

DELIMITACIÓN DE ZONAS DE INFLUENCIA DE PRECIPITACIÓN PARA MÉXICO

Alejandro Ismael MONTERROSO RIVAS, Jesús David GÓMEZ DÍAZ, Lizeth Margarita LECHUGA GAYOSSO
Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, México
aimrivas@correo.chapingo.mx; dgomez@correo.chapingo.mx; al08117994@chapingo.mx

RESUMEN

Por la importancia de contar con una definición detallada de los diversos sistemas meteorológicos globales o regionales con los que se asocia la precipitación en el territorio Mexicano para establecer interconexiones entre la cantidad de precipitación y sistemas globales como el Índice Oceánico del Niño, la Oscilación Decadal del Pacífico y la Oscilación del Atlántico Norte, que permitan explicar la incidencia de precipitación a nivel regional en México, se desarrolló este trabajo. Para ello se seleccionaron 3770 estaciones meteorológicas que tenían más de 20 años de datos y con al menos el 70% de datos de precipitación, las cuales se ubicaron geográficamente. Se elaboró el mapa de isoyetas medias anuales a escala 1:250 000 y para cada estación se realizó la presentación gráfica de los regímenes pluviométricos buscando la asociación de la precipitación en las distintas épocas del año con los diferentes sistemas meteorológicos globales y/o regionales, además del efecto de diferentes factores que influyen en la cantidad de lluvia a nivel local como es el efecto modificador de los sistemas orográficos, así como la energía que pueden ganar los sistemas y que aumente la posibilidad de precipitación. Bajo este criterio se delimitaron 14 Regiones de precipitación en el país.

Palabras clave: Regiones de Precipitación, Regímenes pluviométricos, México

ABSTRACT

Due to the importance of have a detailed definition of the diverse global or regional meteorological systems related to the precipitation in the Mexican territory and have an instrument to establish interconnectivities of different global systems as el Niño Index, Pacific Decadal Oscillation and the North Atlantic Oscillation with the amount of rainfall at regional level, this work was conducted. For that, 3770 meteorological stations were selected with the criteria that must have at least data for 20 years and also at least 70% of rainfall data. The map of mean annual rainfall was elaborated at scale of 1:250 000 and for each meteorological station a graphic representation of the pluviometrics regimens were created to seek for a relation of the amount and distribution of the rainfall at regional level with the different global and/or regional meteorological systems, also to include the modifier effect of different climatic factors that have influence on the amount of rainfall al local level as the modifier effect of the orographic systems and also the energy that the different wind systems can gain and increase the possibility of rainfall. Under these criteria 14 Regions of Precipitation were delimited.

Key words: Regions of Precipitation, pluviometric regimens, Mexico.

1. INTRODUCCIÓN

México tiene una climatología muy diversa asociada a su posición geográfica que es cruzada por el trópico de cáncer en su parte media y además el relieve en el país es complejo, aunado a estas condiciones, se encuentra en su parte oriental y occidental rodeado de dos grandes océanos y cuenta con dos penínsulas con características muy peculiares que tienen efecto muy significativo en los sistemas que determinan la precipitación, en particular la península de Baja California. En Geografía el concepto de región es útil en el sentido de explicar la distribución de un fenómeno variable espacialmente como es el caso del clima, en donde una región o provincia climática es cierta extensión de la superficie terrestre en la cual, por su situación geográfica y por la orientación general de los accidentes del relieve dominan el mismo o los mismos sistemas de vientos y por su latitud presentan condiciones análogas de calentamiento, por lo que muestran gran similitud en los tipos de clima principalmente en cuanto a régimen de lluvias, marcha anual de la temperatura y oscilación térmica (Vidal, 2005). En México se han realizado algunos trabajos relacionados con la regionalización de los climas, entre los que resaltan el de García et al., (1983) que elaboró el mapa de regiones de climas de México y se publicaron en la sección de Climas del Atlas Nacional de México (García et al., 1989), en el cual se definieron once regiones climáticas, que se realizaron a partir de la delimitación de los dominios con potencial de climas semejantes partiendo de la regionalización basada en la fisiografía del país considerando que las grandes sierras juegan un papel preponderante como barreras climáticas y conforman un límite natural a la mayoría de las regiones, lo que produce cambios de regímenes de lluvias, de grupo o subgrupo climático, aún en distancias cortas. Por otra parte, Arthur Douglas (Englehart y Douglas, 2001), definieron diferentes regiones climáticas para el país bajo el criterio de comportamiento similar en temperaturas y precipitación reportados por las estaciones meteorológicas, pero sin incluir el factor modificador de los diferentes sistemas orográficos. Monterroso y Gómez (2003) realizaron el ajuste de los linderos de dichas regiones climáticas añadiendo la variabilidad fisiográfica a los límites, aun con este ajuste, no se refleja el comportamiento de la precipitación a nivel regional, que está mejor expresado en la propuesta de García et al., (1983). Por la importancia de contar con una definición detallada de los diversos sistemas meteorológicos globales o regionales con los que se asocia la precipitación en el territorio mexicano para establecer interconexiones que permitan explicar la incidencia de precipitación a nivel regional en México, se desarrolló este trabajo. De las 5384 estaciones meteorológicas a nivel nacional que están reportadas en el sistema CLICOM (WMO, 2007), se seleccionaron las que tenían más de 20 años de datos y con al menos el 70% de datos de precipitación, resultando un total de 3770 estaciones meteorológicas que cumplen con este criterio, las cuales se ubicaron geográficamente y posteriormente se corrigió su ubicación donde se presentaron controversias. Para cada una de las estaciones se realizó la presentación gráfica de la cantidad y distribución de la precipitación media mensual, buscando la asociación de la precipitación en las distintas épocas del año con los diferentes sistemas meteorológicos globales y/o regionales, además del efecto de diferentes factores que influyen en la cantidad de lluvia a nivel local como es el efecto modificador de los sistemas orográficos, posición de las estaciones meteorológicas con respecto a la trayectoria e intensidad de los sistemas de vientos que generan precipitación, así como la energía que pueden ganar los sistemas y que influyen en la cantidad de lluvia en cada zona.

2. METODOLOGÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN

2.1. Generación de bases de datos de precipitación y generación del mapa de isoyetas medias anuales.

Se generó una base de datos de precipitación para todo México, con información actualizada reportada en las 5384 estaciones meteorológicas del país en el sistema CLICOM (WMO, 2007), seleccionando aquellas que tenían al menos 20 años de observaciones y más de 80% de datos. Las estaciones elegidas fueron 3770 en las cuales se obtuvo el promedio mensual y el anual de precipitación, estos valores se utilizaron para la generación del mapa de isoyetas medias anuales a escala 1: 250 000 (Gómez *et al.*, 2009).

Para la delimitación de las isoyetas medias anuales se utilizó el método descrito por Gómez *et al.* (2008), el cual se describe como método gráfico con criterio de experto (Daly *et al.*, 1994), se partió de la anotación de los valores de precipitación media anual sobre el mapa de México con el modelo de elevación digital a escala 1: 250 000. Para cada estación meteorológica se analizó la relación de la cantidad de precipitación con los sistemas de vientos globales y regionales con los que se asocia la precipitación. Para realizar esto se revisaron los distintos fenómenos de vientos que ingresan al país a lo largo del año y que tienen la posibilidad de generar precipitaciones, analizando el comportamiento de los mismos y las zonas que se ven favorecidas con la humedad que ingresan estos sistemas. Para cada estación meteorológica, se elaboraron los regímenes pluviométricos que mostraran la distribución de la precipitación a lo largo del año considerando las precipitaciones medias mensuales, las cuales se analizaron identificando los impactos de los factores modificadores del clima como fueron: zonas de barlovento y de sotavento en los distintos sistemas orográficos, influencia de las masas de agua, distancia de los océanos, impacto de la orografía en el movimientos del viento en donde la orientación y forma de estos sistemas determinan la posibilidad de ascenso o de desviación, el aspecto de la pendiente, la presencia de depresiones que favorezcan la compresión de vientos y limiten el ascenso de los mismos, efecto de las unidades geomorfológicas en la convección local, ganancia de energía por los sistemas de vientos en planicies costeras, entre varios otros más (Mosiño y García, 1974; Ahrens, 2009). Posteriormente se buscaron relaciones entre la cantidad de precipitación de las distintas estaciones meteorológicas y la vegetación representada en las imágenes de satélite de falso color Landsat 7, a escala 1:250 000, este ejercicio se realizó para dos épocas del año, al final de la estación seca y al final de la estación húmeda. Se revisaron las tonalidades del falso color que representan la cobertura vegetal integrando esta información con los diferentes factores modificadores de la incidencia de la precipitación y los valores de este parámetro reportado por las estaciones meteorológicas que aunque escasas permitieron establecer analogías entre los elementos del paisaje, cobertura vegetal expresada en las imágenes de falso color y la cantidad de precipitación, de tal manera que se asignaron valores tentativos a sitios que no cuentan con estaciones meteorológicas pero que presentan condiciones similares de los factores indicados que determinan la precipitación.

A partir de este análisis se trazaron las isoyetas sobre los modelos de elevación digital de acuerdo a los valores de precipitación media anual distribuidos en las diferentes zonas, ya fueran los reportados por las estaciones meteorológicas y los indicados a través de las analogías descritas anteriormente. Se inició este proceso de trazado de isoyetas de precipitación identificando los valores más fáciles de ubicar y posteriormente se trazaron las isoyetas intermedias considerando los diferentes elementos descritos que determinan la cantidad de precipitación para los diferentes lugares.

2.2. Delimitación de las regiones de precipitación

Partiendo de la zona de incidencia de los distintos sistemas de vientos en diferentes épocas del año en el país, y de la cantidad de precipitación expresada en las isoyetas medias anuales, se analizaron los regímenes pluviométricos que muestran la distribución anual de la precipitación en cada mes, se delimitaron las diferentes regiones de precipitación del país, considerando en los linderos la integración de los sistemas de vientos que generan la

precipitación, el efecto de los diferentes factores que influyen en la cantidad de la precipitación definidos primordialmente por los diferentes sistemas orográficos que constituyen un límite natural en la mayoría de las regiones que producen cambios en los regímenes de lluvia.

3. RESULTADOS

2.1. Mapa de isoyetas medias anuales

En la figura 1 muestra el mapa de rangos de precipitación media anual de México, mismos que van de menos de 50 mm en la zona Noroeste en lo que corresponde el área aledaña al delta del Río Colorado y la máxima precipitación con valores de hasta 5200 mm en la cara norte de la sierra madre de Oaxaca, área norte de los Tuxtlas, Veracruz y área sur del Volcán Tacana. La gran variación de la distribución de la precipitación es consecuencia de la diversidad de los sistemas de vientos que se tienen en el país, así como del efecto del relieve complejo. En el litoral del pacifico los sistemas con los que se asocia la lluvia se presentan fundamentalmente en verano, en cambio en el litoral del Golfo de México y Mar Caribe se tiene la influencia de sistemas invernales como son los frentes fríos y los de mayor intensidad siguen siendo sistemas tropicales en la mitad caliente del año.

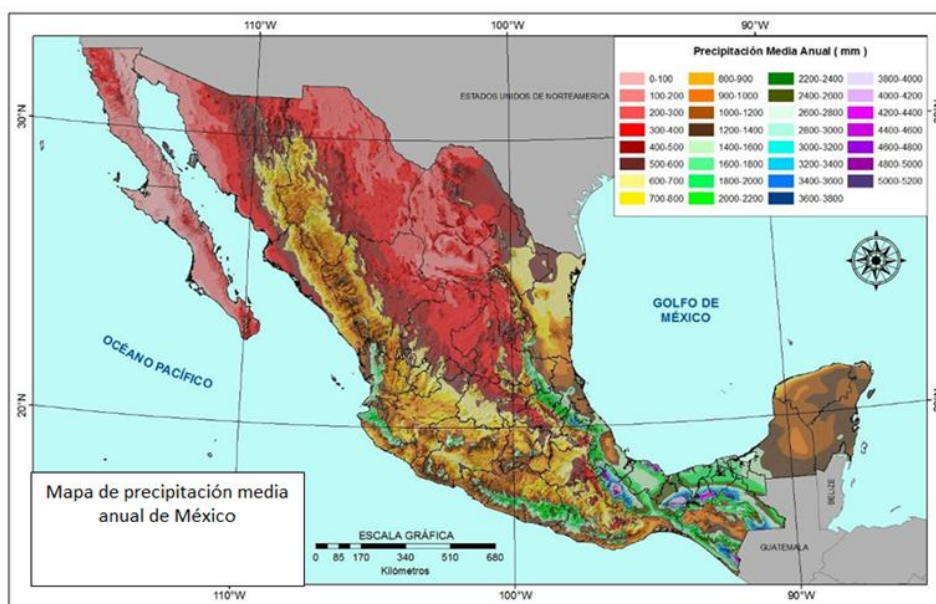


Fig. 1: Mapa de precipitación media anual de México delimitadas por Gómez et al. (2009).

2.2. Regiones de precipitación de México

En la figura 2 se muestran las catorce Regiones de Precipitación de México, las cuales se nombraron en unas ocasiones a partir de la región geográfica siguiendo el criterio García et al., (1983) para su delimitación de regiones climáticas (Regiones 1, 2, 3, 9, 12, 13 y 14), a partir de la asociación de región geográfica y sistema dominante de precipitación (Región 4) y solamente por el o los sistemas dominantes de precipitación (Regiones 5, 6, 7, 8, 10 y 11).



Fig. 2: Regiones de Precipitación de México

En la figura 3 se presentan los regímenes pluviométricos de una estación meteorológica representativa de cada Región de Precipitación, en donde se indica la precipitación media anual, mismas que se describen a continuación:

1.-Región Noroeste de Baja California, la cual se define por la zona occidental de la divisoria de aguas definido por el Sistema Bajacaliforniano en la parte norte de la península de Baja California hasta la línea costera y es prácticamente continuo en esa zona y llega a tener elevaciones de hasta 3000 msnm. Tiene un régimen de lluvias en la mitad fría del año, asociado a vientos provenientes del sistema de alta presión del Pacífico que se localiza sobre el océano en la parte media de la península de Baja California en ese periodo y por el efecto de algunos vórtices fríos asociados con el desplazamiento hacia el sur de la cCorriente de Chorro Subtropical.

2. La región Península de Baja California Seca, comprende la porción oriental de la divisoria de aguas del Sistema Bajacaliforniano en la zona del estado de Baja California y toda la amplitud de la península de Baja California por debajo del paralelo 28, hasta la parte sur de dicha península. Presenta muy bajas precipitaciones, las más bajas del país, asociado a la sombra orográfica de lluvia del Sistema Bajacaliforniano y más al sur tienen presencia débil el Monzón Mexicano, que ocurre en los meses de junio a septiembre y algunos sistemas tropicales como son remanentes de huracanes o tormentas tropicales.

3. La región Sur de la Península de Baja California comprende principalmente la zona de la Sierra de La Laguna, en donde la precipitación es mayor que la anterior región que incluso se reporta con valores promedios de 600 mm anuales. La mayor proporción de las lluvias se asocia con perturbaciones tropicales como son: depresiones tropicales, tormentas tropicales y huracanes y la ligera presencia del Monzón Mexicano.

4. La región de Monzón Mexicano en el Golfo de California comprende desde la planicie costera del pacífico norte en el estado de Sonora hasta la parte media de Sinaloa, y va de la línea costera hasta la mesa alta de la Sierra Madre Occidental. En esta región la mayor cantidad de precipitación se presenta en los meses de julio, agosto y septiembre asociada a la formación del sistema denominado Monzón Mexicano, el cual presenta un gradiente de presión de oeste a este y su intensidad se incrementa de norte a sur, esto como consecuencia de la presencia de la península de Baja California. En esta región se presentan depresiones tropicales que van desde remanentes de huracanes a tormentas tropicales a finales de agosto y

principalmente en septiembre y parte de octubre, además de que en la mitad fría del año se tiene la presencia de vórtices fríos asociados al desplazamiento al sur de la corriente a chorro subtropical.

5. La región de Monzón Mexicano se define por la ocurrencia de este fenómeno en la mitad caliente del año, que se asocia con la capacidad de la Sierra Madre Occidental de absorber energía y genera una celda de circulación de vientos que van del océano pacífico a la mesa alta de este sistema orográfico y se muestra de manera más intensa al terminarse el efecto de la península de Baja California que reduce el gradiente de presión. Adicionalmente se presentan perturbaciones tropicales que van desde depresiones, tormentas y huracanes, particularmente en los meses de septiembre y octubre. Además de que en la parte norte de esta región se tienen en invierno la ocurrencia de vórtices fríos.

6. La región de Monzón de Norteamérica débil, comprende la mayor proporción de la Mesa del Norte así como la porción más al norte de la Sierra Madre Oriental y parte de la Planicie Costera del Golfo Norte, particularmente la zona del estado de Coahuila. La precipitación en esta región se asocia principalmente al componente más débil de Monzón de Norteamérica dado el bajo gradiente de presión que se genera entre el Golfo de México y esta zona, por lo que las lluvias son escasas. Se tienen sobre todo en la parte nororiental de esta región precipitaciones asociados a frentes fríos y su interacción con las brisas principalmente en los meses de mayo y de septiembre. El gradiente de precipitación aumenta hacia el oeste como consecuencia del aumento de la altitud en la Mesa del Norte y hay mayor convección local.

7. La región de Monzón de Norteamérica moderado, comprende la porción media y sur de la Mesa del Norte y se define por sistemas de vientos con mayor intensidad asociado al incremento del gradiente de presión hacia el sur, pero estos vientos dejan la mayor proporción de humedad en la zona de barlovento de la Sierra Madre Oriental, que por sus múltiples plegamientos sustrae gran cantidad de humedad de estos vientos, por lo que en la porción oriental de esta región, particularmente cerca de las estribaciones de la sierra las precipitaciones son bajas.

8. La Región de Alisios y Monzón de Norteamérica, comprende la mayor parte de la Planicie Costera del Golfo Norte y la Sierra Madre Oriental, particularmente su vertiente este que recibe los vientos del Golfo de México. Los sistemas de vientos del Monzón de Norteamérica que generan la precipitación en verano son débiles en el norte, y van fortaleciéndose a medida de aumenta el gradiente de presión hacia el sur, para definirse como Alisios. La lluvia generada por las perturbaciones tropicales es muy importante para la precipitación total en la región, además de los frentes fríos que generan precipitaciones de finales de septiembre a principios de mayo.

9. La Región Mesa del Centro comprende la provincia fisiográfica de este nombre y el régimen de lluvia es de verano y va desde mediados del mes de mayo hasta octubre, asociado principalmente a sistemas de vientos que provienen del centro de alta presión que se genera en el Golfo de México, además de precipitaciones asociadas con los componentes tanto oriental como occidental de las ondas tropicales, además del efecto de sistemas tropicales como tormentas y huracanes del Atlántico como del Pacífico.

10. La región de Alisios y Ondas tropicales, comprende la Planicie Costera del Golfo Sur y la zona de barlovento de la Sierra Madre de Oaxaca y del sistema montañoso de los Altos de Chiapas. En esta región se tienen lluvias a lo largo de todo el año, en la mitad fría (de octubre a abril), por los frentes fríos que interaccionan con el aire con mayor temperatura y humedad de estas áreas y de abril a octubre se tiene el periodo de mayores precipitaciones asociado a los vientos que vienen del Golfo de México (Alisios) y lo que aportan las Ondas tropicales, además de la ocurrencia de fenómenos intensos como tormentas tropicales y huracanes, que son más frecuentes en los meses de septiembre y octubre. En esta región se presentan las zonas con mayores precipitaciones en el país.

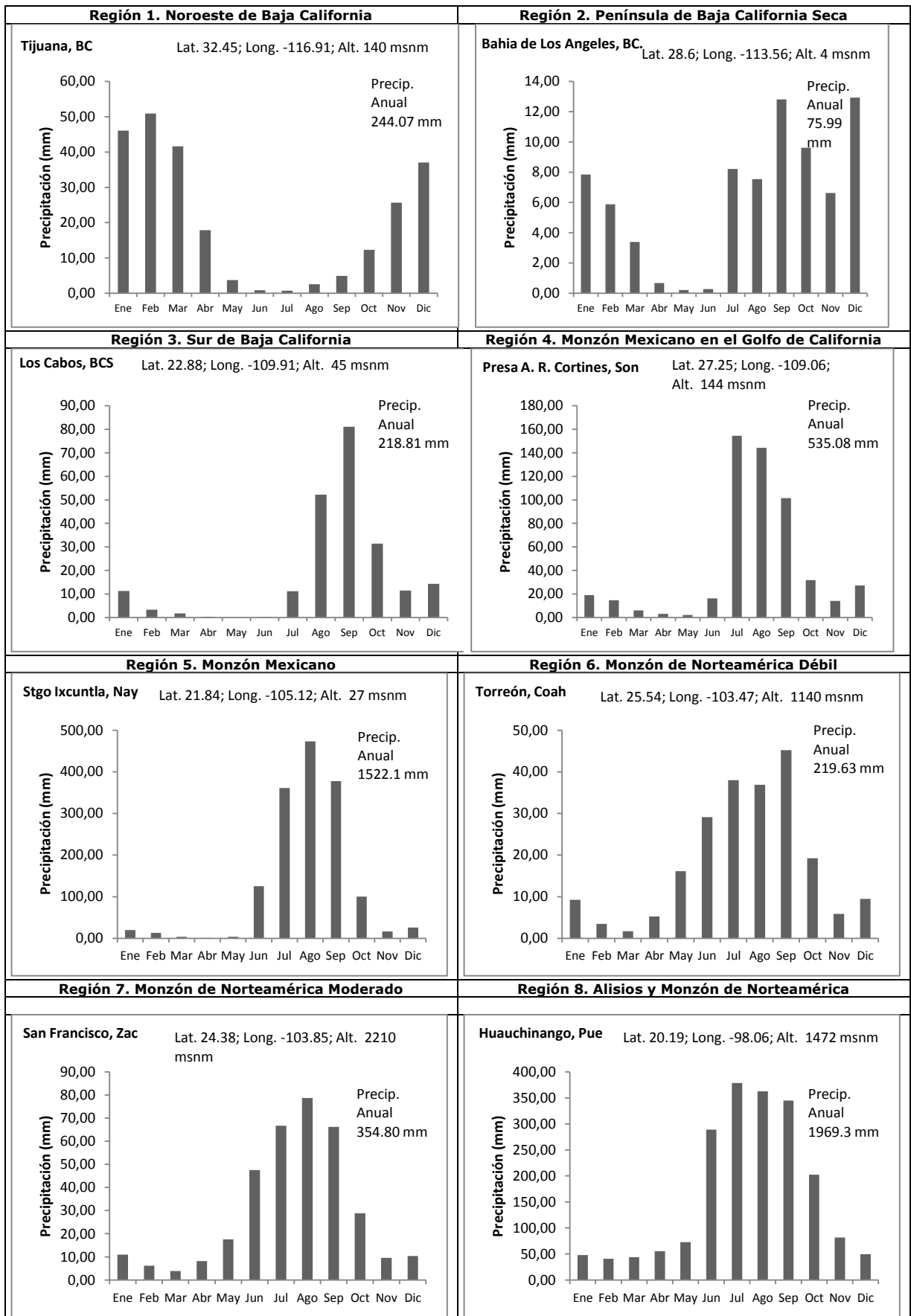
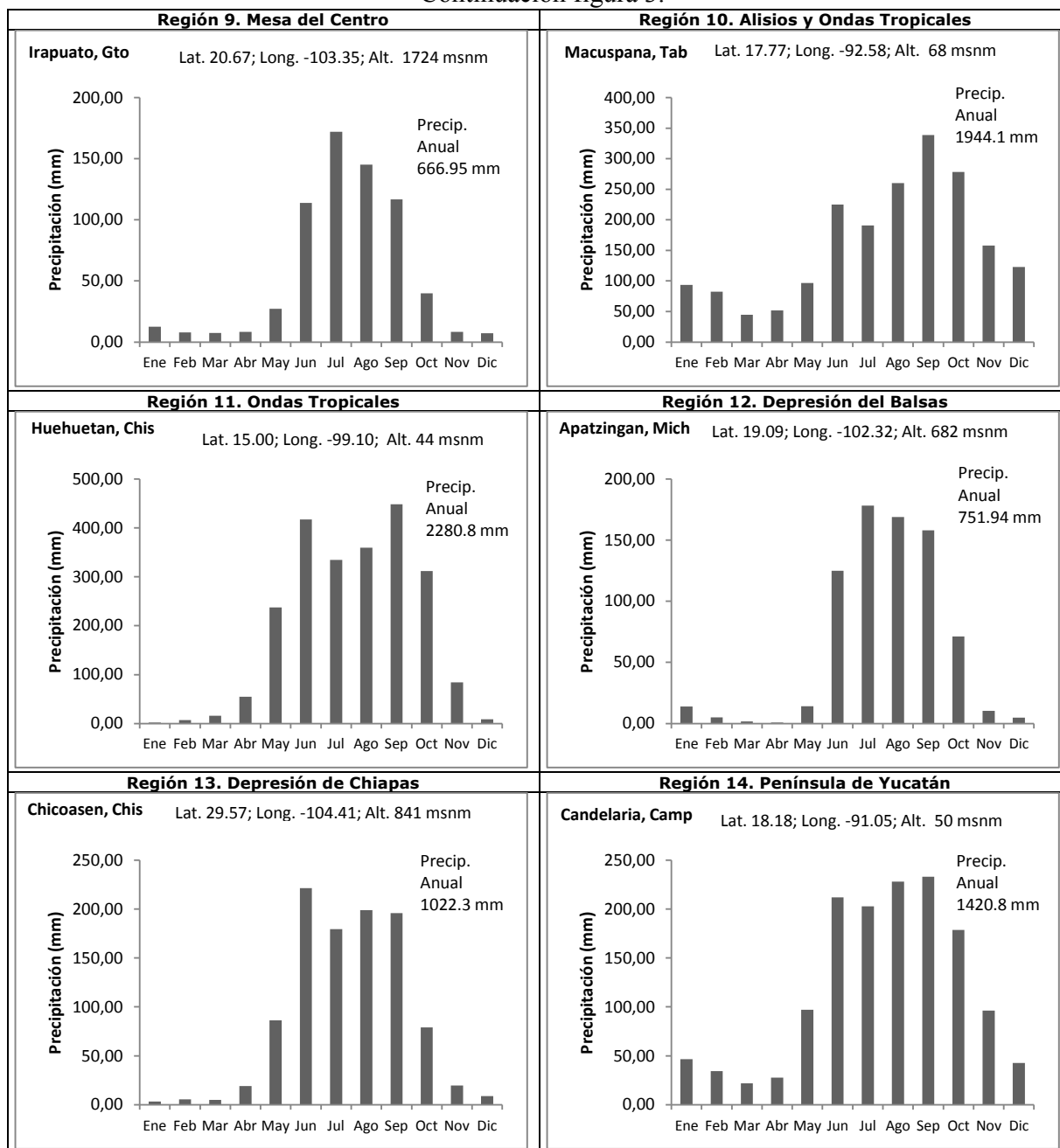


Fig. 3. Regímenes pluviométricos de las Regiones de Precipitación de México
Continuación figura 3.



11. La región de Ondas tropicales comprende desde la parte sur de Colima por la vertiente que da al océano pacífico de la Sierra Madre del Sur y de la Sierra Madre de Chiapas. Las lluvias se presentan principalmente en verano y van de mayo a octubre en la zona más al norte y desde finales de abril a mediados de noviembre en la zona más al sur. La precipitación se asocia a las perturbaciones tropicales que van desde ondas tropicales a depresiones, tormentas y huracanes del Pacífico, los cuales se presentan en los periodos señalados, por lo que las precipitaciones en invierno son muy esporádicas.

12. La región Depresión del Balsas está definida por dicha provincia fisiográfica y la precipitación se asocia con sistemas de vientos de los dos litorales, el del Pacífico y del Golfo de México, determinados por los sistemas tropicales que ocurren en dicha zona. Los vientos

del Pacífico tienen mayor influencia, por lo que la cantidad de lluvia presenta un gradiente de disminución de Poniente a Oriente.

13. La región de Depresión de Chiapas se asocia con la provincia fisiográfica de este nombre en donde los sistemas de vientos que generan la lluvia son de ambos litorales, tanto del Atlántico como del Pacífico, concentrándose principalmente en la mitad caliente del año. El Sistema Montañoso de los Altos de Chiapas aísla a esta zona de la influencia de los frentes fríos que se dan de octubre a mayo, por lo que las lluvias son principalmente de régimen de verano con precipitaciones mayores de junio a octubre. La cantidad de precipitación es considerablemente menor que el de las regiones al sur y al norte por el efecto aislante de los sistemas montañosos de los Altos de Chiapas al norte y de la Sierra Madre de Chiapas al sur.

14. La región de Península de Yucatán se asocia también con la provincia fisiográfica del mismo nombre y la precipitación se deriva principalmente con los sistemas de vientos Alisios de la zona de alta presión del Golfo de México y a las ondas tropicales, aunque los primeros arrastran a los vientos de las ondas tropicales hacia el sur y disminuye la precipitación en la zona norte y la central poniente. Los sistemas intensos como son las tormentas tropicales y huracanes tienen incidencia importante principalmente en los meses de septiembre y octubre, además de que hay efecto de los frentes fríos en la mitad fría del año.

4. CONCLUSIONES

La variación de la precipitación en México es muy amplia, presentándose zonas con valores promedios anuales menores a los 50 mm en el noroeste del país y zonas con precipitaciones de 5000 a 5500 mm en el sureste. Asociada a la complejidad de las condiciones que determinan la precipitación se definieron catorce regiones de precipitación en México a partir del análisis de los distintos fenómenos de vientos que ingresan al país a lo largo del año y que tienen la posibilidad de generar precipitaciones, analizando el comportamiento de los mismos y las zonas que se ven favorecidas con la humedad que ingresan estos sistemas además de considerar los impactos de los factores modificadores del clima.

5. AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo, particularmente al Centro de Investigación de Recursos Naturales y Medio Ambiente por el apoyo financiero y logístico para la realización del Proyecto “Estimación de la severidad de la sequía temporal en diferentes regiones de México mediante el Índice Estandarizado de Precipitación”, del cual forma parte este trabajo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Ahrens, C. D. 2009. *Meteorology today: an introduction to weather, climate, and the environment*. 9th ed. Brooks Cole. Pacific Grove, CA: USA.
- Daly, C., R.P. Nielson, and D.L. Phillips. 1994. A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain. *J. Appl. Meteorol.* 33:140-158
- Englehart, P.J., and A.V. Douglas. 2002. Mexico's summer rainfall patterns: an analysis of regional modes and changes in their teleconnectivity. *Atmosfera* 15: 147-164.
- García, E., R. Vidal, M.D. Cardoso y M.E. Hernández. 1983. Las regiones climáticas de México, en *Memorias del IX Congreso Nacional de Geografía, Tomo 1:123-130*, Guadalajara, Jal. México.

- García, E., R. Vidal, y M.E. Hernández. 1989. Las regiones climáticas de México, en García de Fuentes, A. ed. *Atlas Nacional de México*, Instituto de Geografía, UNAM, vol. 2, cap. IV, num 10, mapa escala 1:12 000 000.
- Gómez, J.D., Etchevers, J.D., Monterroso, A.I., Gay, C., Campo, J. y Martínez, M. 2008. Spatial Estimation of Mean Temperature and Precipitation in areas of scarce Meteorological Information. *Atmósfera* 21(1):35-56
- Gómez, J.D., Monterroso, A.I., Tinoco, J.A., Toledo, M.L., Conde, C. y Gay, C. 2009. Informe del Sector Forestal ante la Cuarta Comunicación Nacional de México ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. SEMARNAT-INE, UNAM, UCh. 93 pp.
- Monterroso, A.I. y Gómez, J.D. 2003. Escenarios Climatológicos de la República Mexicana ante el Cambio Climático. Comisión Nacional de las Zonas Áridas y Universidad Autónoma Chapingo Vol I. Chapingo, Mex. 174 pp
- Mosiño, P.A., and E. García, 1974. The climate of México. In: R.A. Bryson and F. K. Hare (Eds) *World Survey of Climatology*, Vol. 2, *Climates of North America*, Elsevier, 373-404.
- Vidal-Zepeda, R. 2005. Las regiones climáticas de México. I.2. Textos monográficos: Naturaleza. Instituto de Geografía de la UNAM, México. 214 pp.
- WMO. 2007. Base de Datos Climatológica CLICOM. World Meteorological Organization. México.