su población es de 924 964 (INEGI, 2010).

- Zona metropolitana de Pachuca de Soto: Abarca a la Ciudad de Pachuca y seis municipios del Estado de México (Mineral del Monte, Mineral de la Reforma, San Agustín Tlaxiaca, Epazoyucan, Zapotlán y Zempoala). Su población es de 512 196 (INEGI, 2010).
- Zona metropolitana de Tlaxcala-Apizaco: Abarca 19 municipios del estado de Tlaxcala con una población de 534 588 habitantes (INEGI, 2010).
- Zona metropolitana de Cuautla: Abarca seis municipios del estado de Morelos (Atlatlahuacan, Ayala, Cuautla de Morelos, Tlayacapan, Yautepec de Zaragoza y Yecapixtla) con una población de 434 147 (INEGI, 2010).
- Zona metropolitana de Tulancingo: Abarca 3 municipios del Estado de Hidalgo (Cuatepec de Hinojosa, Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero y Tulancingo de Bravo). Su población es de 239 579 (INEGI, 2010).
- Zona metropolitana de Tula: Abarca 5 municipios del Estado de Hidalgo (Tula de Allende, Atitalaquia, Atotonilco de Tula, Tlahuilpan y Tlaxcoapan) con una población de 205 812 (INEGI, 2010).
- Zona metropolitana de Santiago Tianguistenco: Abarca a 6 municipios del Estado de México (Almoleya del Río, Atizapan, Capulhuac, Xalatlalco, Texcalyacac y Tianguisteco). Su población es de 157 944 (INEGI, 2010).

La estructura de la Corona Regional del Centro de México se observa de manera gráfica en la Figura 7.

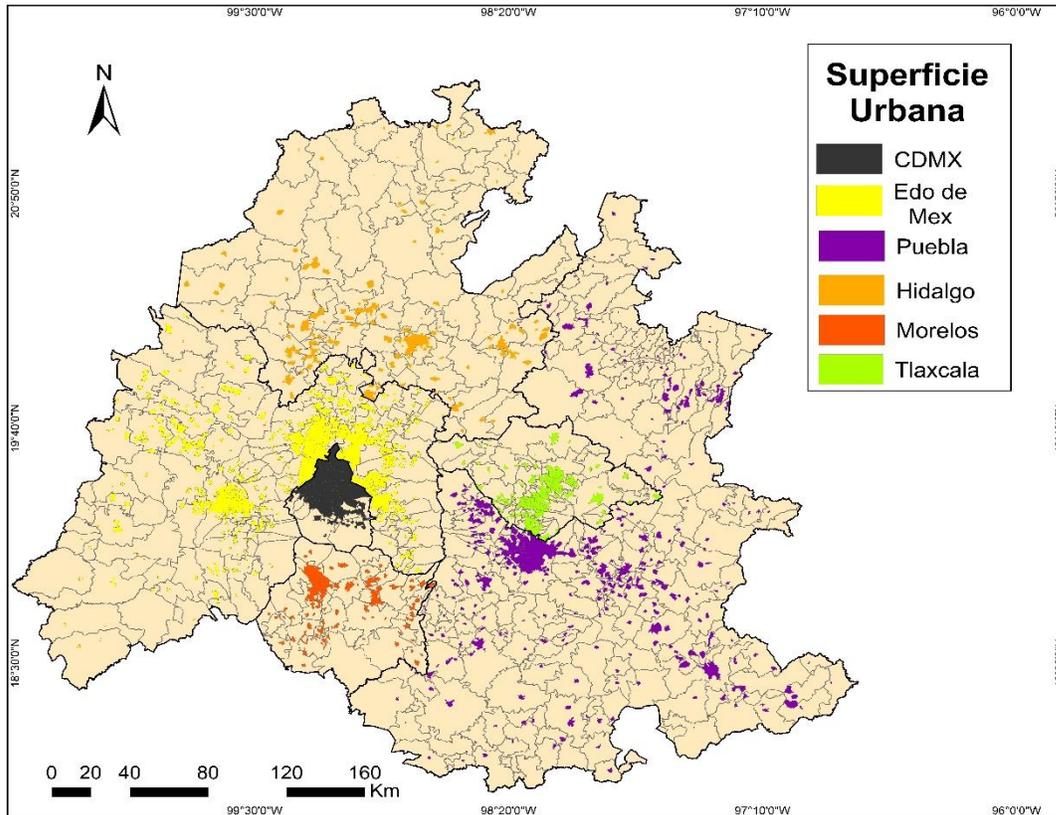


Figura 7: Superficie urbana de la Corona Regional del Centro de México

Fuente: Elaboración propia con base en CONABIO (2014)

1.2.2 Características socioeconómicas

La Ciudad de México es la segunda entidad a nivel nacional con mayor población, tiene un total de 8,918,653 habitantes y ocupa el 0.08% del territorio nacional. Se constituye por 16 alcaldías donde la más poblada es la alcaldía Iztapalapa con 1 827,868 habitantes y la de menor población es Milpa Alta con 137 927, (INEGI, 2015). Del total de la población hay 4,687,003 mujeres y 4,231,650 hombres. La mayor población de mujeres respecto a grupo etario corresponde a los 20 y 40 años y en hombres está entre los 20 y 34 años (INEGI, 2015).

El 99.5% de la población en la Ciudad de México vive en zonas urbanas mientras que el 0.5% vive en áreas rurales; por consiguiente, la densidad poblacional es muy alta. Asimismo, es la primera entidad con mayor densidad en el país, se estima que

en promedio hay 5,967 personas por km² (INEGI 2015). Se tiene casi el triple de nacimientos por defunciones, con 145,302 nacimientos por cada 57,142 muertes. Con respecto a la migración y de acuerdo con INEGI (2015) en el 2005 salieron de la Ciudad de México 737,742 personas para radicar en otras ciudades. De cada 100 personas, 52 se fueron a vivir al Estado de México, 5 a Hidalgo, 4 a Morelos y 4 a Puebla, las demás personas migran hacia otros estados. Sobre la inmigración que se dio en la Corona Regional de cada 100 personas, 39 provenían del Estado de México y 8 de Puebla.

Las viviendas en la Ciudad de México cuentan casi en su totalidad con todos los servicios. Según datos de INEGI (2015) hay 2,599,081 viviendas particulares, de las cuales: 90.6% disponen de agua entubada dentro de la vivienda; el 99.8% cuentan con energía eléctrica; y el 94.1% disponen de drenaje conectado a la red pública. Sobre las actividades económicas de la Ciudad de México solo el 1% de del PIB estatal es aportado por actividades primarias como la agricultura, el 11% lo aporta la industria y el 89% todas las actividades terciarias (INEGI 2015). La población económicamente activa es de 3,606,572 personas, siendo así la Ciudad de México el primer lugar nacional en aportación del PIB con un 16.5% (INEGI, 2015).

El Estado de México es el segundo estado más grande de la Corona Regional ya que casi envuelve por completo a la Ciudad de México y representa el 1.14% del territorio nacional, su capital está en el Valle de Toluca. Se compone de 125 municipios de los cuales 80 forman parte de la Corona Regional. La mayor parte de los habitantes de estos municipios está conformada por población entre los 5 a 30 años de edad donde el 48.4% son hombres y el 51.6% son mujeres. Los dos municipios más poblados son Ecatepec de Morelos con 1,677,678 y Nezahualcóyotl con 1,039,867 habitantes (INEGI, 2015).

El 87% de la población vive en zonas urbanas y el 13% en zonas rurales. La densidad poblacional no es tan alta como en la Ciudad de México, en promedio hay 724 personas por km². Nacen 4 veces más personas que las que fallecen, los nacimientos equivalen a 317,834 por cada 74,566 defunciones (INEGI, 2015).

La migración del Estado de México dentro de la Corona Regional indica que de cada 100 personas, 28 se fueron a vivir a la Ciudad de México, 15 a Hidalgo y 7 a Puebla, las demás personas salieron a otros estados de la república. La inmigración señala que, de cada 100 personas, 65 provienen de la Ciudad de México, 4 de Hidalgo y 3 de Puebla (INEGI, 2015).

Las actividades económicas son 2% en actividades primarias, el 32% para las actividades secundarias y el 66% en actividades terciarias. Se emplea a 2,023,837 personas, siendo así la segunda entidad que aporta más al PIB nacional con el 9.3% (INEGI, 2015).

El estado de Puebla es el más grande de la Corona Regional, su capital es la Heroica Puebla de Zaragoza y ocupa el 1.75% del territorio nacional. Cuenta con 217 municipios y una población total de 6,168,883 habitantes. De todos sus municipios solo 17 forman parte de la Corona Regional con un total de 2,287,788 personas (INEGI, 2015).

La distribución de la población según INEGI (2015) es de 72% urbana y 25% rural, por consiguiente, la densidad poblacional es de 180 personas por km² y no es tan alta como en el Estado de México.

La migración dentro del estado hacia la Corona Regional señala que, de cada 100 personas, 19 se fueron a radicar al Estado de México, 14 a la Ciudad de México y 9 hacia Tlaxcala, los demás se fueron hacia otros estados de la nación. En inmigración, de cada 100 personas, 23 fueron de la Ciudad de México, 17 del Estado de México y 6 de Tlaxcala, las demás personas provinieron de otros estados (INEGI, 2015).

Se tiene un total de 1,553,451 viviendas, donde el 60.6% posee agua entubada, el 98.7% cuenta con energía eléctrica y el 83.5% dispone de drenaje conectado a la red pública.

El estado de Hidalgo es el tercer estado de mayor extensión de la Corona Regional, su capital es Pachuca de Soto. Tiene una población total de 2,858,359 y representa

el 1.06% del territorio nacional. Cuenta con 84 municipios de los cuales 15 son parte de la Corona Regional y su población es de 1,038,974 (INEGI, 2015).

Según INEGI (2015) indica que la distribución de la población es 52% urbana y 48% zona rural. La densidad poblacional es más baja que en los otros estados, de tan solo 137 personas por km².

La migración de Hidalgo en la Corona Regional muestra que de cada 100 personas: 29 se fueron al Estado de México y 14 a la Ciudad de México. La inmigración indica que, de cada 100 personas, 40 provienen del Estado de México, 31 personas vienen de la Ciudad de México y 4 más de Puebla (INEGI, 2015).

Las actividades económicas del estado de Hidalgo corresponden a 4% en las actividades primarias, 42% de actividades secundarias y 54% en actividades terciarias.

El estado de Morelos es uno de los más pequeños de la Corona Regional, representa el 0.25% del territorio nacional con una población de 1,903,811. Tiene 33 municipios de los cuales 10 son parte de la Corona Regional, contando con una población de 974 198, lo que representa un poco más de la mitad de la población total del estado (INEGI 2015).

La población está distribuida en su mayor parte en zona urbana con un 84%, y el otro 16% está en zonas rurales.

Los movimientos migratorios que presenta el estado de Morelos en la Corona Regional consisten en: de cada 100 personas, 19 se fueron a vivir al Estado de México, 17 a la Ciudad de México y 8 a Puebla. En cuanto a la inmigración de cada 100 personas: 33 provinieron de la Ciudad de México, 18 del Estado de México y 6 de Puebla (INEGI, 2015).

Las actividades económicas de Morelos son un 3% en actividades primarias, 31% de actividades secundarias y 66% de actividades terciarias (INEGI, 2015).

El estado de Tlaxcala es el segundo estado más pequeño de la Corona Regional, representa el 0.20% del territorio nacional con una población de 1,272,847. Cuenta con 60 municipios de los cuales 39 son parte de la Corona Regional y posee una

población de 895,167 que es el 70% del total de la población del estado (INEGI, 2015). El 80% de la población vive en zonas urbanas y el 20% en zonas rurales (INEGI, 2015).

Los movimientos migratorios de Tlaxcala hacia la Corona Regional según INEGI (2015) son: de cada 100 personas, 32 se fueron a vivir a Puebla, 17 al Estado de México, 12 a la Ciudad de México y 5 a Hidalgo. En cuanto a inmigración: de cada 100 personas, 33 provienen de Puebla, 21 de la Ciudad de México, 17 del Estado de México y 4 de Hidalgo.

Las actividades económicas corresponden a 4% de actividades primarias, 33% de actividades secundarias y un 63% de actividades terciarias (INEGI, 2015).

CAPÍTULO 2. CARACTERÍSTICAS DE LA PRECIPITACIÓN

El presente capítulo muestra algunas de las características de las variables hidrometeorológicas con atención principal a la precipitación en la Corona Regional. Se conocerán las condiciones de su origen, tipos y regímenes de lluvias que se encuentran dentro del área de estudio.

Se presentarán antecedentes de investigaciones y trabajos que sirven como sustento para el desarrollo de la metodología de esta climatología creada con el fin de apoyar estudios posteriores sobre la precipitación en el Centro de México.

2.1 Variables hidrometeorológicas

Las variables hidrometeorológicas son un aspecto de suma importancia para el estudio de la precipitación y están relacionadas entre sí. En este caso, el énfasis está puesto en la humedad, ya que es la variable principal para la saturación de una parcela de aire que conlleva a la presencia de lluvia en algún lugar.

2.1.1 Humedad

La humedad es la cantidad de vapor de agua presente en el aire (Strahler, 2005), puede variar enormemente de un lugar a otro y está en relación estrecha con la temperatura. La entrada de vapor de agua en el aire se realiza a través de los procesos de evaporación de aguas superficiales, del agua en los suelos y de la transpiración de la flora. La salida de este vapor de agua se lleva a cabo por medio de precipitaciones líquidas o sólidas.

La humedad se puede expresar de tres formas diferentes:

“La primera es la *humedad relativa* que es el porcentaje de vapor de agua que puede contener una parcela de aire. La cantidad de humedad dentro de una porción de aire tiene un límite definido, conocido como punto de saturación” (Strahler, 2005: 108).

Cuando la humedad relativa está al 100% quiere decir que el aire está saturado. Ésta humedad sufre cambios a lo largo del día, como se puede ver de manera gráfica en la Figura 8.

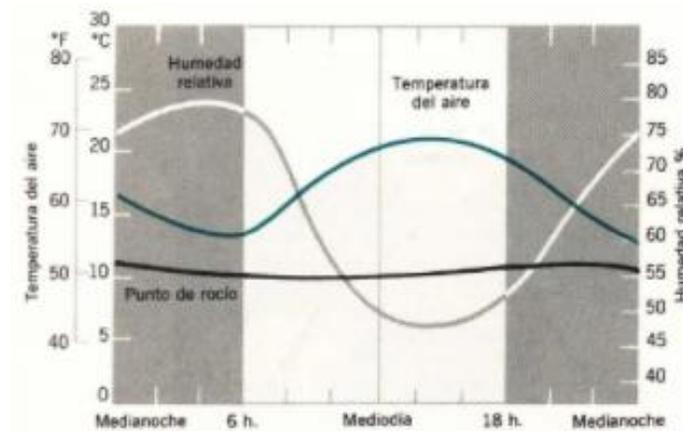


Figura 8. Gráfica del comportamiento de la humedad relativa.

Fuente: (Strahler, 2005)

En la Figura 8 se muestra la variación de la humedad relativa debido a cambios de temperatura. Queda reflejado cómo a lo largo del día la temperatura se eleva mientras que la humedad relativa disminuye, y viceversa. El aire a mayor temperatura, puede guardar mayor cantidad de humedad. En cambio, cuando el aire es más frío, la saturación se alcanza con menor humedad.

“La segunda forma de expresión de la humedad es la *humedad específica*, que es la masa de vapor de agua expresada en gramos por kg necesaria para poder saturar un kilogramo de aire seco” (Strahler, 2005: 109).

“La tercera forma de expresión de la humedad es la *humedad absoluta*, que es la cantidad de vapor de agua contenida en un determinado volumen de aire, expresado en gramos por metro cúbico” (Strahler, 2005: 109).

Para que pueda existir precipitación, no solo es necesaria la humedad en el ambiente y la saturación de una parcela de aire, también se necesita del proceso adiabático y del proceso de condensación. El proceso adiabático es aquel que no presenta intercambio de energía calorífica con su entorno, a pesar de conseguir variar la temperatura del aire por medio de la presión y la humedad relativa. Es decir, que en este proceso el aire ascendente experimenta una disminución de

temperatura, debido a que mientras más alto se encuentra, la temperatura disminuye por el gradiente térmico vertical, aun cuando no haya pérdida de calor (Strahler, 2005). La condensación es sólo el proceso físico del cambio de la materia que sufre el agua al pasar del estado gaseoso al líquido.

A partir de este proceso, se presenta la formación de nubes. Éstas son masas densas de partículas de agua o hielo que oscilan entre las 20 y 50 micras de diámetro (Strahler, 2005). Cada una de esas partículas se forma alrededor de un núcleo sólido que son aerosoles suspendidos en el aire, llamados núcleos de condensación. Las nubes están formadas en su totalidad por pequeñas gotitas de agua que están muy por debajo de su punto de solidificación, aproximadamente a -12° C, sin embargo, permanecen en estado líquido. A este estado se le conoce como agua subenfriada (Strahler, 2005). Cuando la temperatura es menor a los -30° C predominan los cristales de hielo y más allá de los -40° C, todas las partículas son cristales de hielo. Esto produce un tipo de precipitación sólida.

2.1.2 Precipitación

Se considera precipitación a todas aquellas aguas meteóricas que caen sobre la superficie de la tierra de forma líquida y/o sólida (Segeer, 2006). La precipitación tiene un papel de suma importancia en el manejo de recursos naturales, en especial: recursos hídricos, en la agricultura, ganadería, recursos forestales, manejo de riesgos por eventos hidrometeorológicos, etc.

La precipitación cambia gradualmente conforme a la región. Por consiguiente, la distribución de la lluvia determina el potencial climático de una región, el cual varía enormemente en espacio, tiempo e intensidad (Méndez, *et al.*, 2008). La precipitación en la Corona Regional no es homogénea a lo largo del año ya que presenta un periodo de secas y uno de lluvias, consecuencia de su ubicación geográfica.

En la parte centro-este de la Corona Regional se encuentra una zona semiárida donde la lluvia anual varía entre los 400 y 500 mm. Esto se debe a la subsidencia

del aire que origina un desplazamiento de las nubes en dirección a las montañas (Jáuregui, 2000). Además, en la estación lluviosa, las nubes convectivas que se forman dentro de la Corona precipitan ahí mismo, presentando mayor abundancia de lluvia en el piedemonte con una precipitación anual de entre 700 y 1200 mm (Jáuregui, 2000).

Los factores que tienen influencia sobre la precipitación y determinan los tipos de lluvia en la Corona Regional son: la Zona de Convergencia Intertropical (ZCI), que es el lugar donde convergen los vientos alisios del hemisferio norte y del hemisferio sur. También hay que considerar la continentalidad, el relieve, los frentes fríos y cálidos, y los fenómenos de El Niño y La Niña (Rosales, *et al.*, 2014).

La ZCI se mueve de norte a sur dependiendo de la estación del año llegando hasta los trópicos. La continentalidad determina, en gran medida, la cantidad de agua en forma de lluvia que entra desde el Océano Pacífico y el Golfo de México. El relieve sirve como un parteaguas dividiendo las lluvias que se generan por la entrada de los vientos alisios cargados de humedad al paso por los océanos. Los frentes fríos y cálidos son dos masas que, al chocar, generan precipitaciones muy fuertes e intensas. Por último, los fenómenos de El Niño y La Niña producen una teleconectividad a escala mundial en las costas peruanas que afectan y modifican las lluvias, incluyendo las de México (Inzunza, 2003).

En esta región central del país se presentan lluvias predominantes en verano debido a las masas de aire producidas por los vientos alisios, que recogen humedad principalmente del Golfo de México y penetran la Corona Regional dejando precipitaciones en su camino (Rosales *et al.*, 2014). Por otro lado, la disponibilidad de humedad y lluvias se debe a la actividad ciclónica proveniente del Golfo de México, del Caribe y el Océano Pacífico (Rosales *et al.*, 2014).

TIPOS DE PRECIPITACIÓN

La precipitación se origina de diferentes maneras, esto se debe a la forma en la que una parcela de aire asciende, se enfría hasta llegar a la saturación y se condensa. Hay cuatro formas de ascenso del aire que pueden generar lluvia (Inzunza, 2003),

todas se presentan dentro de la Corona Regional en diferentes etapas del año. Éstas son:

La precipitación por convección (Figura 9):

“Se produce cuando una masa de aire húmeda y cálida se calienta por estar en contacto con la superficie terrestre y asciende. Al ascender, la parcela de aire se enfría, se satura, y se condensa originando lluvia. Estos tipos de precipitación son muy comunes en ciudades. Son nubes de tormenta, de formaciones verticales y grandes dimensiones, que suelen venir acompañadas de tormentas eléctricas” (Inzunza, 2003: 139).

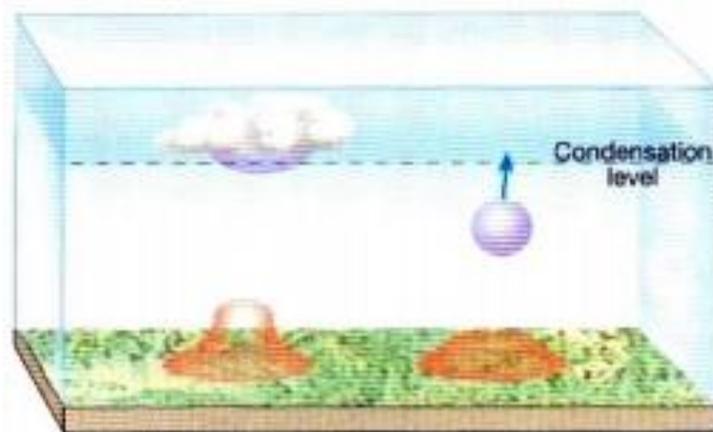


Figura 9: Precipitación convección

Fuente: (Inzunza, 2003)

La precipitación orográfica (Figura 10):

Se genera durante el ascenso de una nube sobre una montaña o cordillera. Este proceso es debido a que la nube, al venir del océano, trae mucha humedad. Al subir por la ladera de la montaña (barlovento) el vapor de agua se eleva y su temperatura baja lo suficiente para saturarse, condensar y precipitar (Inzunza, 2003: 140).

Estas precipitaciones ocurren casi todo el año en la zona noreste de la Corona Regional, en la Sierra de Puebla e Hidalgo, muy cerca de Veracruz. La abundante precipitación del lado de la montaña que ve hacia el Golfo de México se debe a la entrada de los vientos alisios cargados con humedad (Rosales. *et.al.*, 2014).

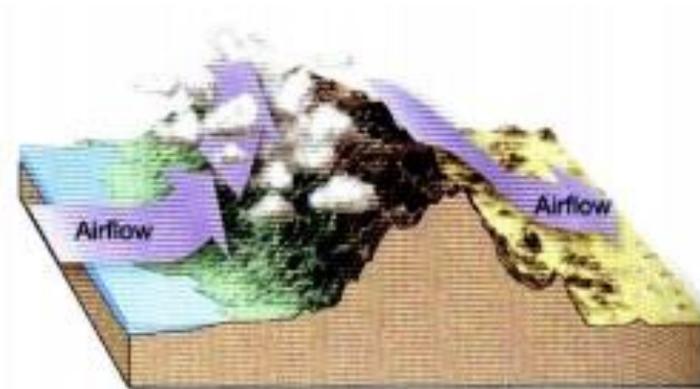


Figura 10: Precipitación orográfica

Fuente: (Inzunza, 2003)

La precipitación frontal (Figura 11):

“Ocurre cuando un frente frío con alta presión, más pesado y seco, choca con un frente cálido de baja presión, más liviano y húmedo. Se crea un ascenso muy brusco y rápido del frente cálido sobre el frente frío, ocasionando que el intercambio de energía entre ambos frentes sea efímero y muy fuerte. Este tipo de precipitación es conocido por crear lluvias intensas con una duración muy corta” (Inzunza, 2003: 140).

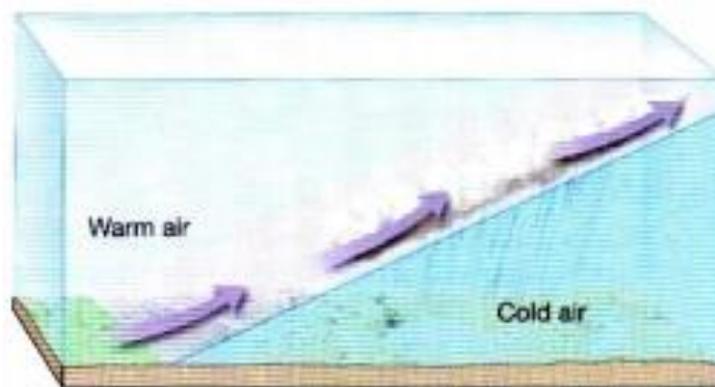


Figura 11: Precipitación Frontal

Fuente: (Inzunza, 2003)

La precipitación ciclónica (Figura12):

“Está asociada al paso de una perturbación ciclónica, es decir, a cualquier alteración meteorológica generada por bajas presiones. Son comúnmente asociadas a zonas de baja presión, depresiones tropicales, tormentas tropicales y ciclones. Se ven

fuertemente influidas por la Zona de Convergencia Intertropical y el fenómeno de El Niño y La Niña” (Inzunza, 2003: 141).

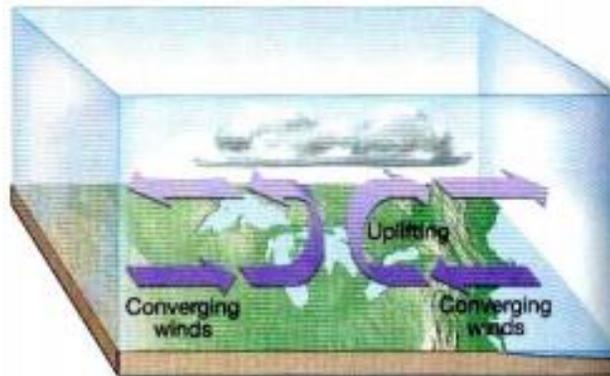


Figura 12: Precipitación ciclónica

Fuente: (Inzunza, 2003)

Los tipos de precipitaciones no son sólo por su origen, sino que también se clasifican por su forma e intensidad. Dependen principalmente de los factores climáticos como la temperatura, la humedad, los vientos y la presión atmosférica. La siguiente clasificación de precipitaciones, según Sarochar (2017), está dada por la intensidad y duración:

Agua líquida: es la forma común de la caída de agua de las nubes. A menudo la precipitación comienza como hielo, pero se funde en su trayecto a la superficie. Son gotas mayores a 5 mm de diámetro y caen con una velocidad de 3 m/s.

Lluvia general: es la precipitación de larga duración de 3 a 48 horas con registro de 10 a 200 mm, abarcando grandes extensiones producidas generalmente por sistemas ciclónicos.

Llovizna: son lluvias de larga duración, pero de baja intensidad, no sobrepasan más de 1 mm por hora. Estas precipitaciones son uniformes y constituidas por gotas de agua menores a 0.5 mm, con muy poca velocidad de caída.

Neblina o niebla: es una precipitación en la que, por su reducido peso y el tamaño de las gotas, éstas se mueven en todas direcciones alcanzando bajas altitudes, no más de 300 o 400 m de altitud. Son muy comunes en zonas de alta montaña y vegetación donde haya suficiente humedad.

Chaparrón o chubasco: son precipitaciones breves, pero de muy alta intensidad alcanzado hasta más de 50 mm por hora. Son producidas por nubes de tormenta llamadas cumulonimbos.

Aguacero: es una precipitación breve, pero a diferencia del chaparrón es más abundante. Se tienen dos tipos principalmente: el aguacero fuerte, consiste en una lluvia breve, muy fuerte y reducida a una pequeña zona; y el aguacero intenso, es una lluvia igualmente breve pero mucho más fuerte y de menor duración. Suele causar importantes daños e inundaciones. (Sarochar, 2017: 15-16).

Las lluvias que se presentan en la Corona Regional del Centro de México se manifiestan en todos los tipos de precipitaciones según su origen, intensidad y duración. En cuanto al régimen de precipitación, como se verá a continuación, tienen un comportamiento de tipo monzónico con seis meses de lluvia y seis meses de secas (Luyando, 2016). Las provincias fisiográficas y los diversos fenómenos meteorológicos provocan las diferencias en la cantidad anual y la intensidad de las precipitaciones.

2.1.3 Régimen de Lluvias en la Corona Regional del Centro de México

La Corona Regional presenta un régimen de lluvia tipo monzónico: una temporada de secas (temporada invernal), que va de noviembre a abril, y una temporada lluviosa (temporada de verano), que generalmente se presenta de mayo a octubre. Esta temporalidad en escalas climáticas responde a su ubicación geográfica. Sin embargo, a escalas meteorológicas, la intensidad, temporalidad y distribución espacial se ha visto modificada (Jáuregui, 2000).

La temporada de lluvias se observa de manera gráfica en la Figura 13.

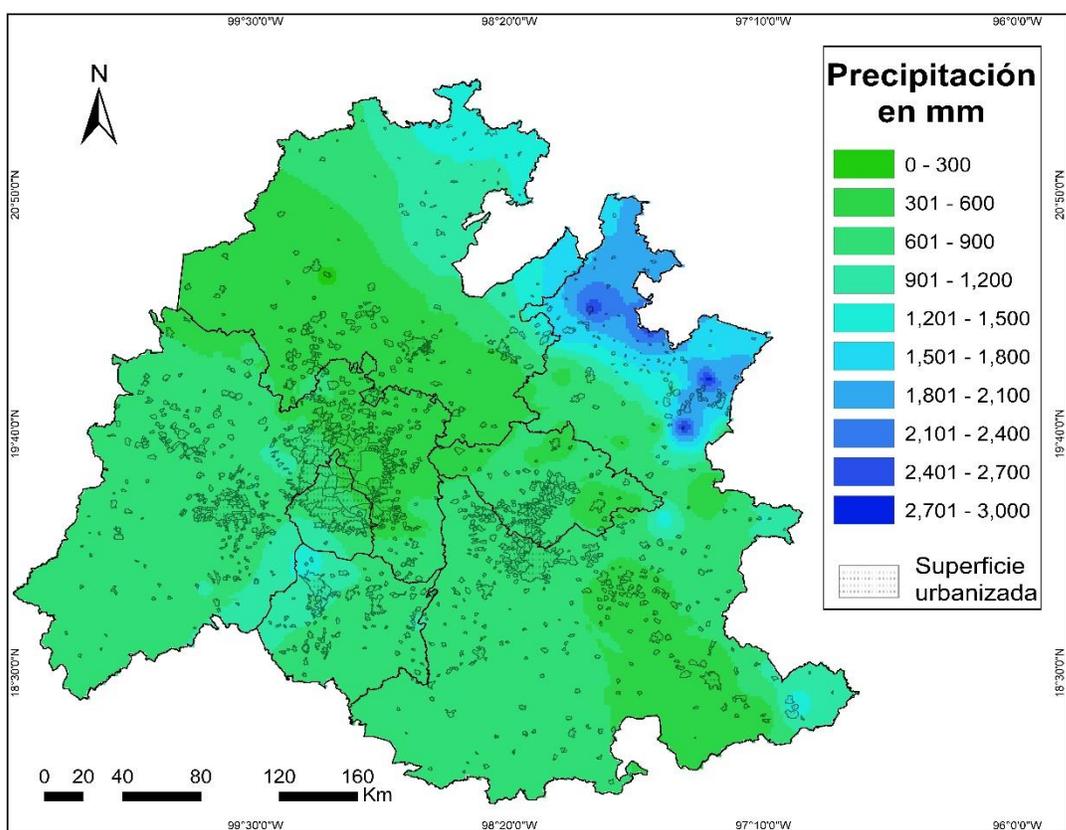


Figura 13: Precipitación de verano (mayo-octubre)

Fuente: Elaboración propia con base en datos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). SMN (2015). Periodo 1961-1990

La precipitación de esta temporada se dividió en 10 intervalos: tonos verdes para las zonas donde la precipitación es menor y tonos azules que muestran las zonas de mayor precipitación. Cada intervalo muestra una precipitación que aumenta 300 mm respecto al anterior. El mapa se divide en tres zonas principales:

Zona de precipitación baja (tonos verdes), que incluyen los valores de 0 a 900 mm; zona de precipitación media (tonos verde agua y azul claro), que representa los valores de 901 a 2100 mm; y zona de precipitación alta (tonos azul oscuro), que comprenden los valores de 2101 a 3000 mm.

La zona de precipitación baja crea una franja en diagonal que atraviesa el centro, oeste, sur y sureste de la Corona Regional, cubriendo la mayor parte de ésta. La zona de precipitación que va de los 0 a 300 mm se encuentra en un pequeño punto

casi en el centro de Hidalgo. Posteriormente, la zona de los 301 a los 600 mm abarca al centro y sur de Hidalgo; al noreste del Estado de México, el noroeste de la Ciudad de México, al oeste, norte y sureste de Tlaxcala y una parte al sur y centro de Puebla. La zona de los 301 a los 900 se localiza en una gran parte de la Corona Regional, comenzando por una franja noroeste-sureste que cruza por el centro norte de Hidalgo; el oeste, sur y sureste del Estado de México; al este y sur de Morelos; el centro, sur y parte del este de Tlaxcala; el noroeste, centro y sureste de la Ciudad de México y el centro, suroeste y una parte del oriente de Puebla.

La zona de precipitación media abarca áreas pequeñas. Las precipitaciones de 901 a 1200 mm se ubican al norte del estado de Hidalgo, al este de Puebla y en la frontera de los estados de Morelos, Ciudad de México y Estado de México. Las precipitaciones de 1201 a 1500 mm están al norte de Hidalgo, una pequeña zona al sureste de Puebla, en la frontera al este de Tlaxcala con Puebla, en la frontera de Morelos y Estado de México y una pequeña franja en diagonal noroeste-sureste que cruza el este de Hidalgo y el norte de Puebla; y las precipitaciones de 1501 a 1800 mm y 1801 a 2100 mm se localizan al norte de Puebla.

La zona de precipitación alta se localiza al norte y centro-norte de Puebla.

La temporada de seca del año se observa de manera gráfica en la Figura 14.

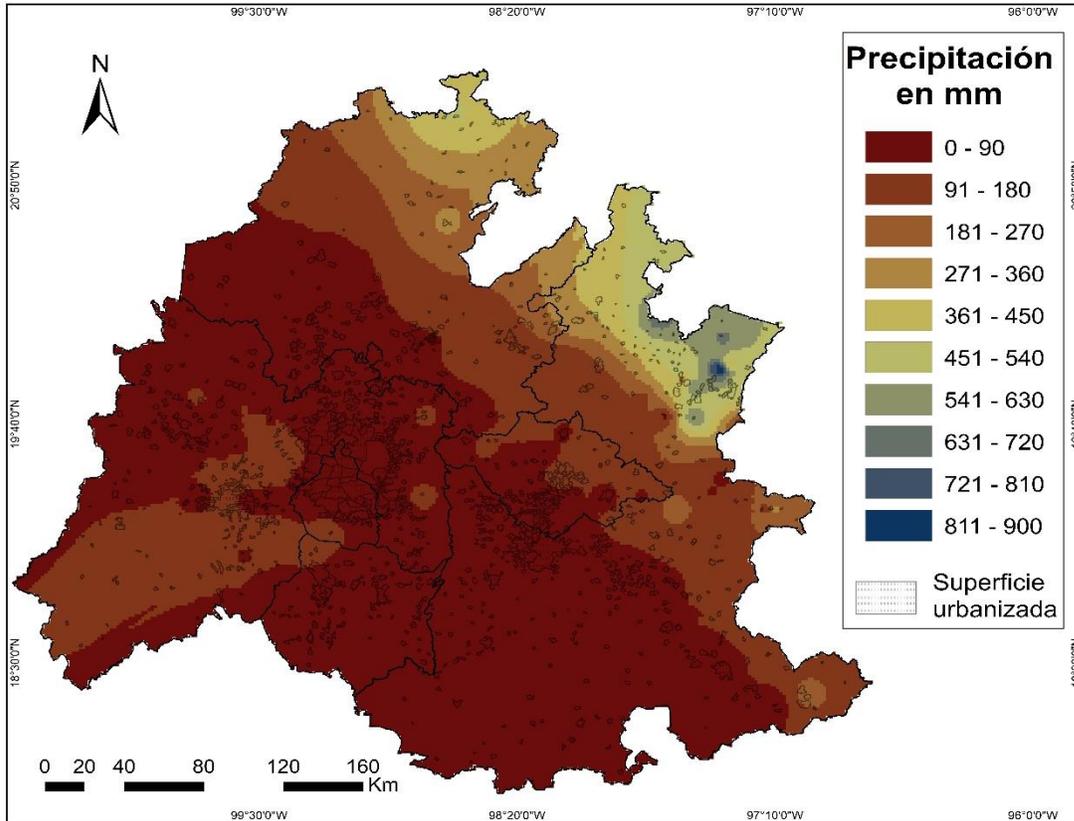


Figura 14: Precipitación invernal (noviembre-abril)

Fuente: Elaboración propia con base en datos del SMN (2015). Periodo 1961-1990

En la Corona Regional, la precipitación de la temporada invernal es muy baja, como se observa en la Figura 14. La precipitación total se dividió en 10 intervalos, cada uno de un color, desde tonos cafés, que son las zonas donde hay menor precipitación, pasando por los amarillos y verde-agua, que son zonas de precipitación media, hasta llegar a los azules, que muestran las zonas con mayor precipitación. Cada intervalo aumenta 90 mm respecto al anterior.

La zona de menor precipitación incluye los tonos cafés. Estas zonas son las más secas de la Corona Regional. Las precipitaciones van del 0 a 270 mm. Abarcan casi toda la Corona Regional extendiéndose a casi toda la Ciudad de México, el Estado de México, Morelos, Tlaxcala, el centro y sur de Hidalgo y el centro-norte y sur de Puebla.

La zona de precipitación media, representada por los tonos ocre y amarillo claro, son áreas con lluvias de 271 a 540 mm. Éstas se ubican al norte y noreste de la Corona Regional en los estados de Hidalgo y Puebla.

La zona de mayor precipitación, representada por los tonos verde agua y azul, se localiza en una zona reducida al noreste de Puebla. Es el único lugar, dentro de la Corona Regional, con lluvia en la temporada invernal que va de los 541 a los 900 mm. El régimen correspondiente a las lluvias anuales se observa de manera gráfica en la Figura 15.

Las precipitaciones totales anuales están divididas en zona de precipitación baja, señalada por los tonos azul claro; zona de precipitación media con tonos azul neutro, y una zona de precipitación alta, indicada con tonos azul oscuro.

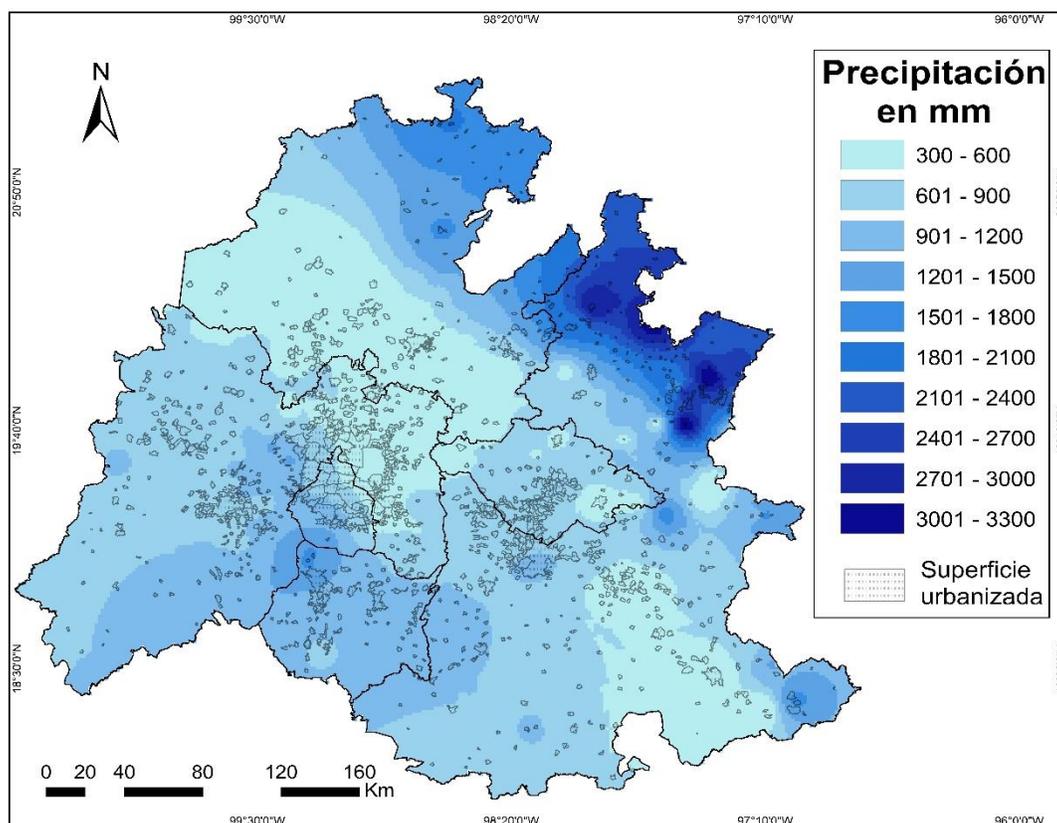


Figura 15: Precipitación anual

Fuente: Elaboración propia con base en datos del SMN (2015). Periodo 1961-1990.

Según el promedio anual, la mayor parte de la Corona Regional se encuentra en la zona de precipitación baja: los 300 a 600 mm abarcan el centro y sur de Hidalgo, al noreste del Estado de México, noreste de la Ciudad de México, una zona al sur y centro de Puebla y al oeste y sureste de Tlaxcala. Los 600 a 900 mm abarcan todo el oeste y una pequeña parte del sureste del Estado de México, cruza en diagonal noroeste sureste a la Ciudad de México, el centro, oeste y una pequeña zona del este y centro-norte de Puebla y en el centro de Tlaxcala. Por último, los 900 a 1200 mm abarcan al sur cubriendo todo el estado de Morelos, el sureste de Puebla, el suroeste de la Ciudad de México, el sur del Estado de México y una pequeña franja que va en diagonal noroeste-sureste cruzando centro de Hidalgo y el centro-norte de Puebla.

Las siguientes zonas de precipitación, que se puede considerar como precipitación media abarcan de 1201 a los 2400mm. Se presentan en franjas desde el interior hacia el exterior en diagonal noroeste-sureste cruzando los estados de Hidalgo y Puebla.

La zona de precipitación alta abarca de los 2401 a los 3300 mm. Se localiza al norte del estado de Puebla en Xicotepec de Juárez, Atexcaco, Hueyapan y Presa la Soledad. Se muestran tres pequeñas zonas, siendo las que presentan mayor precipitación acumulada y también de mayor intensidad en todo el año.

La orografía tiene un papel muy importante dentro del régimen de precipitación y de la distribución de la lluvia. Puesto que se busca tener un mejor manejo del recurso hídrico, se hace uso de la geomorfología para definir las áreas de captación del agua, donde se establecen los límites por medio de los parteaguas para disponer de este vital líquido de manera más eficaz.

2.2 Cuencas hidrográficas en la Corona Regional

La cuenca es el área geográfica por donde transita el agua de una corriente principal y sus afluentes hacia un punto de salida o de captación, ya sea lago o presa. Se le considera como la unidad geográfica más funcional para administrar el recurso hídrico (AGUA, 2017).

Las Cuencas Hidrográficas correspondientes a la Corona Regional se observan de manera gráfica en la Figura 16.

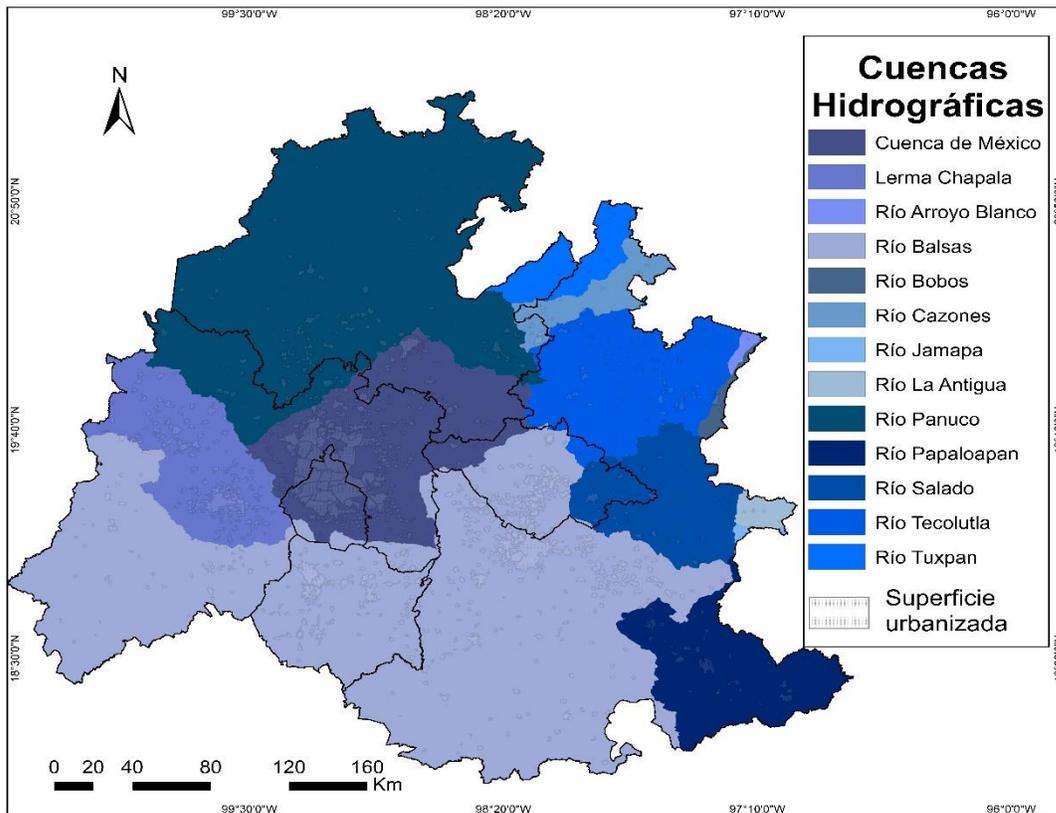


Figura 16: Cuencas hidrográficas

Fuente: Elaboración propia con base en CONABIO (2009)

La Corona Regional cuenta con 13 cuencas hidrográficas, las más grandes y las más importantes en la Corona Regional debido al aporte de agua son: Cuenca de México, que incluye a la mayor parte de la Ciudad de México, al noreste y este del Estado de México, el oeste de Tlaxcala y el sureste de Hidalgo; la cuenca del Río Balsas ubicada al sur de la Corona Regional, es la que tiene mayor extensión puesto que cubre al suroeste del Estado de México, todo el estado de Morelos, al centro de Tlaxcala y al sur y sureste del estado de Puebla; la cuenca del Río Lerma-Chapala que se observa al centro y noroeste del Estado de México; y la cuenca del Río Pánuco que se extiende por casi todo el territorio de Hidalgo.

2.3 Antecedentes de estudios de precipitación en la zona

En las últimas décadas se han generado diversos trabajos relativos a la precipitación de la zona de estudio (Jáuregui, 1973; Jáuregui, 1975; Jáuregui y Romales, 1996; Magaña *et al.*, 2003; Luyando *et al.*, 2014b). Estas investigaciones surgen por la necesidad de conocer cómo es el comportamiento de las lluvias, las cuales pueden estar condicionadas a diversos factores como el desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical, la temporada de ciclones, la presencia de relieve, entre otros. Para la Corona Regional del Centro de México no se ha elaborado una climatología que abarque toda la zona, pero sí de algunas partes de ella.

El análisis de la precipitación tiene diversas aplicaciones, algunas se han utilizado para conocer cómo la urbanización del Valle de México ha afectado y modificado su clima (Aquino, 2012); la distribución temporal y espacial de las lluvias en la Ciudad de México y su aplicación en la planeación urbana (Betanzos, 2016); los efectos de las temperaturas y precipitaciones intensas en el bioclima humano (Luyando, 2016); entre otros. A continuación, se mencionan las investigaciones más afines a este trabajo.

En el libro “Mesomicroclima de la Ciudad de México” Jáuregui (1971) realiza un análisis sobre la precipitación elaborando mapas que muestran la distribución de la intensidad de las lluvias en la Ciudad de México. Se destaca la zona oriente donde la intensidad de los chubascos es de 35 mm en un día y en la zona poniente ocurren de 45 a 50 mm en 24 horas. Asimismo, hace una medición de tormentas eléctricas y su distribución marcando un total de 10 a 30 por año.

Rubi (1991) realiza un estudio sobre la precipitación en el periodo de 1961-1980, con la idea de identificar una posible variabilidad de las lluvias. Utiliza 36 estaciones climatológicas que abarcan a la Ciudad de México y parte del Estado de México. Obtiene la precipitación anual y la máxima diaria elaborando mapas de isoyetas (líneas que unen puntos de igual precipitación). Estos mapas muestran la distribución de la precipitación y se establece una comparación con mapas más antiguos.

Jáuregui (2000) realizó observaciones en el centro de México considerando registros que abarcan de 1824 a 1918. Muestra el comportamiento de la precipitación y hace énfasis en un periodo de 21 años donde hay una variación de las lluvias.

También realizó un estudio sobre la precipitación en la Ciudad de México que abarca un periodo de casi 100 años (1901-1997) donde hace una medición por décadas de la frecuencia de la precipitación máxima mayor a 30 mm en 24 horas. Establece que estas lluvias tuvieron una frecuencia de entre 10 y 15 eventos por década hasta finales de 1950 y aumenta a 25 eventos por década a finales de 1950 hasta 1990.

López *et al.* (2014) realizan un estudio sobre la precipitación en la Ciudad de México calculando las tendencias de los índices de clima extremo. Estos índices se manejan con un umbral que fue determinado por el percentil 90 y el percentil 10, obteniendo el número de días con mayor y menor cantidad de lluvia.

CAPÍTULO 3. CLIMATOLOGÍA DE LA PRECIPITACIÓN EN LA CORONA REGIONAL DEL CENTRO DE MÉXICO

En este capítulo se muestran gráficamente los resultados relacionados con el promedio anual de días de eventos de precipitación por intervalos en la Corona Regional. Cada intervalo cuenta con sus respectivos mapas dependiendo de la intensidad y el número de días en que se presenta, mostrando las zonas de mayor o menor cantidad de lluvia.

Se presentan, como ejemplo, algunas posibles aplicaciones de esta nueva climatología, la cual puede servir de apoyo para nuevas investigaciones, contribuyendo de esta manera a generar mayor conocimiento sobre el clima en el Centro de México.

3.1 Elaboración de la climatología de la precipitación en la Corona Regional

3.1.1 Los datos

Para la realización del proyecto titulado “*Efectos de la variabilidad de la precipitación sobre áreas urbanas y rurales de la Corona Regional del Centro de México*” que pertenece al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT), con número de proyecto “IN105415”, se obtuvieron los datos de precipitación diaria para la Corona Regional del Centro de México de la base de datos de *Climate Computing* (CLICOM) del SMN perteneciente a la actual Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

Estos datos fueron revisados y validados en el grupo de Cambio Climático y Radiación Solar del Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) de la UNAM. El procedimiento utilizado fue:

1. De cada uno de los estados se seleccionaron las estaciones climatológicas con meses que tenían al menos 27 días de datos con promedios diarios o totales diarios considerándolos meses completos desde los primeros años de observaciones climáticas.
2. De cada estado se seleccionaron los años completos, es decir, aquellos con los 12 meses completos, sin faltar ningún mes.

3. Para cada estación que haya pasado los filtros anteriores se calcularon promedios anuales.
4. Debido a que en cada estado se presentaron periodos sin una continuidad de datos, se decidió trabajar con los datos de 1961-2000. De esta forma se obtuvo un periodo cercano a los 30 años “completos”.
5. Al organizar los datos en una matriz, se notaron años anómalos con valores muy altos o muy bajos. Se buscó la causa de la inconsistencia y esta información fue eliminada. Si lo que se desea obtener es una climatología, no es conveniente que valores anómalos sesguen la climatología promedio. (Fuente: Informe anual del proyecto).

Posteriormente, se realizó una nueva revisión que se describe más adelante, en la parte correspondiente a la metodología empleada. Los datos usados de precipitación diaria fueron del periodo 1961 a 1990 y las estaciones climatológicas que se usaron para el presente trabajo se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Estaciones Climatológicas.

N° Estación	Estado	Longitud	Latitud	Altitud	Cuenca Hidrográfica
9020	CDMX	-88° 23'	18° 23'	25	Cuenca de Mex
9022	CDMX	-99° 25'	19° 25'	2756	Cuenca de Mex
9029	CDMX	-103° 43'	19° 43'	1530	Cuenca de Mex
9032	CDMX	-100° 7'	19° 7'	1869	Cuenca de Mex
9041	CDMX	-99° 34'	19° 34'	2585	Cuenca de Mex
9043	CDMX	-100° 29'	19° 29'	1600	Cuenca de Mex
13006	Hidalgo	-90° 30'	19° 30'	80	Cuenca de Mex
13008	Hidalgo	-99° 59'	19° 59'	2450	Cuenca de Mex
13021	Hidalgo	-98° 37'	21° 37'	210	Río Panuco
13025	Hidalgo	-99° 11'	20° 11'	2000	Río Panuco
13029	Hidalgo	-98° 21'	19° 21'	1528	Río Panuco
13033	Hidalgo	-98° 31'	19° 31'	2714	Cuenca de Mex
13042	Hidalgo	-98° 39'	20° 39'	1980	Río Panuco
13069	Hidalgo	-99° 10'	20° 10'	1800	Río Panuco
13075	Hidalgo	-99° 19'	20° 19'	2052	Río Panuco
13083	Hidalgo	-99° 44'	20° 44'	2200	Río Panuco
15008	Edo. De Mex	-97° 7'	19° 7'	2960	Cuenca de Mex
15010	Edo. De Mex	-98° 54'	19° 54'	2485	Lerma-Chapala
15011	Edo. De Mex	-104° 16'	19° 16'	30	Lerma-Chapala

N° Estación	Estado	Longitud	Latitud	Altitud	Cuenca Hidrográfica
15013	Edo. De Mex	-99° 22'	19° 22'	2790	Cuenca de Mex
15016	Edo. De Mex	-97° 55'	18° 55'	2057	Río Balsas
15017	Edo. De Mex	-99° 58'	19° 58'	2680	Cuenca de Mex
15018	Edo. De Mex	-99° 48'	19° 48'	2610	Cuenca de Mex
15020	Edo. De Mex	-99° 39'	19° 39'	2677	Cuenca de Mex
15024	Edo. De Mex	-103° 36'	19° 36'	1368	Río Panuco
15025	Edo. De Mex	-99° 47'	19° 47'	160	Lerma-Chapala
15026	Edo. De Mex	-98° 55'	19° 55'	2300	Lerma-Chapala
15028	Edo. De Mex	-99° 8'	19° 8'	2558	Río Panuco
15030	Edo. De Mex	-97° 37'	19° 37'	2345	Lerma-Chapala
15032	Edo. De Mex	-97° 13'	19° 13'	1842	Río Panuco
15037	Edo. De Mex	-102° 35'	19° 35'	1225	Lerma-Chapala
15038	Edo. De Mex	-97° 27'	18° 27'	2585	Río Balsas
15041	Edo. De Mex	-99° 27'	19° 27'	2706	Cuenca de Mex
15044	Edo. De Mex	-99° 51'	19° 51'	2548	Cuenca de Mex
15049	Edo. De Mex	-99° 40'	19° 40'	2640	Lerma-Chapala
15051	Edo. De Mex	-98° 53'	19° 53'	2268	Lerma-Chapala
15057	Edo. De Mex	-99° 44'	19° 44'	2680	Lerma-Chapala
15059	Edo. De Mex	-98° 33'	19° 33'	2734	Cuenca de Mex
15063	Edo. De Mex	-96° 33'	19° 33'	313	Lerma-Chapala
15064	Edo. De Mex	-99° 30'	20° 30'	2600	Río Panuco
15065	Edo. De Mex	-99° 43'	19° 43'	2710	Cuenca de Mex
15066	Edo. De Mex	-99° 10'	19° 10'	2250	Río Balsas
15069	Edo. De Mex	-99° 50'	20° 50'	2315	Río Panuco
15071	Edo. De Mex	-96° 53'	19° 53'	1130	Río Panuco
15073	Edo. De Mex	-88° 6'	19° 6'	20	Cuenca de Mex
15074	Edo. De Mex	-97° 17'	19° 17'	2400	Cuenca de Mex
15076	Edo. De Mex	-99° 0'	19° 0'	2245	Lerma-Chapala
15078	Edo. De Mex	-99° 53'	19° 53'	2526	Lerma-Chapala
15081	Edo. De Mex	-104° 38'	19° 38'	458	Cuenca de Mex
15083	Edo. De Mex	-100° 10'	19° 10'	2972	Cuenca de Mex
15085	Edo. De Mex	-99° 56'	19° 56'	2975	Lerma-Chapala
15086	Edo. De Mex	-98° 54'	19° 54'	2449	Lerma-Chapala
15089	Edo. De Mex	-96° 35'	19° 35'	905	Lerma-Chapala
15090	Edo. De Mex	-100° 3'	19° 3'	2780	Cuenca de Mex
15094	Edo. De Mex	-99° 2'	19° 2'	2662	Cuenca de Mex
15095	Edo. De Mex	-98° 0'	19° 0'	2500	Cuenca de Mex
15099	Edo. De Mex	-97° 8'	19° 8'	2938	Cuenca de Mex
15114	Edo. De Mex	-98° 41'	19° 41'	2790	Cuenca de Mex

N° Estación	Estado	Longitud	Latitud	Altitud	Cuenca Hidrográfica
15115	Edo. De Mex	-90° 43'	19° 43'	2	Río Panuco
15117	Edo. De Mex	-100° 2'	19° 2'	2570	Lerma-Chapala
15119	Edo. De Mex	-99° 11'	19° 11'	3220	Lerma-Chapala
15122	Edo. De Mex	-100° 11'	19° 11'	1680	Lerma-Chapala
15124	Edo. De Mex	-100° 3'	19° 3'	2610	Cuenca de Mex
15127	Edo. De Mex	-103° 18'	19° 18'	1950	Cuenca de Mex
15128	Edo. De Mex	-99° 16'	19° 16'	2250	Lerma-Chapala
15129	Edo. De Mex	-100° 34'	19° 34'	2020	Cuenca de Mex
15167	Edo. De Mex	-100° 12'	19° 12'	2823	Cuenca de Mex
15170	Edo. De Mex	-100° 8'	19° 8'	2660	Cuenca de Mex
17002	Morelos	-97° 21'	18° 21'	3150	Río Balsas
17003	Morelos	-103° 52'	18° 52'	1196	Río Balsas
17004	Morelos	-97° 19'	18° 19'	2575	Río Balsas
17005	Morelos	-97° 25'	18° 25'	2230	Río Balsas
17014	Morelos	-99° 47'	18° 47'	1850	Río Balsas
17018	Morelos	-96° 20'	18° 20'	51	Río Balsas
17020	Morelos	-95° 22'	18° 22'	5	Río Balsas
17021	Morelos	-99° 19'	18° 19'	920	Río Balsas
17022	Morelos	-103° 9'	18° 9'	725	Río Balsas
17024	Morelos	-98° 33'	18° 33'	1930	Río Balsas
17026	Morelos	-98° 59'	18° 59'	955	Río Balsas
17033	Morelos	-96° 25'	18° 25'	69	Río Balsas
17047	Morelos	-90° 45'	18° 45'	85	Río Balsas
21005	Puebla	-103° 9'	19° 9'	900	Río Balsas
21007	Puebla	-96° 56'	18° 56'	450	Río Balsas
21008	Puebla	-96° 52'	19° 52'	2070	Río Tecolutla
21011	Puebla	-97° 25'	19° 25'	900	Río Tecolutla
21014	Puebla	-97° 24'	20° 24'	320	Río Papaloapan
21015	Puebla	-97° 4'	18° 4'	1050	Río Balsas
21016	Puebla	-98° 54'	18° 54'	1656	Río Balsas
21018	Puebla	-99° 32'	18° 32'	731	Río Papaloapan
21019	Puebla	-98° 12'	18° 12'	2540	Río Papaloapan
21021	Puebla	-87° 33'	19° 33'	3	Río Tecolutla
21025	Puebla	-98° 23'	19° 26'	2278	Río La Antigua
21026	Puebla	-97° 39'	18° 39'	65	Río Salado
21034	Puebla	-96° 48'	18° 48'	585	Río Balsas
21035	Puebla	-98° 17'	18° 17'	2170	Río Balsas
21040	Puebla	-99° 43'	19° 43'	2696	Río Bobos
21043	Puebla	-97° 36'	19° 36'	1625	Río Tecolutla

N° Estación	Estado	Longitud	Latitud	Altitud	Cuenca Hidrográfica
21046	Puebla	-102° 50'	19° 50'	974	Río Balsas
21047	Puebla	-100° 44'	19° 44'	2285	Río Tecolutla
21048	Puebla	-92° 1'	17° 01'	620	Río Balsas
21051	Puebla	-97° 41'	20° 41'	725	Río Tecolutla
21052	Puebla	-96° 58'	19° 58'	1218	Río Salado
21053	Puebla	-89° 43'	18° 43'	2	Río Papaloapan
21054	Puebla	-97° 19'	19° 19'	1565	Río Bobos
21055	Puebla	-97° 32'	19° 32'	2235	Río Tecolutla
21056	Puebla	-103° 36'	19° 36'	900	Río La Antigua
21063	Puebla	-96° 23'	18° 23'	120	Río Balsas
21064	Puebla	-97° 33'	19° 33'	2850	Río Tecolutla
21066	Puebla	-98° 5'	19° 05'	2700	Río Tecolutla
21067	Puebla	-103° 46'	19° 46'	135	Río Salado
21069	Puebla	-98° 38'	19° 38'	2700	Río Tecolutla
21074	Puebla	-97° 22'	19° 22'	1656	Río Tecolutla
21077	Puebla	-102° 7'	19° 07'	1850	Río Salado
21082	Puebla	-97° 19'	18° 19'	2575	Río Balsas
21083	Puebla	-99° 4'	18° '04'	2800	Río Papaloapan
21084	Puebla	-100° 25'	18° 25'	800	Río Papaloapan
21096	Puebla	-90° 32'	18° 32'	3	Río Balsas
21103	Puebla	-97° 35'	19° 35'	2045	Río Tecolutla
21111	Puebla	-97° 8'	19° 08'	1365	Río Tecolutla
21114	Puebla	-101° 10'	18° 10'	200	Río Tecolutla
21118	Puebla	-98° 3'	20° 03'	1472	Río Tecolutla
21126	Puebla	-98° 5'	19° 05'	2350	Río Tecolutla
21127	Puebla	-97° 57'	20° 57'	1155	Río Tecolutla
29002	Tlaxcala	-99° 6'	19° 6'	2245	Río Balsas
29003	Tlaxcala	-97° 6'	19° 6'	2727	Río Balsas
29005	Tlaxcala	-99° 20'	19° 20'	2530	Río Salado
29010	Tlaxcala	-99° 18'	19° 18'	2558	Río Balsas
29011	Tlaxcala	-98° 10'	19° 10'	2360	Río Salado
29012	Tlaxcala	-99° 58'	19° 58'	2550	Río Balsas
29023	Tlaxcala	-99° 26'	19° 26'	2820	Cuenca de Mex
29032	Tlaxcala	-99° 58'	19° 58'	2605	Río Balsas
29035	Tlaxcala	-104° 34'	19° 34'	370	Cuenca de Mex

Fuente: Elaboración propia con base en SMN (2015).

La distribución de las estaciones climatológicas de la Tabla 1 en la Corona Regional del Centro de México se muestra en la Figura 17.

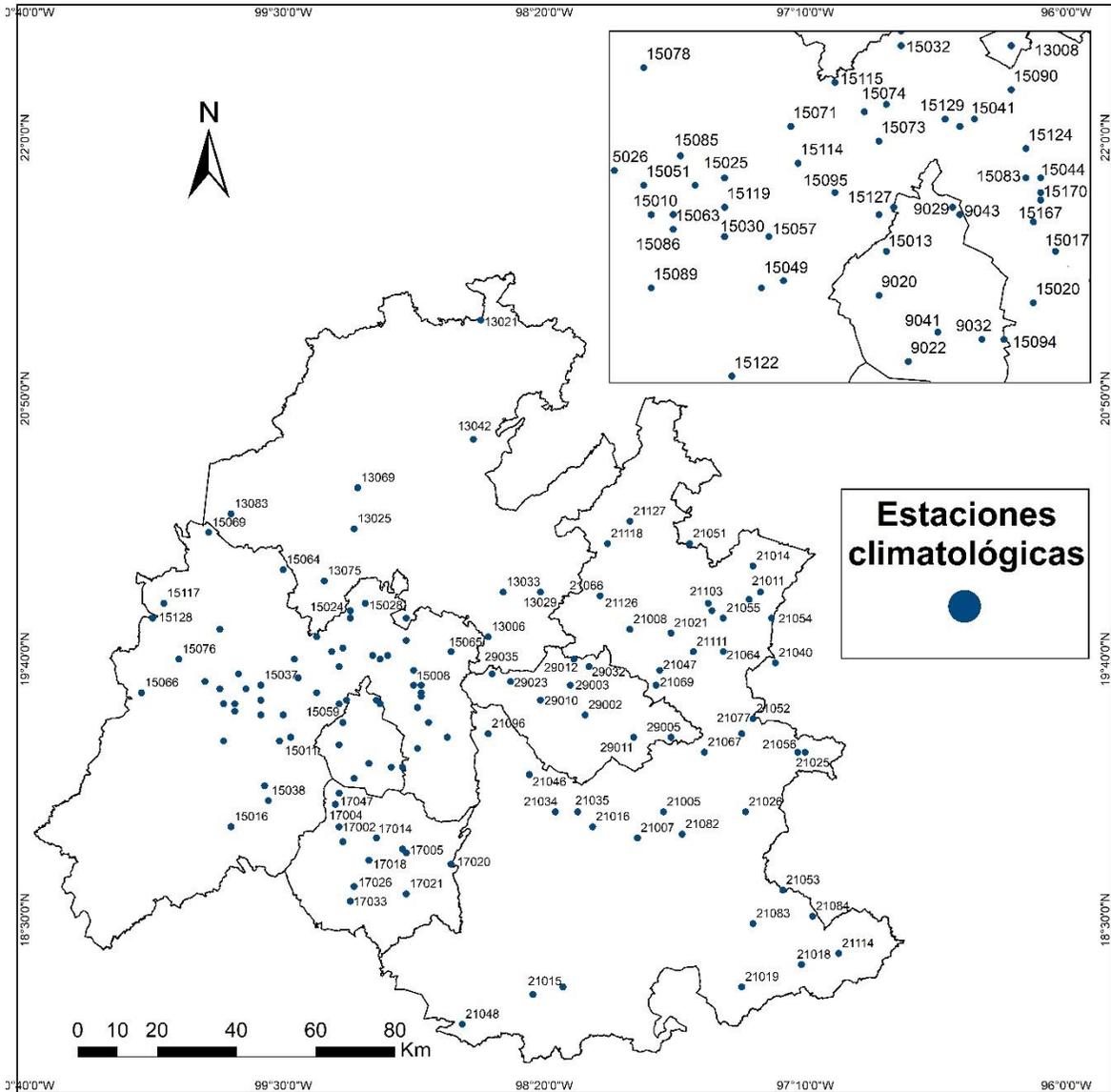


Figura 17: Distribución de las estaciones climatológicas en la Corona Regional del Centro de México

Fuente: Elaboración propia con base en CONABIO (2008e)

A partir de la obtención de los datos se procedió a llevar a cabo la siguiente metodología para la creación de una climatología de la precipitación en la zona de estudio. Se realizó una clasificación de la precipitación según el número de días de ocurrencia de los eventos de lluvia separados por intervalos (en milímetros).

3.1.2 Metodología

La presente investigación se realiza desde la geografía cuantitativa, la cual surge en los años sesenta en las ciencias sociales identificadas con el neopositivismo. Se caracteriza por su énfasis en los aspectos teóricos y por la cuantificación de los fenómenos y procesos estudiados. Su propósito es la búsqueda de un orden en los procesos espaciales y del descubrimiento de leyes generales que expliquen la distribución espacial (Capel y Urteaga, 1991).

El uso de la climatología estadística ayuda en gran medida a este tipo de trabajos, ya que los procesos climáticos presentan una variabilidad espacial y temporal. Por lo tanto, la estadística permite hacer un diagnóstico mediante la descripción de los datos climáticos. Estos métodos estadísticos pueden ser la estadística descriptiva, estadística inferencial o análisis multivariante (Madrid, 2013) estas últimas no utilizadas en este trabajo.

La metodología utilizada para llevar a cabo la presente investigación ha constado de diferentes etapas, las cuales se describen a continuación.

Inicialmente se realizó la búsqueda, compilación y revisión de material bibliográfico en páginas web, libros, artículos científicos y tesis sobre aspectos físicos y sociales de la Corona Regional del Centro de México, tales como: ubicación, relieve, clima, vegetación, geología, suelos, características socioeconómicas de la población y la expansión de la superficie urbanizada. Asimismo, se investigaron los métodos cuantitativos de climatología con enfoque en la precipitación. El objetivo es tener un panorama general que sirva de base para la investigación, además de obtener un marco teórico y conceptual.

Respecto a la base cartográfica, las capas que se utilizaron para ser trabajadas en el programa Arc GIS 10.4 y realizar los mapas se obtuvieron del sitio web de CONABIO.

Originalmente para la caracterización y el tratamiento de los datos se contaba con 186 estaciones: 7 de la Ciudad de México, 16 de Hidalgo, 69 del Estado de México, 23 de Morelos, 58 de Puebla y 13 de Tlaxcala que fueron proporcionadas por el

proyecto PAPIIT del CCA ya “validados”. Sin embargo, se observó que presentaban errores como meses completos de datos con registro de cero milímetros en épocas de lluvias o datos con 9999, que indica un faltante, además de muchas discontinuidades, por ejemplo, la falta de años continuos sin información.

Posteriormente, se hizo una nueva revisión y validación de los datos ya trabajados por el CCA a través de la graficación y localización de máximos y mínimos según la época correspondiente. Además de una revisión exhaustiva de manera visual y con ayuda del programa Excel para corroborar que no hubiera datos anómalos. Esta nueva verificación ocupó aproximadamente seis meses de trabajo.

Por lo tanto, se hizo la selección de un periodo de 30 años continuos y simultáneos en todas las estaciones que corresponde de 1961 hasta 1990. Adicionalmente, se redujo el número a 132 estaciones: 6 estaciones para la Ciudad de México, 10 para Hidalgo, 52 para el Estado de México, 13 para Morelos, 42 para Puebla y 9 para Tlaxcala (Tabla 1) que están localizadas en la Figura 17.

Al obtener los datos de precipitación, se procedió a la debida caracterización y tratamiento de cada uno de ellos. Para el ordenamiento de las 132 estaciones, las cuales fueron trabajadas por estado, se procedió a la distribución en cada estación como se observa en el ejemplo de la Tabla 2; una columna representa el mes y el año; en las filas siguientes, cada mes y año contiene todos los días con su respectiva precipitación en milímetros. Se deja un espacio de tres filas entre cada año para poder hacer una separación de datos y obtener los totales anuales y mensuales.

Tabla 2. Ejemplo de ordenamiento y procesamiento de datos por cada estación de cada estado.

DATASET-ID	Station-ID	Mes-Año	Día-1	Día-2	Día-3	Todos los demás días del mes	Precipitación total mensual
9	9020	1961-01	0	0	0		14.5
9	9020	1961-02	0	0	0		0
9	9020	1961-03	6.5	0	0		6.5
9	9020	1961-04	0	0	0		32.3
9	9020	1961-05	0	0	2.5		55.5
9	9020	1961-06	0	0	0		176.9
9	9020	1961-07	0	3	16		322.5
9	9020	1961-08	10.5	11.3	10		243.6
9	9020	1961-09	3.5	3	2		116.7
9	9020	1961-10	0	0	0		23.5
9	9020	1961-11	0	0	0		25.5
9	9020	1961-12	0	0	0		9
Precipitación total anual							1026.5

Fuente: Elaboración propia con base en SMN (2015).

En la Tabla 3 se ordenaron los totales anuales, totales de lluvia de verano y lluvia invernal para obtener el promedio anual, promedio de lluvias de verano (mayo-octubre) y promedio de lluvias en invierno (noviembre-abril) de todas las estaciones de cada estado para todo el periodo considerado.

El promedio anual se obtuvo mediante la suma de los totales de lluvia de cada mes de cada año y se dividió entre el número de años utilizados por cada estación. Asimismo, para los promedios de lluvias de verano e invierno se sumaron primero los totales mensuales de mayo a octubre y noviembre a abril, respectivamente, y se dividió entre el número de años utilizados por cada estación.

Tal como se trabaja en las normales climatológicas se utiliza el promedio de 30 años mínimo para obtener una climatología.

Tabla 3. Ejemplo de distribución y tratamiento de los datos de lluvias de verano, invierno y anuales.

Estacion	Desde	Hasta	Número de años	Año	Total estacional		Total anual
					Verano	Invierno	
9020	1961	1990	30	1961	938.7	87.8	1026.5
				1962	830	128	958
				1963	934.4	32.5	966.9
				1964	879.7	67	946.7
				1965	959	73.8	1032.8
				1966	1164.2	118.6	1282.8
				1967	1096.7	103.1	1199.8
				1968	859.3	121	980.3
				1969	1198.4	14.5	1212.9
				1970	869.7	28.5	898.2
				1971	1033.5	59.9	1093.4
				1972	1028.6	64.4	1093
				1973	1100.5	69.7	1170.2
				1974	936.7	101	1037.7
				1975	772.3	50	822.3
				1976	808	72.4	880.4
				1977	848.8	24.4	873.2
				1978	726.2	92.2	818.4
				1979	603.6	76.6	680.2
				1980	743.1	97.4	840.5
				1981	1109.6	90.7	1200.3
				1982	624.2	35.2	659.4
				1983	1069.7	46	1115.7
				1984	1218.7	17.1	1235.8
				1985	1030.7	114.2	1144.9
				1986	1184.5	35.9	1220.4
				1987	818.3	47.2	865.5
				1988	854.3	36.5	890.8
				1989	272.7	89.1	361.8
				1990	1121.4	91.7	1213.1
Promedio					921.18	69.55	990.73

Fuente: Elaboración propia con base en SMN (2015).

Los eventos de precipitación se dividieron en cinco intervalos (Figura 18), tomados del Semáforo de Alerta de Lluvias del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX). Estos intervalos son cerrados (incluyendo los decimales del número que cierra) los cuales son:

- 1) de 0 a 5 mm (incluye, por tanto, los días sin precipitación)
- 2) 6 - 15 mm

3) 16 - 30 mm

4) 31 - 50 mm

5) mayores a 50 mm

El intervalo 50 ya se considera como evento de precipitación intensa.

Se consideró el semáforo del SACMEX como una referencia para poder generalizar la climatología en toda la Corona Regional (tomando a la Ciudad de México como parámetro por su importancia), únicamente como comparación en la cantidad de milímetros que precipitan y el número de días en que estos eventos suceden. Otro tipo de estudios podría incluir regiones más específicas utilizando todos los años disponibles de datos y trabajar con deciles tomando los valores extremos, pero este es otro tipo de comparación. Este tipo de análisis se podría realizar en estudios posteriores.

Precipitación en mm	Intensidad
0 - 5	Muy baja o ligera
6 - 15	Baja/Ligera-Regular
16 - 30	Media/Regular-Fuerte
31 - 50	Alta/Lluvias fuertes a tormentas
>50	Muy Alta/Tormenta intensa o Torrencial

Figura 18: Semáforo de Alerta de Lluvias SACMEX

Fuente: (Luyando, 2016)

Con ayuda de la Tabla 2 y la herramienta de Excel “contar sí” se realizó un conteo del número de eventos de precipitación de cada día durante todos los años con cada una de las estaciones. Posteriormente se sumaron todos los eventos de

precipitación de cada año para tener un total del número de eventos por intervalos y el número de eventos totales (Tabla 4).

Tabla 4. Ejemplo de ordenamiento de los eventos de precipitación por intervalos.

Estación	Intervalos de Eventos de Precipitación					
	< 5 mm	6 - 15 mm	16 - 30 mm	31 - 50 mm	> 50	
9020	30	1	0	0	0	
	28	0	0	0	0	
	30	1	0	0	0	
	27	1	1	1	0	
	28	1	0	1	1	
	18	8	3	0	0	
	16	5	6	3	0	
	20	5	0	5	0	
	23	3	3	0	1	
	29	1	1	0	0	
	28	1	1	0	0	
	29	2	0	0	0	
Total	306	29	15	10	2	362

Fuente: Elaboración propia con base en SMN (2015).

Los resultados que se obtuvieron de cada estación fueron:

- El porcentaje de eventos por intervalos y el número de años con datos por cada estación del periodo 1961-1990 para una vista rápida de las características de los eventos, mostrándose la Tabla 5 como un ejemplo representativo;
- El número de eventos totales por intervalos por cada estación en todo el periodo considerado (Tabla 6);
- El promedio anual expresado en el número de días al año en que suceden los eventos de precipitación por cada estación (Tabla 7).

Al final todos los datos de la Tabla 7 se agruparon por estado en una tabla para realizar la zonificación de la precipitación.

..

Tabla 5. Ejemplo de resultados por porcentaje de eventos por intervalo y número de años con datos.

Nombre de la estación	0 a 5 mm	6 a 15 mm	16 a 30 mm	31 a 50 mm	> 50 mm	%	No. de años
Desviación alta al Pedregal	84	10	4	1	1	100	30
El Guarda Cuernavaca	81	11	6	1	1	100	30
Km 6 250 GC	89	7	2	1	1	100	30
Milpa alta	88	8	3	1	1	100	30
San Fco Tlalnep Xoch	83	10	4	1	1	100	30
Col. SJ de Aragón	89	6	3	1	1	100	29

Fuente: Elaboración propia con base en SMN (2015).

Tabla 6. Ejemplo de número de eventos totales en todo el periodo considerado. Resultados por intervalo en cada estación.

Estación	Nombre de la estación	0 a 5 mm	6 a 15 mm	16 a 30 mm	31 a 50 mm	> 50 mm
9020	Desviación alta al Pedregal	8617	1036	428	114	100
9022	El Guarda Cuernavaca	8260	1131	592	150	86
9029	Km 6 250 GC	9312	689	256	78	116
9032	Milpa alta	8810	791	287	58	117
9041	San Fco Tlalnep Xoch	8481	1065	424	112	105
9043	Col. SJ de Aragón	9365	674	270	79	120

Fuente: Elaboración propia con base en SMN (2015).

Tabla 7. Ejemplo de promedio anual de días de eventos de precipitación. Periodo 1961-1990.

Estación	Nombre de la estación	0 a 5 mm	6 a 15 mm	16 a 30 mm	31 a 50 mm	> 50 mm	Total de días
9020	Desviación alta al Pedregal	287	35	14	4	3	343
9022	El Guarda Cuernavaca	275	38	20	5	3	341
9029	Km 6 250 GC	310	23	9	3	4	348
9032	Milpa alta	294	26	10	2	4	335
9041	San Fco Tlalnep Xoch	283	36	14	4	4	340
9043	Col. SJ de Aragón	323	23	9	3	4	362

Fuente: Elaboración propia con base en SMN (2015).

La representación gráfica de las zonas de precipitación de la Corona Regional del Centro de México se realizó mediante la utilización del programa Arc GIS 10.4. Para la elaboración de las zonas de precipitación se descargó de CONABIO (2015) un archivo *shape* con los estados de la República Mexicana y se crea el polígono de la zona de estudio que abarca a la Corona Regional del Centro de México.

Posteriormente, se descargó un archivo *shape* de CONABIO (2008e) con las estaciones climáticas de todo el país, con el fin de poder obtener las coordenadas de cada estación y desplegarlas en la Corona Regional. Con la herramienta de Arc GIS “unión” se unen por medio de la clave ID todas las estaciones que se encontraba en el Excel (Tabla 1) con el *shape* de estaciones climáticas de todo el país. Una vez realizada la unión se seleccionan las claves de las estaciones que se utilizaron para la Corona Regional y se desechan las demás.

Al obtener este nuevo *shape* con las estaciones climáticas que se usaron en el presente trabajo ya georreferenciadas, se introdujeron todos los datos de los intervalos de precipitación y de precipitación por temporada para hacer las interpolaciones con la herramienta de Arc GIS Ponderación de Distancia Inversa “IDW” (por sus siglas en inglés).

Se utilizó este método porque “estima los valores de las celdas calculando promedios de los valores de los puntos de muestra en la vecindad de cada celda de procesamiento. Cuanto más cerca está un punto del centro de la celda que se está estimando, más influencia o peso tiene en el proceso del cálculo promedio” (ESRI, 2019).

De esta forma se obtuvieron los mapas donde se muestran las zonas de lluvias dependiendo de dicho intervalo. Asimismo, se obtuvieron los mapas de precipitación de la temporada de lluvias, la temporada de secas y de la precipitación promedio anual.

Los resultados obtenidos de manera estadística, fueron representados gráficamente en mapas, los cuales son el producto final de la presente tesis. Además, el modo en el que se expresaron los datos, es decir en el número de días por intervalo de precipitación, significa una forma diferente de presentar los eventos de lluvia. Con esto se busca apoyar en futuros trabajos o investigaciones sobre lluvias en el centro de México.

3.2 Resultados

Los resultados obtenidos del procesamiento de los datos de precipitación para las estaciones climáticas consideradas en la Corona Regional están expresados en las siguientes Tablas.

Tabla 8. Resultados del procesamiento de los datos de precipitación según intervalos. Periodo 1961-1990. Ciudad de México.

N° Estación	Nombre de la Estación	Régimen de lluvia en porcentaje y mm		Total anual mm	Promedio de N° de días al año con diferentes intervalos de precipitación					Total de días al año
		Verano	Invierno		0 a 5 mm	6 a 15 mm	16 a 30 mm	31 a 50 mm	> 50 mm	
9020	Desviación alta al Pedregal	93 % 921.2	7 % 69.5	990.7	287	35	14	4	3	343
9022	El Guarda Cuernavaca	90 % 1064.9	10 % 118.2	1183.1	275	38	20	5	3	341
9029	Km 6 250 GC	89 % 518.9	11 % 64.1	583.0	310	23	9	3	4	348
9032	Milpa alta	88 % 599.4	12 % 75.0	674.4	294	26	10	2	4	335
9041	San Fco Tlalnep Xoch	90 % 797.4	10 % 80.5	877.9	283	36	14	4	4	340
9043	Col. SJ de Aragón	88 % 525.0	12 % 65.7	590.7	323	23	9	3	4	362

Fuente: Elaboración propia con base en SMN (2015).

Tabla 9. Resultados del procesamiento de los datos de precipitación según intervalos. Periodo 1961-1990. Hidalgo.

N° Estación	Nombre de la Estación	Régimen de lluvia en porcentaje y mm		Total anual mm	Promedio de N° de días al año con diferentes intervalos de precipitación					Total de días al año
		Verano	Invierno		0 a 5 mm	6 a 15 mm	16 a 30 mm	31 a 50 mm	> 50 mm	
13006	Ciudad Sahagun	81 % 404.7	19 % 89.8	494.5	288	20	6	3	3	320
13008	El Manantial, Tizayuca	84 % 427.7	16 % 80.9	508.6	297	20	7	3	4	331
13021	Orizatlan, Orizatlan	72 % 1389.8	28 % 519.5	1909.3	264	23	20	9	12	328
13025	Progreso, Progreso	82 % 328.9	18 % 70.6	399.4	222	11	5	2	2	243
13029	San Lorenzo Zayula	82 % 508.2	18 % 106.1	614.3	316	24	9	3	4	356
13033	Singuilucan, Singuilucan	81 % 458.3	19 % 106.8	565.1	317	23	8	3	5	356
13042	Zacualtipan (SMN)	81 % 1068.8	19 % 245.1	1313.9	262	30	14	7	5	318
13069	El Mezquital Km 150	80 % 282.1	20 % 68.0	350.0	318	14	6	3	3	343
13075	Jasso, Tula de Allende	86 % 481.5	14 % 73.6	555.1	294	19	9	3	4	328

N° Estación	Nombre de la Estación	Régimen de lluvia en porcentaje y mm		Total anual mm	Promedio de N° de días al año con diferentes intervalos de precipitación					Total de días al año
		Verano	Invierno		0 a 5 mm	6 a 15 mm	16 a 30 mm	31 a 50 mm	> 50 mm	
13083	Presa Madero, Huichapan	84 % 425.2	16 % 75.3	500.5	309	19	8	3	3	342

Fuente: Elaboración propia con base en SMN (2015).

Tabla 10. Resultados del procesamiento de los datos de precipitación según intervalos. Periodo 1961-1990. Estado de México.

N° Estación	Nombre de la Estación	Régimen de lluvia en porcentaje y mm		Total anual mm	Promedio de N° de días al año con diferentes intervalos de precipitación					Total de días al año
		Verano	Invierno		0 a 5 mm	6 a 15 mm	16 a 30 mm	31 a 50 mm	> 50 mm	
15008	Atenco, Texcoco	87 % 497.1	13 % 70.0	567.0	315	24	8	2	4	353
15010	Atotonilco, A. de Juárez	88 % 747.8	12 % 96.1	844.0	303	35	12	3	4	357
15011	Atarasquillo, Lerma	86 % 727.9	14 % 85.6	837.8	284	37	13	3	3	339
15013	Calacoaya, Tlanepantla	90 % 699.7	10 % 69.5	769.3	314	29	12	4	4	361
15016	Coatepec Harinas	91 % 958.9	9 % 91.1	1050.1	277	36	17	5	3	338
15017	Coatepec de los Olivos	87 % 559.6	13 % 82.9	642.5	320	27	9	3	5	363
15018	Col. Ávila Camacho	85 % 637.3	15 % 111.7	748.9	311	29	10	3	5	359
15020	Chalco, Chalco	90 % 527.5	10 % 65.0	592.6	304	25	8	2	4	343
15024	Presa Danxho, Jilotepec	89 % 779.9	11 % 94.1	874.1	298	31	12	4	4	350
15025	Ejido Llano Grande	89 % 779.5	11 % 89.0	868.5	275	32	14	3	3	327
15026	Enyegue, Ixtlahuaca	87 % 664.6	13 % 94.3	758.9	312	34	11	3	4	363
15028	El Tajo, Tequisquiác	87 % 598.0	13 % 86.8	684.7	306	25	10	4	4	349
15030	Hacienda de la Y	87 % 702.2	13 % 96.4	798.7	278	34	11	3	3	329
15032	Huehuetoca, Huehuetoca	88 % 559.8	12 % 73.6	633.4	320	24	10	3	4	361
15037	Jiquipilco, Jiquipilco	90 % 806.1	10 % 86.7	892.8	250	35	14	3	3	305
15038	Joquicingo	91 % 959.6	9 % 90.2	1049.9	253	38	15	3	2	312
15041	Km 27+250 GC	88 % 539.8	12 % 69.8	609.6	324	23	10	3	4	363
15044	La Grande, Tescoco	87 % 525.6	13 % 75.0	600.5	319	25	9	3	4	360
15049	Lerma, Lerma	89 % 746.8	11 % 86.7	833.5	283	33	13	3	3	335
15051	Los Velázquez, Almoloya	89 % 746.1	11 % 88.0	834.1	285	35	13	3	3	338

N° Estación	Nombre de la Estación	Régimen de lluvia en porcentaje y mm		Total anual mm	Promedio de N° de días al año con diferentes intervalos de precipitación					Total de días al año
		Verano	Invierno		0 a 5 mm	6 a 15 mm	16 a 30 mm	31 a 50 mm	> 50 mm	
15057	Mimiapan, Xonacatlán	87 % 901.6	13 % 123.6	1025.2	286	42	17	4	3	351
15059	Molino Blanco, Naucalpan	91 % 743.6	9 % 68.3	811.9	309	26	12	4	4	355
15063	Nva Santa Elena V. Colón	87 % 748.6	13 % 105.8	854.5	304	38	13	3	4	361
15064	Oxthoc, Jilotepec	86 % 625.5	14 % 94.1	719.6	312	25	12	4	5	358
15065	Otumba, Otumba	81 % 426.2	19 % 96.9	523.1	300	21	8	2	4	336
15066	Palizada, Villa Victoria	90 % 819.9	10 % 86.9	906.8	256	36	12	3	2	309
15069	Polotitlán, Polotitlán	87 % 607.2	13 % 87.8	694.9	294	21	11	4	4	334
15071	Presa El tigre	88 % 719.9	12 % 92.8	812.7	297	31	14	3	4	349
15073	Presa Guadalupe	90 % 635.1	10 % 67.8	702.9	293	25	11	3	4	335
15074	Presa La Concepción	90 % 608.4	10 % 67.3	675.7	302	27	9	2	4	345
15076	Presa Tepetitlán	89 % 707.5	11 % 86.9	794.5	295	32	12	3	4	346
15078	Presa Fco. Trinidad	88 % 677.7	12 % 91.4	769.1	288	29	12	3	4	336
15081	Represa Alemán A. Tepotz	88 % 563.0	12 % 72.1	635.1	305	25	9	3	4	346
15083	San Andrés, Texc	87 % 495.6	13 % 68.2	563.8	312	24	7	3	4	350
15085	San Bartolo del Llano	87 % 668.3	13 % 91.9	760.2	273	29	10	2	4	319
15086	San Bernabé, Temoaya	87 % 705.3	13 % 97.3	802.6	265	30	9	3	4	311
15089	San Fco. Tlalcilcalpa	87 % 649.4	13 % 92.1	741.5	278	30	9	3	4	324
15090	S. Jerónimo Xonacahuacán	85 % 519.9	15 % 87.3	607.1	299	21	9	3	4	336
15094	San Luis Ameca, Tenango	88 % 578.7	12 % 73.4	652.0	291	25	9	2	4	332
15095	San Luis Ayucan	89 % 1051.1	11 % 123.9	1175.0	280	39	18	6	3	345
15099	San Mateo Acuitlapilco	85 % 517.8	15 % 88.2	606.1	282	23	9	3	4	321
15114	Santiago, Tlazala	89 % 1088.5	11 % 127.2	1215.8	290	37	19	7	4	355
15115	Santo Tomas Teoloyuca	86 % 521.7	14 % 82.8	604.5	281	23	8	3	4	319
15117	Temascalcingo	90 % 698.4	10 % 72.6	771.0	270	28	12	3	3	317
15119	Temoaya, Temoaya	88 % 829.7	12 % 108.8	938.5	268	37	12	3	4	323
15122	Tenago del Valle	88 % 674.1	12 % 87.6	761.7	255	31	9	2	3	300

N° Estación	Nombre de la Estación	Régimen de lluvia en porcentaje y mm		Total anual mm	Promedio de N° de días al año con diferentes intervalos de precipitación					Total de días al año
		Verano	Invierno		0 a 5 mm	6 a 15 mm	16 a 30 mm	31 a 50 mm	> 50 mm	
15124	Tepexpan, Acolman	87 % 506.5	13 % 71.4	577.9	297	22	8	3	3	333
15127	Totolica (San Bartolo)	92% 768.4	8 % 66.2	834.6	302	28	13	3	3	350
15128	Tultenango, El Oro	91 % 714.4	9 % 67.0	781.3	250	28	12	2	3	294
15129	Tultepec, Tultepec	88 % 553.3	12 % 71.9	625.1	278	20	9	3	3	313
15167	El Tejocote (Texcoco)	88 % 492.5	12 % 64.5	557.0	265	21	6	2	3	298
15170	Chapingo (Texcoco)	87 % 532.0	13 % 75.2	607.2	311	26	9	2	4	352

Fuente: Elaboración propia con base en SMN (2015).

Tabla 11. Resultados del procesamiento de los datos de precipitación según intervalos. Periodo 1961-1990. Morelos.

N° Estación	Nombre de la Estación	Régimen de lluvia en porcentaje y mm		Total anual mm	Promedio de N° de días al año con diferentes intervalos de precipitación					Total de días al año
		Verano	Invierno		0 a 5 mm	6 a 15 mm	16 a 30 mm	31 a 50 mm	> 50 mm	
17002	Cuernavaca A.Col.Emplea	95 % 1188.4	5 % 58.2	1246.5	227	22	15	6	3	273
17003	Cuautla, Cuautla	94 % 774.2	6 % 44.9	819.1	238	20	9	4	3	274
17004	Cuernavaca , Cuernavaca	95 % 1102.0	5 % 54.2	1156.1	250	23	16	6	3	299
17005	Cuautla, Cuautla	94 % 836.5	6 % 44.8	881.3	262	22	11	4	3	302
17014	Temixco, Temixco	95 % 842.0	5 % 43.2	885.1	187	16	9	3	2	217
17018	Ticuman, Atlaltizapan	95 % 813.6	5 % 39.1	852.7	188	16	8	3	3	218
17020	Tlacotepec, Zacualpan	93 % 913.4	7 % 61.1	974.6	249	25	13	5	3	295
17021	Tlacualera, Tlacualera	91 % 785.9	9 % 70.8	856.7	210	19	13	4	3	248
17022	Tres cumbres, Huitzilac	93 % 1527.7	7 % 97.5	1625.2	247	39	26	7	5	324
17024	Yautepec, Yautepec	95 % 850.1	5 % 42.3	892.4	175	15	8	3	2	203
17026	Zacatepec	95 % 805.4	5 % 41.9	847.3	263	20	11	4	3	301
17033	Xicatlacotla	95 % 748.9	5 % 36.6	785.5	192	15	7	3	2	219
17047	Huitzilac, Huitzilac	95 % 1326.4	5 % 110.7	1392.9	236	28	19	8	4	295

Fuente: Elaboración propia con base en SMN (2015).

Tabla 12. Resultados del procesamiento de los datos de precipitación según intervalos. Periodo 1961-1990. Puebla.

N° Estación	Nombre de la Estación	Régimen de lluvia en porcentaje y mm		Total anual mm	Promedio de N° de días al año con diferentes intervalos de precipitación					Total de días al año
		Verano	Invierno		0 a 5 mm	6 a 15 mm	16 a 30 mm	31 a 50 mm	> 50 mm	
21005	Acatzingo de Hidalgo	86 % 535.3	14 % 84.5	619.8	255	17	9	3	3	288
21007	Ahuatepec	92 % 546.0	8 % 63.0	590.1	254	20	9	3	3	289
21008	Aquixtla, Aquixtla CFE	84 % 586.5	16 % 107.8	694.3	315	27	10	3	5	360
21011	Tetelil 3A-A. Atexcac 6	76 % 2776.1	24 % 863.3	3639.4	224	49	29	17	20	339
21014	Ayotoxco, Ayotoxco CFE	69 % 1478.2	31 % 646.9	2125.1	269	37	26	13	12	357
21015	Axutla, Axutla	92 % 682.1	8 % 54.0	736.0	190	12	7	3	3	215
21016	Balcon Diablo A. Texaluca	90 % 638.6	10 % 68.0	706.6	253	20	9	3	3	289
21018	Calipan, Coaxcatlan	90 % 332.1	10 % 33.0	365.2	221	12	4	2	2	241
21019	Caltepec, Caltepec	89 % 322.0	11 % 39.1	361.0	199	8	5	2	1	215
21021	Capuluaque	83 % 748.9	17 % 149.1	898.0	313	26	13	5	5	363
21025	Chilchotla, Chilchotla	80 % 1254.1	20 % 295.3	1549.3	259	47	22	8	6	341
21026	Ciudad Serdan SMN	90 % 674.6	10 % 91.9	744.0	270	34	11	3	3	320
21034	Echeverria Puebla	91 % 812.2	9 % 72.3	884.5	267	25	12	5	3	311
21035	Puebla 21 Poniente 113 A	92 % 841.9	8 % 70.0	912.0	298	27	15	5	4	349
21040	Guadalupe Buenavista	79 % 253.7	21 % 63.3	317.0	307	15	5	2	2	331
21043	Huahuaxtla, Xochitan	75 % 1472.5	25 % 487.3	1959.8	280	38	19	8	12	357
21046	Huejotzingo, Hujotzingo	92 % 712.9	8 % 62.3	775.1	225	21	11	3	3	262
21047	Ixtacamaxtitlan	82 % 467.2	18 % 99.1	566.2	324	24	9	3	4	364
21048	Ixcamilpa	97 % 725.1	3 % 44.3	745.2	223	16	9	3	3	254
21051	Jopala, Jopala	78 % 2527.0	22 % 699.0	3226.0	253	38	26	17	20	354
21052	Alchichica (Laguna)	81 % 322.7	19 % 72.6	395.3	320	17	6	3	3	348
21053	Lagunas, Vicente Guerrero	83 % 577.1	17 % 112.5	689.6	291	26	8	3	4	333
21054	La Fundición (Aire Libre)	79 % 1782.0	21 % 472.3	2254.3	274	37	22	11	12	356
21055	La Pagoda	76 % 2109.4	24 % 665.0	2774.4	262	43	23	13	15	356
21056	La trinidad, Cilchotla	85 % 786.3	15 % 135.9	922.2	268	32	13	3	4	320

N° Estación	Nombre de la Estación	Régimen de lluvia en porcentaje y mm		Total anual mm	Promedio de N° de días al año con diferentes intervalos de precipitación					Total de días al año
		Verano	Invierno		0 a 5 mm	6 a 15 mm	16 a 30 mm	31 a 50 mm	> 50 mm	
21063	Piaxtla, Piaxtla	93 % 985.1	7 % 73.5	1058.6	222	14	11	4	4	255
21064	Presa la Soledad CFE	81 % 2760.4	19 % 635.6	3396.0	241	39	27	18	18	343
21066	Pueblo Nuevo CFE	82 % 681.4	18 % 147.9	829.3	266	26	14	2	4	312
21067	Quimixtlan, Quimixtlan	84 % 1363.7	16 % 242.7	1606.5	254	43	21	9	5	332
21069	S. Antonio Arroyo Prieto	82 % 790.8	18 % 164.3	955.1	288	35	16	4	5	347
21074	San Juan Acateno	81 % 1881.6	19 % 415.0	2296.6	271	39	24	13	12	359
21077	San Luis Atexcac	80 % 390.4	20 % 92.3	482.7	280	19	7	2	3	312
21082	Tecamachalco	85 % 465.8	15 % 76.6	542.4	246	14	7	3	3	273
21083	Tehuacan, Tehuacan	90 % 370.0	10 % 40.1	410.1	245	10	5	3	2	265
21084	Telpatlan, V. Guerrero	87 % 865.0	13 % 154.8	986.5	276	34	14	4	4	331
21096	Santa Rita Tlahuapan	97 % 727.5	3 % 77.7	749.2	237	28	10	2	3	281
21103	Zacapoxtla, Zacapoxtla	76 % 1001.1	24 % 306.8	1307.9	288	30	13	6	8	346
21111	Santiago Zaula, Zaula	83 % 456.5	17 % 88.6	545.1	326	21	8	3	4	362
21114	Zoquitlan, Zoquitlan	89 % 1399.3	11 % 221.1	1566.6	217	35	24	6	5	287
21118	Huachinango	83 % 1624.2	17 % 317.6	1941.9	259	39	25	12	9	344
21126	Loma Alta, Chignahuapan	87 % 495.8	13 % 85.2	564.4	279	21	8	3	3	315
21127	Xicotepec de Juarez	86 % 2612.8	14 % 410.7	3023.5	232	31	28	17	17	324

Fuente: Elaboración propia con base en SMN (2015).

Tabla 13. Resultados del procesamiento de los datos de precipitación según intervalos. Periodo 1961-1990. Tlaxcala.

N° Estación	Nombre de la Estación	Régimen de lluvia en porcentaje y mm		Total anual mm	Promedio de N° de días al año con diferentes intervalos de precipitación					Total de días al año
		Verano	Invierno		0 a 5 mm	6 a 15 mm	16 a 30 mm	31 a 50 mm	> 50 mm	
29002	Apizaco, Apizaco	88 % 689.7	12 % 90.9	780.6	320	27	11	3	4	365
29003	Atlanga San Jose	87 % 572.2	13 % 83.1	655.3	304	28	8	3	4	347
29005	Cuapixtla, Cuapixtla	85 % 500.7	15 % 84.4	585.1	319	22	9	3	4	357
29010	Hueyotlipan, Hueyotlipan	89 % 723.7	11 % 86.8	810.4	305	31	13	3	4	355

N° Estación	Nombre de la Estación	Régimen de lluvia en porcentaje y mm		Total anual mm	Promedio de N° de días al año con diferentes intervalos de precipitación					Total de días al año
		Verano	Invierno		0 a 5 mm	6 a 15 mm	16 a 30 mm	31 a 50 mm	> 50 mm	
29011	Humantla, Humantla	85 % 474.3	15 % 81.4	555.7	323	21	9	3	4	359
29012	La gloria, Taxco (CFE)	85 % 677.4	15 % 115.2	792.6	307	30	12	3	4	357
29023	San Cristobal	85 % 580.2	15 % 94.7	675.0	313	27	10	3	4	357
29030	Tlaxcala de Xicohtencatl	91 % 741.2	9 % 65.4	806.6	308	29	13	3	4	356
29032	Tlaxco, Tlaxco	86 % 528.7	14 % 81.7	610.4	318	26	8	3	4	359
29035	Calpulalpan, Calpulalpan	84 % 456.0	16 % 82.0	538.0	323	22	8	3	3	359

Fuente: Elaboración propia con base en SMN (2015).

Las Tablas 8 a 13 muestran los resultados de cada una de las 132 estaciones que se utilizaron para realizar el estudio de la zona. Se obtuvo el régimen de lluvia invernal (noviembre-abril) y de verano (mayo-octubre) confirmando el régimen de precipitación ya conocido de la zona (de tipo monzónico), el cual se muestra en las Figuras 13, 14 y 15. De esta información también se pudo generar una zonificación de la precipitación dependiendo de los diferentes intervalos tomando como base el Semáforo de Alerta de Lluvias del SACMEX. El resultado principal muestra dónde hay mayor o menor precipitación y la forma en la que se presenta a lo largo del año, tomando en cuenta el número de días según su intensidad, lo que se puede apreciar mejor en los siguientes mapas de intervalos.

Eventos de precipitación menores a 5 mm por día.

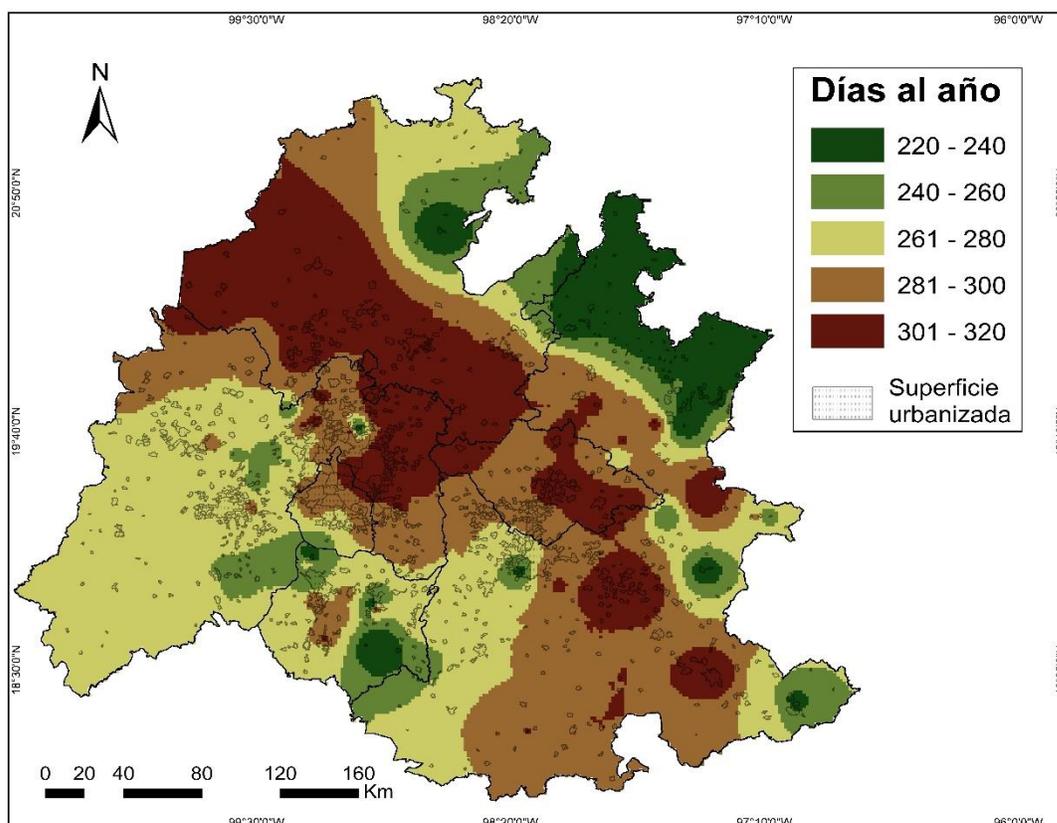


Figura 19. Eventos de precipitación menores a 5 mm por día en la Corona Regional. Periodo 1961-1990

Fuente: Elaboración propia con base en SMN (2015)

En este mapa se observan los eventos menores a 5 mm/día de la zona de estudio. El color café oscuro (301-320 días al año) representa la zona más seca porque tiene el mayor número de días con menor cantidad de lluvia, lo que significa que son lluvias escasas todo el año. Abarca principalmente el centro y parte del sur de Hidalgo, una parte del noreste del Estado de México, una porción del oeste de Tlaxcala y noreste de la Ciudad de México en los límites con los municipios de Nezahualcóyotl y Ecatepec de Morelos, aunque también se encuentra en algunos lugares al centro y sureste de Puebla como en Tehuacán.

La zona que representa la menor cantidad de eventos con precipitación inferior a 5 mm/día, es la zona donde se presentan más precipitaciones en la Corona Regional.

Abarca el norte y noreste de Puebla, una pequeña zona al noreste de Hidalgo, algunas pequeñas zonas al sur de Morelos y al sur de la Ciudad de México en los límites con Morelos y el Estado de México. Estas zonas tienen menor cantidad de días con precipitación, entre 220 y 240 días al año, que es poco más de la mitad del año.

Eventos de precipitación entre los 6 y 15 mm por día.

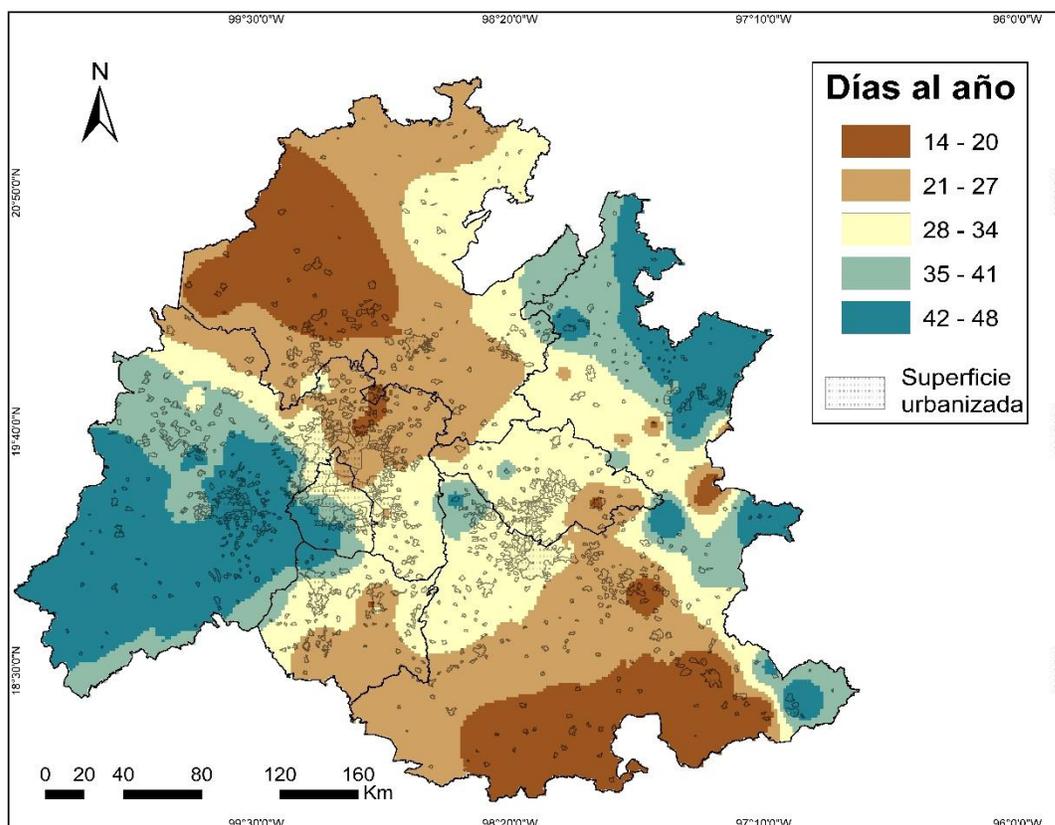


Figura 20. Eventos de precipitación entre los a 6 y los 15 mm por día en la Corona Regional. Periodo 1961-1990

Fuente: Elaboración propia con base en SMN (2015)

Los eventos de precipitación que se muestran en la Figura 20 van de los 6 a los 15 mm/día. Sin embargo, siguen siendo precipitaciones moderadas a ligeras.

Las zonas más secas y de menor cantidad de días al año con eventos de precipitación en este intervalo, se concentran principalmente en los siguientes estados: al oeste y noroeste de Hidalgo y al sur de Puebla. También algunas

pequeñas zonas al centro de Puebla y al noreste del Estado de México en los límites con Hidalgo.

Las zonas que presentan entre 42 y 48 días al año con este intervalo son aquellas con una mayor humedad. Se localizan al noreste de Puebla, en casi todo el centro y suroeste del Estado de México. Algunas pequeñas zonas al este, centro norte y sureste de Puebla y una muy pequeña cerca de los límites del Estado de México, Puebla y Tlaxcala, que es donde se encuentran los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl.

En la Figura 20, el color amarillo claro indica la zona intermedia que divide de forma muy marcada la diferencia en los eventos de lluvia. Su periodo va de los 28 a los 34 días con lluvia.

Eventos de precipitación entre los 16 y 30 mm por día.

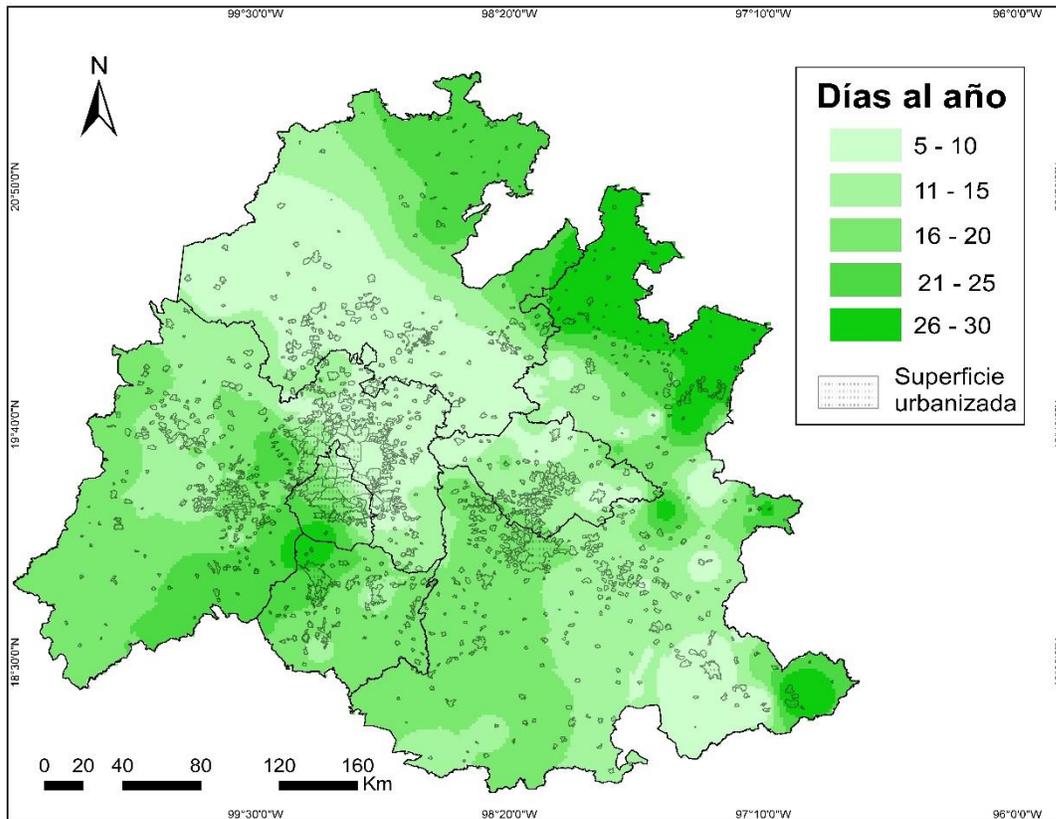


Figura 21. Eventos de precipitación entre los a 16 y los 30 mm por día en la Corona Regional. Periodo 1961-1990.

Fuente: Elaboración propia con base en SMN (2015)

El intervalo entre 16 y 30 mm/día se considera una cantidad de agua precipitada con capacidad de ocasionar desastres. Ejemplo de este potencial de desastre se pueden encontrar en la base de datos del Sistema de Inventario de Efectos de Desastres (DESINVENTAR) y para mayor precisión en los ejemplos que se darán en el apartado 3.3 de esta tesis.

Las zonas con una precipitación de 16 a 30 mm entre 5 y 10 días al año, se encuentran en el centro y sur del estado de Hidalgo, al noreste del Estado de México y algunas pequeñas zonas del norte y oeste de Tlaxcala. También se observan otras pequeñas zonas al sur y centro de Puebla y al sureste de Tlaxcala.

Las principales zonas que tienen de 26 a 30 días con la mayor cantidad de eventos de precipitación en este intervalo, se encuentra al norte, al centro y sureste del

estado de Puebla. Además de otra zona que está en los límites de la Ciudad de México, Morelos y el Estado de México, los cuales son lugares con lluvia muy abundante.

En la Ciudad de México, se encuentran las cinco zonas con el número de días con eventos de lluvias, que van desde los 5 a los 30 días. Es decir, si hacemos una línea recta que cruce en diagonal noreste-suroeste a la Ciudad de México, desde los límites del municipio Nezahualcóyotl hasta el Ajusco, veremos una variación de las 5 zonas con eventos de lluvias que se presentaron anteriormente en la Figura 21.

En la primera zona se muestra que, en las orillas de la parte noreste de la Ciudad de México, en la Gustavo A. Madero, los municipios de Ecatepec de Morelos y Nezahualcóyotl, hay de 5 a 10 días con eventos de lluvias con esa intensidad. La segunda zona que va de los 11 a los 15 días se localiza en una línea diagonal noroeste-sureste. Abarca las alcaldías de Azcapotzalco, Cuauhtémoc, Iztacalco, Iztapalapa, Venustiano Carranza y Tláhuac. La tercera zona va de los 16 a los 20 días y se sitúa en una diagonal que cruza el centro de la ciudad. Ésta pasa por Miguel Hidalgo, Benito Juárez, Álvaro Obregón, Coyoacán, Xochimilco y Milpa Alta. La cuarta zona va de los 21 a los 25 días y es una franja en diagonal que cruza del oeste hacia el sureste de la ciudad e incluye a Cuajimalpa de Morelos, el sur de Álvaro Obregón, Magdalena Contreras, el norte de Tlalpan, el sur de Xochimilco y el oeste y sur de Milpa Alta. La quinta zona va de los 26 a los 30 días y solo contiene al sur de Tlalpan y Magdalena Contreras. Esta descripción más detallada se debe a la mayor densidad de estaciones dentro de la zona.

Eventos de precipitación entre los 31 y 50 mm por día.

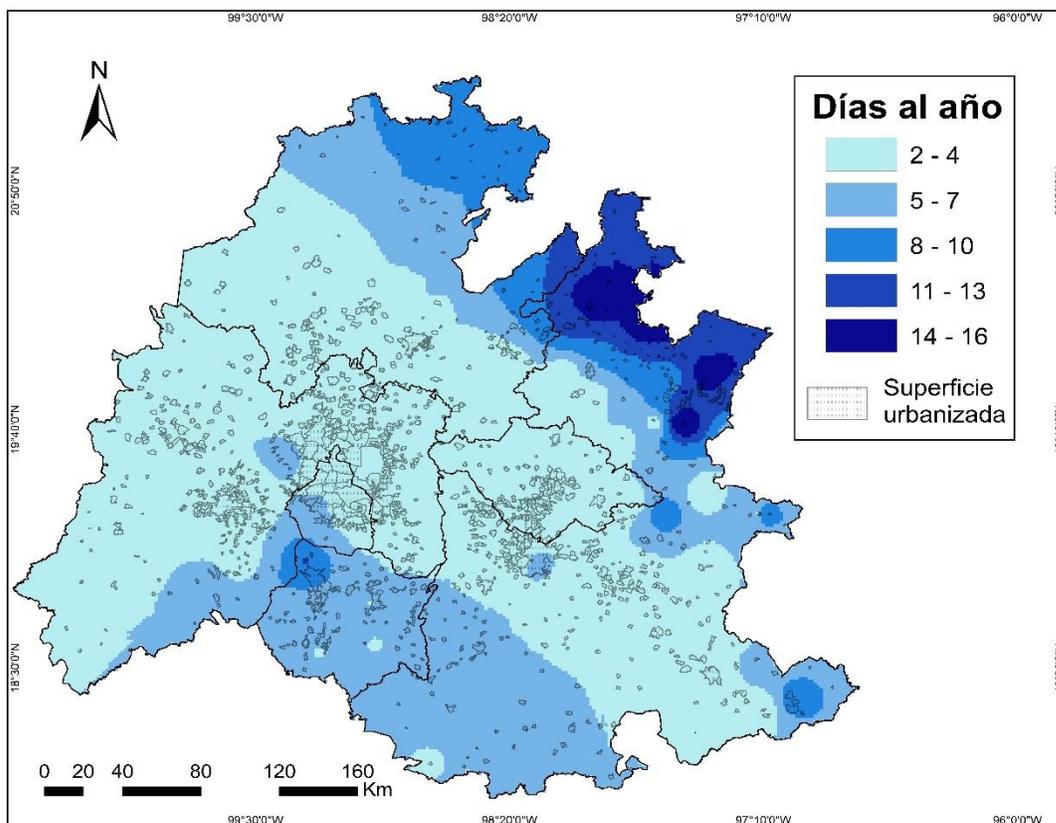


Figura 22. Eventos de precipitación entre los a 31 y los 50 mm por día en la Corona Regional. Periodo 1961-1990

Fuente: Elaboración propia con base en SMN (2015)

Los eventos de 31 a 50 mm/día son considerados como lluvias fuertes. La zona con menor cantidad de días con eventos de lluvias fuertes que va de 2 a 4 días al año, abarca una franja noroeste-sureste que cruza toda la Corona Regional. Incluye al centro y sur de Hidalgo, casi todo el Estado de México con excepción del sureste, todo Tlaxcala, poco más de la mitad del norte, centro y sureste de la Ciudad de México y la zona centro y sureste de Puebla.

Las tres zonas con mayor cantidad de días con eventos de lluvias fuertes al año se encuentran al norte y noreste de la Corona Regional en el estado de Puebla. Este intervalo de precipitación ocurre entre 14 a 16 días al año. Éstas pueden tener su origen en los vientos alisios que entran por el Golfo de México cruzando Veracruz y al llegar a Puebla, en un efecto orográfico, descargan toda su humedad.

Con respecto a la Ciudad de México se observa una división de casi la mitad de la ciudad en una línea que comienza recta por el oeste y se hace diagonal hacia el sureste. Divide a la ciudad en dos zonas con eventos de lluvias fuertes: la zona norte, con 2 a 4 días; y la zona oeste y sur de 5 a 7 días. Debido a la mayor densidad de estaciones, se tiene más confiabilidad del comportamiento de la precipitación en esta zona.

Eventos de precipitación mayores a 50 mm por día.

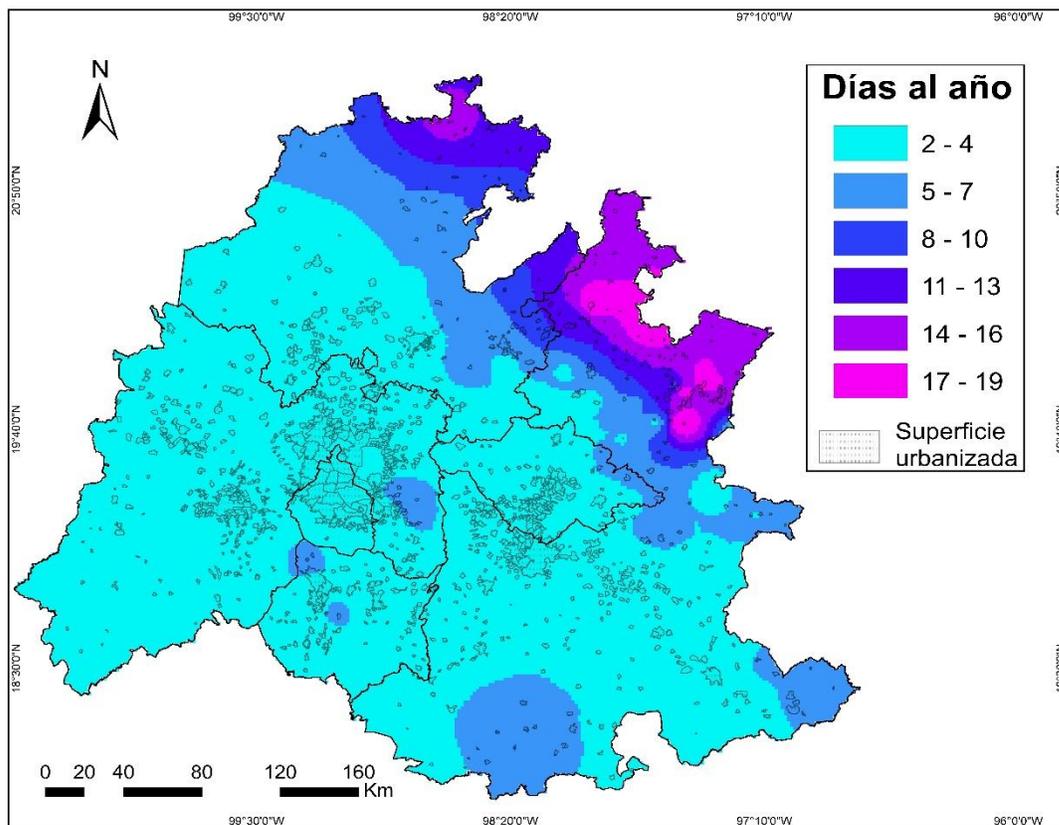


Figura 23. Eventos de precipitación mayores a 50 mm por día en la Corona Regional. Periodo 1961-1990

Fuente: Elaboración propia con base en SMN (2015)

La Figura 23 muestra los eventos con precipitación mayor a 50 mm/día los cuales se consideran como lluvias intensas. La zona que presenta de 2 a 4 días al año con eventos de lluvias intensas abarca a casi toda la Corona Regional siendo casi tres cuartas partes de ella. Incluye a toda la Ciudad de México, casi todo Tlaxcala,

Morelos, Estado de México, el centro y sur de Hidalgo y al centro y una parte del sur de Puebla.

Al igual que en la Figura 22 sólo hay tres zonas con mayor cantidad de días con precipitación intensa al año que van de 17 a 20 días. Las zonas se ubican al norte y noreste de Puebla.

Se muestra en forma de franjas escalonadas noroeste-sureste cruzando por el estado de Hidalgo y Puebla. Las zonas van de los climas secos en el centro de la Corona, pasando por los templados, y llegando a los cálidos que están principalmente en el norte y noreste de la Corona Regional.

La ocurrencia de estos eventos mayores a 50 mm/día tiene un alto potencial de desastre ya que pone en riesgo a una parte importante de la población. Los desastres que se pueden manifestar por una lluvia intensa son los deslizamientos de laderas como el ocurrido en 1999 en Teziutlán, Puebla (Ruiz, 2016). También las inundaciones como la acontecida en 1952 en la Ciudad de México en el centro histórico donde el agua alcanzó medio metro de altura (Betanzos, 2016). Por esa razón es necesario estudiar estos fenómenos de precipitación intensa.

3.3 Climatología de los intervalos de precipitación

La climatología es una condición general de las variables climáticas de la zona de estudio, a su vez, esta climatología podrá ser la base de estudios futuros. Se darán algunos ejemplos de desastres como una forma de aplicación de esta climatología de precipitación, la cual es diferente a las clasificaciones comunes donde se muestra la precipitación total anual o bien estacional.

Los desastres tomados como ejemplos se obtuvieron a través de la búsqueda en la base de datos de DesInventar y corroborados en noticias de periódicos. La revisión y el análisis de las estaciones climatológicas fue de manera visual, examinando la base de datos trabajada en la presente tesis, ubicando el día del desastre y verificando el dato de precipitación con la estación más cercana.

La finalidad de esta relación entre el evento de precipitación y el desastre es a manera de ejemplo únicamente, con la idea de que se tomen en cuenta las características de las lluvias y la posibilidad de que la población resulte afectada. Todo según su grado de vulnerabilidad.

Se puede aplicar en el caso de un deslizamiento que ocurrió en la alcaldía de Álvaro Obregón, de la Ciudad de México, el 12 de julio de 1973 (antes Delegación Álvaro Obregón) (DesInventar, 2018). La causa del evento fueron las lluvias ocurridas en días pasados y la precipitación del día del desastre, la cual fue de 15.2 mm. Este dato se tomó de la estación más próxima al deslizamiento (estación 9020 Desviación Alta al Pedregal) ya que no se cuenta con una estación más cercana.

El sitio en el que ocurrió el deslizamiento fue en la colonia Las Butacas Villa Obregón, dejando sin hogar a 108 familias, quienes se trasladaron a la Unidad Ejército de Oriente. Ahí se quedaron alojadas ya que sus viviendas quedaron destruidas o afectadas parcialmente sin poder habitarlas, con riesgo de que pudieran desplomarse. El valor por las pérdidas materiales fue de varios millones de pesos. El evento dejó un total de 103 viviendas dañadas y 5 viviendas destruidas, 7 muertos, 3 heridos y 432 personas damnificadas (DesInventar, 2018).

Se revisaron y analizaron las precipitaciones de las seis estaciones climáticas ubicadas en la CDMX en los días que antecedieron al trágico evento. Se obtuvieron un total de entre 6 y 12 días con lluvias desde 0.5 mm hasta 59.1 mm al día, donde cada una de las estaciones registró desde los 45.7 mm (estación 9032 Milpa Alta) hasta los 59.1 mm (estación 9020 Desviación alta al Pedregal). Esto indica que un día de ese mes hubo una precipitación intensa en la estación 9020 (Desviación Alta al Pedregal), que fue mayor a 50 mm y hubo, además, tres precipitaciones mayores a 30 mm: dos en la estación 9032 (estación 9032 Milpa Alta), una en la 9043 (colonia San Juan de Aragón). Las demás lluvias de los días pasados al desastre fueron: medias, menores a 30 mm; bajas, menores a 15 mm; y muy bajas, menores a 5 mm.

De estos eventos uno es considerado como una precipitación intensa que, en comparación con la Figura 23, sucede en la zona de 2 a 4 eventos anuales. Mientras que los otros tres eventos son considerados como lluvias fuertes que, en comparación con la Figura 22, se registran en la zona de 5 a 7 eventos anuales con esa precipitación.

Se hizo una revisión de los desastres ocurridos por deslizamientos debido a lluvias intensas en la alcaldía de Álvaro Obregón en los años posteriores al evento y se obtuvo un total de nueve deslizamientos desde 1975 al 2010 donde todos fueron en el mes de julio entre los días 6 y 29 con una precipitación que va 33 mm a los 60 mm (DesInventar, 2018).

Algunas medidas de prevención que se usaron tiempo después para mitigar el efecto de las fuertes lluvias en la zona y prevenir algún desastre fue colocar viguetas rellenas con concreto fluido para dar estabilidad a las laderas (Ramírez y Salgado, 2010). En el caso de haber afectaciones a las construcciones consideradas de alto riesgo, la medida tomada fue la demolición, mientras que las familias dueñas de esas construcciones fueron reubicadas (Desinventar, 2018).

Además, se incentivó a la población a no tirar basura ya que esto evita que el agua fluya, por lo tanto, se estanca y causa muchas afectaciones al sistema de drenaje profundo generando mayor riesgo de inundaciones y posibles deslizamientos.

(Servín y Ramírez, 2010). También se le solicitó a la CONAGUA, por parte del gobierno de la Ciudad de México en 2007, agilizar los recursos de obras hidráulicas para la creación de plantas de bombeo como una medida de mitigación de los efectos de las lluvias (Bolaños, 2007).

Otro caso que ejemplifica el uso que puede darse a esta climatología es la inundación que ocurrió en la capital del estado de Puebla debido al desbordamiento del río Atoyac el 23 de junio de 1972 (DesInventar, 2018). La causa del desastre fueron las lluvias que cayeron en días anteriores y ese mismo día, la cual fue de 26.6 mm. Ese dato se tomó de la estación 21035 (Puebla 21, Poniente 113 A) que es una de las estaciones más cercanas. La zona donde ocurrió la inundación fue en el Km 125 de la autopista México-Puebla muy cerca de la fábrica de Volkswagen de México.

La inundación causó daños estructurales a cincuenta viviendas de 6 pueblos, hoy en día ya son colonias situadas a un lado de la carretera. Este evento afectó a 200 personas que quedaron damnificadas. Hubo daños en vías de comunicación ya que la fuerza del caudal destruyó un puente (DesInventar, 2018).

Las tres estaciones meteorológicas más cercanas a la zona donde ocurrió la inundación son: 21035 Puebla 21 Poniente 113 A, 21034 Echeverría Puebla y la 21016 Balcon Diablo A. Texaluca. Se analizaron los datos de los días anteriores al evento, y se halló que, en la estación meteorológica más cercana, la 21035 (Puebla 21 Poniente 113 A), en los 11 días que antecedieron el suceso, llovieron 159.7 mm. Uno de esos días se registró un evento de 78 mm, es decir casi la mitad del total de la lluvia registrada. Este evento es considerado como una precipitación intensa que, en comparación con la Figura 23, pertenece a la zona de 2 a 4 eventos anuales en ese intervalo.

En la estación meteorológica 21034 (Echeverría Puebla), en los 11 días anteriores precipitó 133.2 mm. Uno de los días anteriores al desastre llovió 40.2 mm representando casi una tercera parte de la lluvia total de esos días. Se cataloga como una precipitación fuerte según el SACMEX ya que es mayor a los 30 mm.

La última estación meteorológica que se analizó fue la 21016 (Balcón Diablo A. Texaluca). La cantidad total de precipitación de los 11 días anteriores fue de 119.9 mm, en donde otra vez se registró una precipitación intensa con 57.6 mm presentando poco menos de la mitad de la lluvia total de esos días. Si se compara con la Figura 23, se trata de otro evento más que sucede dentro de la zona de 2 a 4 eventos anuales con esa precipitación.

Se hizo una revisión de los desastres ocurridos por inundaciones debido a lluvias intensas en la alcaldía de Álvaro Obregón, en la Ciudad de México, en los años posteriores al evento y se obtuvo un total de seis inundaciones desde 1981 al 2012 donde todas fueron en el mes de junio entre los días 8 y 27 (DesInventar, 2018).

En el municipio de Tlalnepantla de Baz, Estado de México, ocurrieron daños por lluvias e inundaciones el 30 de julio de 1979. Las causas, según DesInventar (2018), fueron las condiciones atmosféricas, descritas como tormentas, y la acumulación de basura. La lluvia fue de 26.5 mm y el dato fue tomado de la estación 15127 (Totolica San Bartolo) que es una de estaciones más cercanas. Las colonias que resultaron afectadas fueron La Presa y Caracoles en donde varias calles resultaron con inundaciones y encharcamientos. El evento dejó 5 personas muertas, 2 desaparecidos, 50 heridos, 15 viviendas afectadas, 16 viviendas destruidas y múltiples daños materiales (DesInventar, 2018).

Las estaciones cercanas a la zona del desastre, donde se pudieron obtener datos de los días anteriores al evento de ese mismo año, fueron tres: la 15059 Molino Blanco, Naucalpan; 15127 Totolica, San Bartolo; y 15073 Presa Guadalupe, Tultitlán.

De la estación meteorológica 15059 (Molino Blanco, Naucalpan) se registró un total de 130.4 mm, sumando la lluvia de los 11 días anteriores y del día del evento, la cual fue una lluvia moderada con 21.3 mm. La estación 15127 (Totolica, San Bartolo) registró un total de 132 mm contando las lluvias de los días anteriores. El día del evento hubo una precipitación moderada de 26.5 mm. Por último, la estación 15073 (Presa Guadalupe, Tultitlán) captó un total de 54.2 mm de precipitación en los de días anteriores.

De estas tres estaciones meteorológicas analizadas, que son las más cercanas a la zona de estudio, se observa que en dos de ellas hubo mayor precipitación (26.5 mm y 21.3 mm) sin embargo, no llegan a ser lluvias intensas ni lluvias fuertes. El motivo por el cual pudo haber ocurrido el desastre es, probablemente, por causas relativas a las actividades humanas: mal asentamiento de las viviendas, mal alcantarillado y por acumulación de basura en las calles.

Se hizo una revisión de los desastres ocurridos por inundaciones debido a lluvias intensas en Tlalnepantla de Baz, Estado de México en los años posteriores al evento y se obtuvo un total de doce inundaciones desde 1979 al 2011, todas ocurridas en los meses de julio y agosto (DesInventar, 2018).

Algunas de las medidas de prevención llevadas a cabo para mitigar los efectos de las lluvias han sido la colocación de costales de arena en el Río de los Remedios para evitar su desbordamiento y posibles inundaciones. También se contabilizaron 217 puntos susceptibles de inundaciones y deslizamientos además de instalar 10 centros de auxilio (Chávez, 2003). En el caso de surgir un estado de emergencia, se recurre a la intervención del personal de la primera zona militar con sus elementos de auxilio de dependencias estatales y municipales (Salinas, *et al.*, 2007).

En el estado de Morelos, en el municipio de Cuautla, ocurrió una inundación debido al desbordamiento del río Cuautla el día 9 de julio de 1984 (DesInventar, 2018). La causa de ello fueron las lluvias ocurridas en los días anteriores y ese mismo día, la cual fue de 12 mm. Ese dato se tomó de la estación 17003 (Cuautla, Cuautla SMN) que es una de estaciones más cercanas. El sitio donde ocurrió el desastre fue en el pueblo de Cuautla de Morelos, en las áreas aledañas al río.

La inundación causó graves daños, dejó 20 mil personas damnificadas de las cuales 5 mil familias quedaron incomunicadas por varios días. Muchas viviendas quedaron afectadas. Se destruyeron mil hectáreas de cultivos y bosque por lo que los sectores agropecuario y comercial se vieron perjudicados. Dos puentes peatonales cayeron, y varios autos fueron arrastrados por la fuerza del caudal (DesInventar, 2018).

Para el análisis de los datos de precipitación se tomaron principalmente tres estaciones ubicadas dentro del área afectada. Éstas son: 17003 Cuautla, Cuautla SMN; la 17005 Cuautla, Cuautla DGE; y la 17018 Ticumán, Tlaltizapán.

Al observar los datos de la estación 17003 (Cuautla, Cuautla SMN) se percató que, en los 11 días anteriores al evento, llovió un total de 114.8 mm, y uno de esos días ocurrió una precipitación intensa de 54.2 mm. Esto representa casi la mitad de la lluvia total que dio en los días anteriores al desastre.

Al hacer la comparación con la Figura 23, se observa que el evento sucedió dentro de la zona de los 2 a 4 días anuales con precipitaciones mayores a 50 mm.

La estación 17005 (Cuautla, Cuautla DGE) que está cerca de la zona del desastre, registró en los 11 días anteriores un total de 130.8 mm. En uno de los días registrados se dio una lluvia fuerte de 40 mm, lo que significa casi una tercera parte del total de la precipitación. Al hacer una comparación con la Figura 22, el día de los 40 mm ocurre en la zona de los 5 a 7 días anuales con precipitaciones de entre 31 y 50 mm.

Por último, la estación 17018 (Ticumán, Tlaltizapán) presentó un total de 96.7 mm en los días anteriores al evento, en donde un día se midió una precipitación de 36.5 mm, es decir poco más de una tercera parte de la lluvia total.

Se hizo una revisión de los desastres ocurridos por inundaciones debido a lluvias intensas en Cuautla, Morelos en los años posteriores al evento y se obtuvo un total de ocho inundaciones desde 1988 al 2010, todas se presentaron en los meses de junio a octubre (DesInventar, 2018).

Se realizó un análisis para relacionar si en los lugares donde ocurre una mayor cantidad de precipitación se generan más desastres. De acuerdo con la Figura 22 y 23, existen tres zonas localizadas al norte de Puebla, las cuales presentan precipitaciones mayores a 57 mm. Estas son: Xicotepec, Hueyapan y Tlatlauquitepec. Según DesInventar (2018) en estos tres municipios han ocurrido veintidós desastres desde 1974 hasta el 2013. Once de ellos en Xicotepec: ocho fueron inundaciones y tres deslizamientos. En Hueyapan ocurrieron tres desastres:

dos deslizamientos y una inundación. En Tlatlauquitepec acontecieron ocho desastres: tres inundaciones y cinco deslizamientos.

Económicamente, esta zona es muy importante para el aprovechamiento del recurso hídrico, ya que al ser un lugar con abundancia de lluvia, la captación del vital líquido es de suma importancia. En el municipio de Tlatlauquitepec se tiene la presa Soledad ubicada en el cauce del río Apulco la cual abastece de agua a una central hidroeléctrica.

Se observó en las zonas de baja precipitación localizadas al sur de Hidalgo, muy cerca del Estado de México y Tlaxcala, que a pesar de no haber una frecuencia en la presencia de lluvias fuertes, cuando se presenta un evento de gran intensidad puede generar algún desastre.

Al respecto se realizó una revisión en DesInventar (2018) en algunos de los municipios como Ajacuba, Apan, El arenal, Pachuca de Soto y Zempoala para constatar si había ocurrido alguna lluvia intensa que hubiera causado algún desastre. El resultado fue de 49 desastres desde 1971 hasta 2011: un deslizamiento en Ajacuba; siete inundaciones en Apan; una inundación en El Arenal; treinta y dos inundaciones y tres deslizamientos en Pachuca de Soto; y cinco inundaciones en Zempoala.

Esto quiere decir que a pesar de que es una zona donde casi no hay lluvia abundante, cuando se presenta puede causar graves daños. Esta zona se localiza dentro de los 2 a 4 días anuales con lluvias fuertes o lluvias intensas como se observa en las Figuras 22 y 23.

El riesgo está relacionado con la cantidad de precipitación y la vulnerabilidad existente en determinada población, sin embargo, el estudio que se realizó no es de vulnerabilidad ni de riesgo, son ejemplos de la climatología presentando algunos casos de desastres donde se puede encontrar una relación con la precipitación y la vulnerabilidad en la población.

Se debe tomar en cuenta que el semáforo del SACMEX es una referencia para poder generalizar la climatología en toda la Corona Regional. Esta climatología

representa el promedio de número de días al año con cierta cantidad de precipitación que puede servir en estudios posteriores relacionados con desastres, o bien en el aspecto positivo de construcción de infraestructura, de condiciones para la agricultura, entre otros.

CONCLUSIONES

La mayor parte de los estudios que generan climatologías en México corresponden a escalas que abarcan todo el país, o bien, comprenden solo una ciudad o un espacio muy localizado del territorio. Sin embargo, la climatología presentada en esta tesis posee una escala más regional, la cual contiene a toda la Corona Regional del Centro de México formada por los seis estados centrales de la República. Esto incluye a todas sus áreas urbanas, desde la capital hasta las ciudades más pequeñas, lo cual, respecto a una climatología de precipitación, resulta en cierta manera novedoso.

La Corona Regional se localiza en su mayor parte a una altura superior a los 2000 msnm y predominan dos climas principalmente: uno templado-húmedo en el centro y sur; y otro más seco en la región norte y oriente. Además, está asentada en tres provincias fisiográficas las cuales cuentan con montañas y valles. Esto hace que la precipitación en la Corona Regional no sea homogénea. El régimen tipo monzón es el patrón de precipitación en la zona (seis meses de lluvias y seis de secas), aunque puede estar influida también por factores como El Niño, La Niña, la entrada de frentes y algunas consecuencias por la presencia de huracanes.

La Zona Metropolitana del Valle de México concentra la mayor parte de la población de la Corona Regional y del país. Las otras ciudades que la conforman (ubicadas en los estados de Morelos, Tlaxcala, Puebla, Hidalgo y Estado de México) han forjado relaciones más estrechas con la capital, ocasionando un aumento en su población y sus actividades económicas. Como en casi todo el mundo subdesarrollado, estas ciudades poseen una periferia donde se encuentra la población más vulnerable debido a su marginación y pobreza, ambos factores importantes en la construcción de los desastres.

Es por ello que, presumiendo una relación entre lluvias y desastres, es necesaria una mejor comprensión del comportamiento de las precipitaciones. Para ello crear una climatología y buscar una condición general de las variables climáticas es importante. El análisis presentado en este trabajo se realizó de forma minuciosa

mediante una revisión de datos diarios en un periodo de 30 años (1961-1990) para todas las estaciones disponibles.

Los datos trabajados se limitan a este periodo debido a que se presentaron errores y múltiples discontinuidades, por lo tanto, imposibilitaba un adecuado manejo de la información. Sin embargo, al tratarse de una climatología, no significa que la investigación esté alejada de la realidad por falta de datos recientes; de igual manera tiene validez.

La metodología usada en esta investigación puede considerarse novedosa, además de que la región en sí no había sido trabajada como una unidad de estudio respecto a la precipitación. Con esto se busca contribuir a la generación de mayor conocimiento sobre las lluvias en el centro de México y puede servir de apoyo a investigaciones futuras no solo en geografía, sino en los diferentes campos del conocimiento como el manejo riesgos, en hidrología, en agricultura, entre otras.

La estimación de las precipitaciones por intervalos de cada estación climatológica permitió conocer las variaciones de la lluvia dependiendo de su intensidad. Se llevó a cabo esta metodología con base en los intervalos de precipitación, tomando en cuenta el promedio del número de días al año en los cuales se presenta una cantidad de lluvia medida en mm/día. Se generó una zonificación de las lluvias con base en los resultados obtenidos para mostrar de manera gráfica dónde ocurren estos eventos dentro de la Corona Regional. El principal producto de esta investigación consistió en la elaboración de cinco mapas con diferentes intervalos de intensidad de precipitación de acuerdo al número de días en que se presentaron.

El hecho de que algunos desastres estén estrechamente ligados a la ocurrencia de eventos de precipitación se mostró en el capítulo tres, donde el factor desencadenante de los cuatro casos presentados en los diferentes estados (Estado de México, Morelos, Puebla y Ciudad de México) fue la lluvia, directa o indirectamente. También se reflejó que, a pesar de los intentos de mitigación del efecto de las lluvias, los desastres suceden con frecuencia.

Se observó en las zonas de baja precipitación que, al no ser frecuentes las lluvias fuertes e intensas en todo el año, cuando se presentan es posible que causen algún desastre. La población, al no estar acostumbrada a la ocurrencia de estos eventos de mayor intensidad, carece de las medidas de prevención necesarias.

De acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo, se demuestra que la caracterización de los eventos de precipitación en la Corona Regional del Centro de México aporta una nueva forma de expresar y analizar la lluvia en el centro del país, es decir, muestra un promedio del comportamiento anual de los eventos de precipitación con respecto a su intensidad. A manera de ejemplo se establecieron algunas relaciones entre los eventos de precipitación y algunos desastres ocurridos como una forma de aplicación de esta climatología.

REFERENCIAS

- AGUA. (2017). *Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental A. C.* [en línea] disponible en: <https://agua.org.mx/> [consultada el día 12/11/2017].
- Aguilar, A. (2002). *Las mega-ciudades y las periferias expandidas*. EURE. Santiago, pp 121-149.
- Aquino, L. (2012). *Impacto de la urbanización sobre la dinámica de las tormentas en el Valle de México*. Tesis de Maestría. UNAM.
- Bataillon, C. (2008). *Corona urbana alrededor de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*. En: La urbanización difusa de la Ciudad de México. Otras miradas sobre un espacio antiguo. Delgado, J., Instituto de Geografía, UNAM, pp 210.
- Betanzos, L. (2016). *Distribución temporal y espacial de la precipitación en la Ciudad de México y su aplicación a la planeación urbana*. Tesis de Licenciatura. UNAM.
- Bolaños, A. (2007). *Solicita el GDF agilizar recursos para obras hidráulicas. 26 de agosto de 2007*. La Jornada. [en línea] disponible en: <http://www.jornada.com.mx/2007/08/26/index.php?section=capital&article=033n1cap> [Consultada el 07/10/18].
- CAM. (2010). Comisión Ambiental Metropolitana. *Capítulo 2, La zona metropolitana del valle de México*. En: Programa para mejorar la calidad del aire de la zona metropolitana del valle de México 2002-2010. D.F., México, pp 381.
- Capel, H. y Urteaga, L. (1991). *Las nuevas geografías*. Madrid, España, pp 10-60.
- Challenger, A., y Soberón, J. (2008). *Los ecosistemas terrestres*. En: Capital natural de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, N° 1. pp 87-108.

- Chávez, M. (2003). *Se desbordan dos ríos en Tlalnepantla e Izcalli. 7 de septiembre de 2003*. La Jornada. [en línea] disponible en: <http://www.jornada.com.mx/2003/09/07/034n1est.php?origen=estados.php&fly> [Consultada 07/10/18].
- Cobos, E. (2016). *Zona Metropolitana del Valle de México: neoliberalismo y contradicciones urbanas*. Sociologías. Porto Alegre, N° 42, pp 54-89.
- CONABIO. (2008a). *Conjunto de datos vectoriales del clima. Escala 1:1,000,000*. Obtenido de Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad.
- CONABIO. (2008b). *Conjunto de datos vectoriales de tipos de Rocas. Escala 1:1,000,000*. Obtenido de Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad.
- CONABIO. (2008c). *Conjunto de datos vectoriales de suelos predominantes de la Republica mexicana. Escala 1:4,000,000*. Obtenido de Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad.
- CONABIO. (2008d). *Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación. Escala 1:250,000*. Obtenido de Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad.
- CONABIO. (2008e). *Conjunto de datos vectoriales de estaciones climatológicas. Escala 1:1,000,000*. Obtenido de Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad.
- CONABIO. (2009). *Conjunto de datos vectoriales de cuencas hidrográficas de México. Escala 1:250,000*. Obtenido de Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad.
- CONABIO. (2014). *Conjunto de datos vectoriales de localidades urbanas 2. Escala 1:1,000,000*. Obtenido de Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad.

- CONABIO. (2015). *Conjunto de datos vectoriales de la División Política Estatal. Escala 1:250,000*. Obtenido de Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad.
- CONABIO. (2016). *Conjunto de datos vectoriales provincias fisiográficas de México. Escala 1:400,000*. Obtenido de Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad.
- CONABIO. (2017). *Biodiversidad Mexicana*. [en línea] disponible en: <http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/bosqueTemplado.html> [consultada el día 29/10/2017].
- Delgado, J. (1996). *La formación de la ciudad-región en la ciudad de México y la aglomeración de París*. Instituto de Geografía, UNAM, N° 36, pp 89-120.
- Delgado, J. (2008). *La urbanización difusa de la Ciudad de México. Otras miradas sobre un espacio antiguo*. Instituto de Geografía, UNAM, pp 210.
- DesInventar. (2018). *Base de datos*. [en línea] disponible en: https://online.desinventar.org/desinventar/#MEX-1250695136-mexico_inventario_historico_de_desastres [Consultada el día 26/01/2018].
- Escamilla, I. y Santos, C. (2012). *La zona metropolitana del valle de México: transformación urbano-rural en la región centro de México*. XII Coloquio internacional de geocrítica. Coloquio llevado a cabo en la Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia, pp 15.
- ESRI. (2019). *ArcGIS for Desktop*. [en línea] disponible en: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/comparing-interpolation-methods.htm> [Consultada el día 09/03/2019].
- FAO. (2007). *Base referencial mundial del recurso suelo*. En: World Soil Information. Roma, N° 103, Pp 67-96.

- García, E. (2004). *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. CONABIO [en línea] disponible en: http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/clima1mgw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no [consultada el 12/04/2017].
- Günter, D. (2003). *Formaciones nubosas y otros fenómenos meteorológicos. Situaciones meteorológicas generales*. Barcelona, España, pp 320.
- Iracheta, A. (2003). *Gobernabilidad en la Zona Metropolitana del Valle de México. Papeles de población*. México, N° 36, pp 211-239.
- INEGI. (2008). *Características edáficas, fisiográficas, climáticas e hidrológicas de México*. [en línea] disponible en: http://www.inegi.org.mx/inegi/spc/doc/internet/1-geografiademexico/manual_carac_eda_fis_vs_enero_29_2008.pdf [consultada el 15/09/17].
- INEGI. (2010). *Conteo de población y vivienda 2010. Indicadores del censo general de población y vivienda*. INEGI. México.
- INEGI. (2015). *Cuéntame*. [en línea] disponible en: <http://cuentame.inegi.org.mx/> [consultada el 30/10/2017].
- Inzunza, J. (2003). *Meteorología Descriptiva*. Santiago de Chile, Chile, pp 141.
- Jáuregui, E. (1971). *Mesomicroclima de la ciudad de México*. Instituto de Geografía, UNAM, pp 80.
- Jáuregui, E. (1973). *The urban climate of Mexico City*. Erdkunde. Bonn, Alemania, Vol. XXVII, pp 298-307.
- Jáuregui, E. (1975). *Las zonas climáticas de la Ciudad de México*. Instituto de Geografía, UNAM, N° 6, pp 47-58.

- Jáuregui, E. y Romales, E. (1996). *Urban effects on convective precipitation in Mexico City*. Centro de Ciencias de la Atmosfera, UNAM, N° 30, pp 3383-3389.
- Jáuregui, E. (2000). *El clima en la ciudad de México*. Instituto de Geografía, UNAM, pp 23-46.
- López, F., Sánchez O., Conde, A. (2014). *Capítulo III análisis de tendencias y eventos climáticos extremos*. En: Historia del Clima en la Ciudad de México: Efectos Observados y Perspectivas. Ciudad de México, UNAM, pp 47-72.
- Luyando, E. Peña del Valle, A., Casasola, M. (2014a) *Capítulo II antecedentes históricos del clima en la Ciudad de México*. En: Historia del Clima en la Ciudad de México: Efectos Observados y Perspectivas. Ciudad de México, UNAM, pp 21-46.
- Luyando, E., Cortes, A., Fuerte, M. P. (2014b). *Distribución de los desastres asociados a las lluvias en la Ciudad de México: Una ventana para pensar en la gestión del riesgo desde el ordenamiento territorial*. En: Conflictos del poder sobre el espacio. Manual de ordenación territorial a diferentes escalas. Tomo II. CONACYT, México, pp 383-405.
- Luyando, E. (2016). *Efectos de las temperaturas y precipitaciones extremas en el bioclima humano de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México por Cambio Climático local y global*. Tesis de Doctorado. UNAM.
- Madrid, C. (2013). *Una mirada al problema del Cambio Climático desde la Estadística*. Conferencia llevada a cabo en Universidad Complutense de Madrid. [en línea] disponible en: <https://www.ucm.es/data/cont/docs/177-2013-11-05-Conferencia-UCM-EeIOII-CarlosMadrid-Presentacion.pdf> [consultada el día 07/03/2019].
- Magaña, V., Pérez, J., Méndez, M. (2003). *Diagnosis and prognosis of extreme precipitation events in México City Basin*. Geofísica, UNAM, N° 41, pp 247-259.

- Martínez, A. (2017). *Para todo México*. En: *Relieve*. [en línea] disponible en: <https://www.paratodomexico.com/geografia-de-mexico/index.html> [consultada el día 12/11/2017].
- Méndez, J., Návar, J. J., González, V. (2008). *Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México*. Instituto de Geografía, UNAM, N° 65, pp 38-55.
- Molla, M. (2006). *El crecimiento de los asentamientos irregulares en áreas protegidas. La delegación Tlalpan*. En: *Investigaciones geográficas*. Instituto de Geografía, UNAM, N° 60, pp 83-109.
- PGDUDF. (2003). *Programa General de Desarrollo Urbano del Distrito Federal*. En: *Gaceta oficial del Distrito Federal*. pp 183.
- Ramírez, B. y Salgado, A. (2010). *Precipitación daña avenida de los poetas. 7 de Julio de 2010*. La jornada. [en línea] disponible en: <http://www.jornada.com.mx/2010/07/07/capital/037n2cap> [consultada el 07/10/18].
- Rodríguez, T. (2017). *Bioclimatología e infecciones respiratorias agudas en el estado de Aguascalientes, México*. Tesis de Licenciatura. UNAM.
- Rosales, G., Conde, A., Peña del Valle, A. (2014). *Capítulo IV efectos de los fenómenos hidrometeorológicos en el Distrito Federal*. En: *Historia del Clima en la Ciudad de México: Efectos Observados y Perspectivas*. Ciudad de México, UNAM, pp 73-98.
- Rubi, M. (1991). *Cambios en la temperatura y precipitación de la Ciudad de México debidos a la urbanización durante el periodo 1961-1980*. Tesis de Licenciatura. UNAM.
- Ruiz, N. (2016). *Diagnóstico del riesgo de desastre por deslizamientos: La Aurora, octubre 1999, Teziutlán Puebla*. Tesis de Licenciatura. UNAM.
- Salinas, J., Chávez, S., Breach, M., Flores, G. (2007). *Minimiza el gobierno del EdoMex los daños por lluvias en cuatro municipios. 2 de agosto de 2007*. La

Jornada. [en línea] disponible en:

<http://www.jornada.com.mx/2007/08/02/index.php?section=estados&article=033n1est> [consultada el 07/08/18].

Sánchez, I., Díaz, G., Cavazos, M., Granados, G., Gómez, E. (2011). *Elementos para entender el cambio climático y sus impactos*. Distrito Federal, México. Ed Medio ambiente y ecología. 1ª edición, pp 167.

Sarochar, H. (2017). *Introducción a la Meteorológica General*. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de la Plata, pp 13-17.

Segerer, C. (2006) *Hidrología 1*. Mendoza, Argentina, pp 5.

Servín, M. y Ramírez, B. (2010). *La intensa lluvia tira 12 árboles y perturba el tránsito en el DF. 7 de Julio de 2010*. La Jornada. [en línea]. Disponible en: <http://www.jornada.com.mx/2010/07/07/capital/037n1cap> [consultada el 07/10/18].

SMN. CONAGUA. (2015). [en línea] disponible en: <https://smn.cna.gob.mx/>

Strahler, A. (2005). *Geografía física*. Barcelona, España. Ed Omega. 3ª edición, pp 475.