

CARACTERIZACIÓN DEL ÍNDICE DE ARIDEZ EN MÉXICO USANDO DOS ALTERNATIVAS DE ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL Y ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Jesús David GÓMEZ DÍAZ, Alejandro Ismael MONTERROSO RIVAS
Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo
dgomez@correo.chapingo.mx, aimrivas@correo.chapingo.mx

RESUMEN

Se delimitaron las Áreas de Influencia Climática (AIC) para todo el territorio de México mediante la sobreposición de las capas de precipitación (P) y temperatura (T) media anual delimitadas a escala 1:250 000 con una herramienta de un Sistema de Información Geográfica. Para cada AIC se generaron las bases de datos mensuales de variables climáticas y se estimó la Evapotranspiración Potencial (ETP) por dos metodologías: a) Thorthwaite modificado por Dunne y Leopold y b) Penman modificado por Monteith. Se calculó el Índice de Aridez (IA) a partir de la relación P/ETP para el escenario base (promedio de 1970 a 2000) usando los valores de ETP calculados por los dos métodos indicados. Asimismo, en cada AIC a las variables climáticas mensuales se aplicaron las razones de cambio de los modelos generales de circulación atmosférica GFDLCM 2.0 y el HADGEM 1, en el escenario A2 para el horizonte de tiempo al 2050 y se estimaron los respectivos IA con los valores de P y ETP obtenidos. Se elaboraron los mapas y las bases de datos del IA para el escenario base y cada uno de los escenarios de cambio climático mencionados, agrupando este parámetro en cuatro categorías (Áridos, Semiáridos, Subhúmedos secos y Subhúmedos húmedos y húmedos).

Palabras clave: Índice de Aridez, Cambio Climático, Evapotranspiración Potencial, México.

ABSTRACT

The Areas of Climatic Influence (ACI) were delimited for the entire Mexican territory by overlapping the shape files of mean annual precipitation (P) and mean annual temperature (T) that were previously delimited at 1: 250 000 scale using a Geographic Information System. For each ACI a monthly climatic variables data base were generated and then estimated the Potential Evapotranspiration (PET) using two methodologies a) the Thornthwaite modified by Dunne y Leopold and b) the Penman modified by Monteith. The Aridity Index (AI) was calculated using the ratio of P/PET for the base scenario (climatic variables averages from 1970 to 2000), for each ACI two AI were estimated one for the Thorntwaite PET and the other for Penman PET. Also, for each ACI were obtained the change ratios of the climatic variables by the Atmospheric General Circulation Models GFDLCM 2.0 and HADGEM 1, for the scenario A2 to the year 2050. Those change ratios were applied to the climatic variables in each ACI and calculated the PET for the two methodologies described and with the new values of P and PET the AI were estimated. The AI maps for the base scenario and the ones calculated for each climate change scenario were

constructed, grouping the AI into four categories (Arid, Semiarid, Sub humid dry and Sub humid moist and humids).

Key words: Aridity Index, Climatic Change, Potential evapotranspiration, Mexico.

1. INTRODUCCIÓN

Siguiendo los criterios de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación en países afectados por Sequía grave o Desertificación, misma a la que México se encuentra adherida, de acuerdo al Diario Oficial de la Federación del 1° de Junio de 1995, nuestro país cuenta con 1 056 830 km² con zonas áridas, semiáridas o subhúmedas secas, que representan el 54% de la superficie total de la República Mexicana (Monterroso et al., 1999). Sin embargo, las estimaciones bajo el criterio que contempla el balance de humedad en el suelo y su disponibilidad para las plantas (Dunne y Leopold, 1978), México cuenta con una superficie de 1 197 991 km² con déficit de humedad durante el año que va de muy severo, severo a moderado, lo que representa el 61.2% del país (Monterroso y Gómez, 2003a). En el anterior trabajo, las zonas con déficit muy severo representan el 12%, con déficit de humedad severos el 33.6% y las zonas con déficit de humedad moderados representa el 16% de México. En general en las áreas antes descritas, el proceso de desertificación es uno de los riesgos latentes al presentarse la degradación de tierras como resultado de varios factores, incluyendo las variaciones climáticas y las actividades humanas (UNCCD, 1994). Varios estudios (SEMARNAT, 2005; CONAZA, 2003) mencionan que la extensión afectada por este proceso varía entre un 49 y un 65% de la superficie nacional, afectando principalmente la región norte del país.

Por la importancia que revisten las Zonas Áridas, Semiáridas y Subhúmedas secas en nuestro país se hace necesario una caracterización detallada de las mismas, en cuanto a los aspectos del clima así como de algunos elementos del ambiente que aumente el conocimiento de las mismas, para entender su potencial y los cuidados que se deben tener en las propuestas de manejo considerando la fragilidad natural de las mismas. Las clasificaciones climáticas aplicadas en México han sido muy diversas, esta divergencia de métodos, superficies y criterios, obedecen en gran medida al objetivo y la utilidad de la información cartográfica que buscaban los diferentes autores y de los elementos técnicos que aplicaron así como la información que disponían. En este sentido, la naturaleza de la información utilizada incluso en estudios recientes, fue la que estaba sistematizada y disponible, la cual corresponde a décadas atrasadas (CONABIO, 1998), esto representa una limitante en el entendimiento de la dinámica del clima en nuestro país por los cambios marcados que se han sentido en diferentes partes del territorio nacional. Por tal motivo se requiere utilizar información más completa y actualizada, así como la aplicación de nuevos procedimientos en la caracterización más objetiva de las distintas variables climáticas y la definición de los diferentes tipos climáticos de la República Mexicana. Además de lo anterior, es imprescindible incorporar a las caracterizaciones climáticas comportamientos que bajo la evaluación del cambio climático se presenten para el país. Los últimos escenarios de cambio climático (Conde et al., 2008) sugieren que las zonas actualmente con déficit en la precipitación, serán las que estarán más propensas a ser afectadas por sequías recurrentes, lo que aunado con el incremento de la temperatura impactará las condiciones ecológicas y su capacidad productiva al acentuarse el déficit hídrico. Dicho comportamiento ha sido ratificado en la tercera comunicación nacional (INE-SEMARNAT, 2006) y en los estudios que integra la cuarta comunicación nacional (INE-SEMARNAT, 2009).

Por lo anterior, el presente trabajo consiste en la caracterización de las Zonas Áridas, Semiáridas y Subhúmedas secas utilizando el Índice de Aridez bajo dos enfoques distintos, partiendo de una delimitación detallada de las variables climáticas con información actual y considerando los impactos del cambio climático utilizando al menos dos modelos generales de circulación atmosférica y en el escenario más probable (A2), esto para el horizonte de tiempo al 2050. Esta información permitirá a las instituciones, tanto federales, estatales como municipales, realizar la planificación del uso, manejo, explotación y preservación de los recursos naturales de las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas del país, así como el realizar la transferencia de tecnología de acuerdo a las condiciones ecológicas de las zonas considerando los cambios en los ecosistemas derivados del calentamiento global.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Delimitación de variables climáticas y generación de las Áreas de Influencia Climática

Se generó el escenario base de variables climáticas a nivel regional escala 1:250 000 para todo México, con información actualizada reportada para las distintas 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. Para la totalidad de las estaciones elegidas se obtuvo el promedio mensual y el anual de las variables temperatura, precipitación y nubosidad, estos valores se utilizaron para la creación de los mapas de isoyetas e isotermas y las bases de datos en las Áreas De Influencia Climática (AIC), mismas que son definidas como “*unidades geográficas que representan las condiciones anuales y mensuales de las variables temperatura y precipitación en una determinada región de la superficie terrestre*” (Gómez et al., 2008).

Para la delimitación de las isotermas e isoyetas medias anuales se utilizó el método descrito por Gómez et al. (2008). Para las isotermas se generaron modelos de regresión lineal simple para las diferentes zonas de variación térmica del país delimitadas por Gomez et al. (2009) a partir del análisis del comportamiento de la temperatura con referencia a la altura del terreno, esto partiendo de la relación que guarda la variación de la temperatura con el rango altitudinal influenciado por las condiciones de posición geográfica y humedad de las distintas regiones del país. En las zonas sin variación altitudinal considerable se realizó la interpolación de los datos de las estaciones meteorológicas mediante el Sistema de Información Geográfico ArcView (ESRI, 2006). Para cada una de las zonas, se estimaron los modelos de regresión para cada mes y el anual, mismos que se aplicaron al modelo digital de elevación escala 1:50,000 (INEGI, 2006), con lo que se obtuvo el mapa de temperatura media anual y los de temperatura media mensual de México. Para el trazo de las isoyetas se utilizó el método gráfico, anotando los valores de precipitación media anual sobre imágenes de satélite Landsat 7 en falso color escala 1:250 000, asimismo se elaboraron cartas a la misma escala con el modelo digital de elevación, para hacer el análisis de los distintos sistemas de vientos que son los responsables de las precipitaciones en cada zona y se establecieron los impactos que tiene la orografía y otros factores en la cantidad de precipitación reportada por las estaciones meteorológicas. El trazado de las isoyetas se realizó estableciendo analogías entre las áreas con información y aquellas que no la tienen (Gómez et al., 2008). La delimitación de las AIC se desarrolló mediante la sobreposición de las capas de isoyetas e isotermas anuales con el Sistema de Información Geográfico ArcView (ESRI, 2006). Las AIC, fueron las unidades básicas en las que se generaron bases de datos de valores medios mensuales de las variables climáticas. La temperatura,

mediante la aplicación de los modelos de regresión obtenidos para cada zona térmica. La precipitación mediante la división del país en zonas con patrones similares de distribución de la precipitación como lo describe Gómez et al. (2009). Adicionalmente se generaron bases de datos necesarios para realizar el balance de humedad aplicando la metodología de Thornthwaite modificada (Dunne y Leopold, 1978; WRS, 2004; Monterroso y Gómez, 2003a, 2003b, 2004; Estrada-Berg, *et al.*, 2008) y se estimó la Evapotranspiración potencial (ETP) con el método de Thornthwaite y Matter (1957). Por las limitantes que presenta el método de Thornthwaite sobre todo en las zonas templadas se utilizó el método de Penman modificado por Monteith (Sys et al., 1991) para estimar la Evapotranspiración Potencial, aplicando el programa de CROPWAT (FAO, 2006), generando la base de datos de parámetros climáticos requerida por esta metodología en cada una de las AIC. La insolación y la humedad relativa se estimaron generando modelos regionales, en el primer caso de radiación global y aplicando los valores de nubosidad de las estaciones y para el segundo parámetro generando modelos a partir de la oscilación térmica (Ortiz, 1987) para cada zona con patrones de distribución de la precipitación similares como lo describe Gómez et al. (2007), la velocidad promedio del viento se estimó estableciendo relaciones de efecto de desviación y rugosidad del terreno asociado a las cadenas montañosas partiendo de los datos reportados en los observatorios del país.

2.2. Determinación de las variables climáticas bajo escenarios de Cambio Climático y generación de los mapas de Índice de Aridez

En cada AIC se aplicaron las razones de cambio estimadas por dos modelos generales de circulación atmosférica (GCM) que se usaron en la Cuarta Comunicación de México ante la Convención Marco de Cambio Climático el GFDLCM 2.0 y el HADGEM 1, en el escenario A2 para el horizonte de tiempo al 2050 (Conde et al., 2008).

Con la información de variables climáticas y elementos del medio, en cada AIC se realizó la determinación del Índice de Aridez (IA) que fue establecido en el Diario Oficial de la Federación (1 de junio de 1995) para definir las zona áridas, semiáridas y subhúmedas secas a partir de la relación Precipitación (P)/Evapotranspiración (ETP) como lo resume la Tabla 1. La generación de los mapas fue bajo dos enfoques, a) utilizando la ETP estimada por el método de Thornthwaite y Matter (1957) y b) utilizando la ETP estimada con método de Penman modificado por Monteith (Sys et al, 1991).

Con el Sistema de Información Geográfica ArcView (ESRI, 2006) se agruparon los IA en cuatro categorías: Áridos, Semiáridos, Subhúmedos secos, Subhúmedos húmedos y húmedos.

Con las bases de datos generadas, se delimitaron los mapas de las categorías de IA para el escenario base y cada uno de los escenarios de cambio climático mencionados.

Relación P/ETP	Categorías del Índice de Aridez
0,00 – 0,20	Áridos
0,21 – 0,50	Semiáridos
0,51 – 0,65	Subhúmedos secos
> 0,65	Subhúmedos húmedos y húmedos

TABLA 1: *Categorías del Índice de Aridez*

3. RESULTADOS

2.1. Delimitación de variables climáticas y generación de las Áreas de Influencia Climática

En la figura 1a se muestran las 25 zonas de variación térmica asociada a la altitud que fueron delimitadas para la Republica Mexicana esto a partir de la relación que guarda la variación de la temperatura con el rango altitudinal influenciado por las condiciones de posición geográfica y humedad de las distintas regiones del país. La Figura 1b muestra el mapa de rangos de temperatura media anual de México, mismos que presentan valores medios de hasta -4 C en las partes altas del Pico de Orizaba y del Popocatepetl a valores medios de hasta 29 C en las áreas bajas de la Depresión del Balsas y algunas pequeñas porciones de la planicie costera del Pacifico Sur.

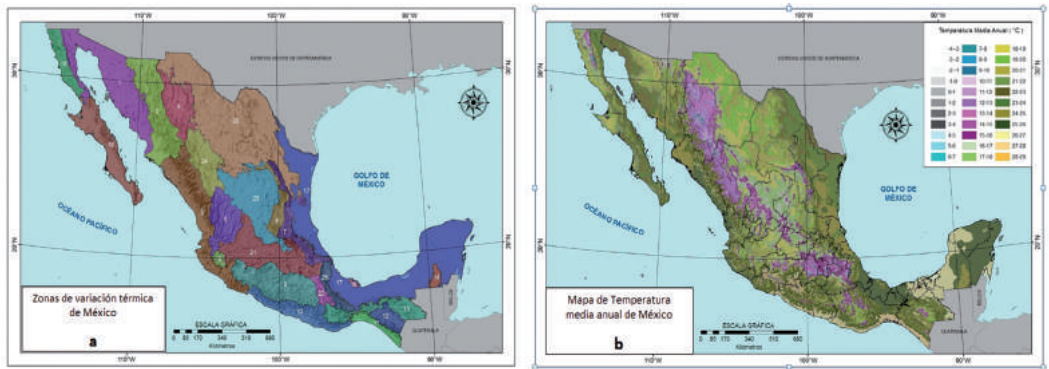


FIG. 1: Zonas de variación térmica (a) y mapa de temperatura media anual (b) de México delimitadas por Gómez et al. (2009).

En la figura 2a se muestran las 12 zonas de influencia de precipitación que fueron delimitadas para la Republica Mexicana a partir de la influencia de los diferentes fenómenos meteorológicos que afectan al país a lo largo del año y a la posición geográfica y el efecto de la orografía. La Figura 2b 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 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, Ver y área sur del Volcán Tacana.

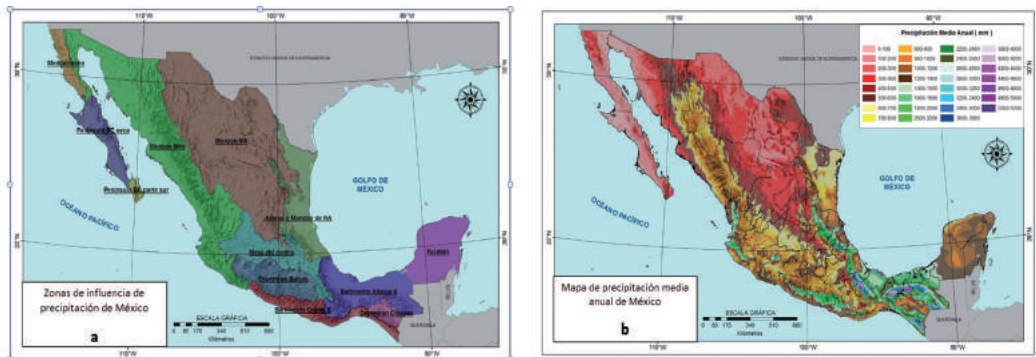


FIG. 2: Zonas de influencia de precipitación (a) y mapa de precipitación media anual (b) de México delimitadas por Gómez et al. (2009).

El mapa de Áreas de Influencia Climática obtenido de la sobreposición de la capa con los rangos de temperatura media anual y la de rangos de precipitación media anual comprendió más de 15 mil polígonos, a los cuales se les generaron sus respectivas bases de datos mensuales de variables climáticas.

2.2. Índices de Aridez estimado con la ETP por el método de Thornthwaite para el escenario base y con escenarios de cambio climático

En la Tabla 2 se presenta la información estimada para cada una de las cuatro clases del Índice de Aridez estimadas con la relación P/ETP, utilizando la ETP estimada por el método de Thornthwaite y Matter (1957), tanto para el escenario base (promedio de 1970 a 2000) y para los escenarios de Cambio Climático estimados con los Modelos Generales de Circulación Atmosférica GFDLCM 2.0 y HADGEM 1, en el escenario A2 para el horizonte de tiempo al 2050.

Clase de IA	Escenario Base		GFDLCM 2.0 escenario A2 para el 2050		HADGEM 1 escenario A2 para el 2050	
	Superficie (km ²)	Porcentaje del país	Superficie (km ²)	Porcentaje del país	Superficie (km ²)	Porcentaje del país
Árido	252.395,1	13,2	1.714,2	0,1	383.306,1	23,3
Semiárido	615.011,0	32,1	650.640,9	39,0	610.249,0	37,1
Subhúmedo seco	154.846,9	8,1	171.875,4	10,3	163.180,7	9,9
Subhúmedo húmedo y húmedo	891.390,1	46,6	844.602,8	50,6	488.274,8	29,7

TABLA 2: Superficie de las categorías del índice de aridez estimada con la ETP calculada con el método de Thornthwaite.

Los resultados obtenidos en el escenario base los IA secos (Árido, Semiárido y Subhúmedos secos) representan el 53.4% del país y al aplicar los modelos generales de circulación atmosférica en el escenario A2 para el horizonte de tiempo al 2050 los resultados obtenidos son contrastantes, por un lado en el escenario el GFDLCM 2.0 estima que la clase de IA secos se reducirá a un 49.4% de la superficie del país con la casi desaparición del IA Árido. Por otra parte, el modelo HADGEM 1 estima que los IA secos aumentarían a un 70.3% de la superficie del país duplicándose el IA Árido.

Los mapas (Figura 3) muestran en el escenario base que los IA Áridos y Semiáridos se ubican principalmente en el Noroeste y Norte del país a excepción de las regiones de las Sierras Madres Occidental y la Oriental. El Modelo GFDLCM 2.0 muestra un aumento en la categoría de IA subhúmedo húmedo principalmente en la región del a Sierra Madre Occidental y el modelo HADGEM 1 muestra un incremento considerable del IA Árido y Semiárido en la región Norte centro del país.

2.3. Índices de aridez estimado con la ETP por el método de Penman para el escenario base y con escenarios de cambio climático

En la Tabla 3 se presenta la información estimada para cada una de las cuatro clases del Índice de Aridez estimadas con la relación P/ETP, utilizando la ETP estimada por el método de Penman

modificado por Montheith (Sys et al., 1991), tanto para el escenario base (promedio de 1970 a 2000) y para los escenarios de Cambio Climático estimados con los Modelos Generales de Circulación Atmosférica HADGEM 1 y el GFDLCM 2.0, en el escenario A2 para el horizonte de tiempo al 2050. Los resultados obtenidos en el escenario base los IA secos (Árido, Semiárido y Subhúmedos secos) comprenden el 65.3% del país que es considerablemente superior al valor obtenido al estimado con la ETP calculada por el método de Thornthwaite. Al aplicar los modelos generales de circulación atmosférica en el escenario A2 para el horizonte de tiempo al 2050 los resultados obtenidos son también contrastantes, por un lado en el escenario el GFDLCM 2.0 estima que la clase de IA secos se reducirá a un 60.4% de la superficie del país con una ligera disminución del IA Árido y Semiárido. Por otra parte, el modelo HADGEM 1 estima que los IA secos aumentaran a un 68.7% de la superficie del país con un aumento de casi cuatro veces del IA Árido, quedando este último en 32.4%.

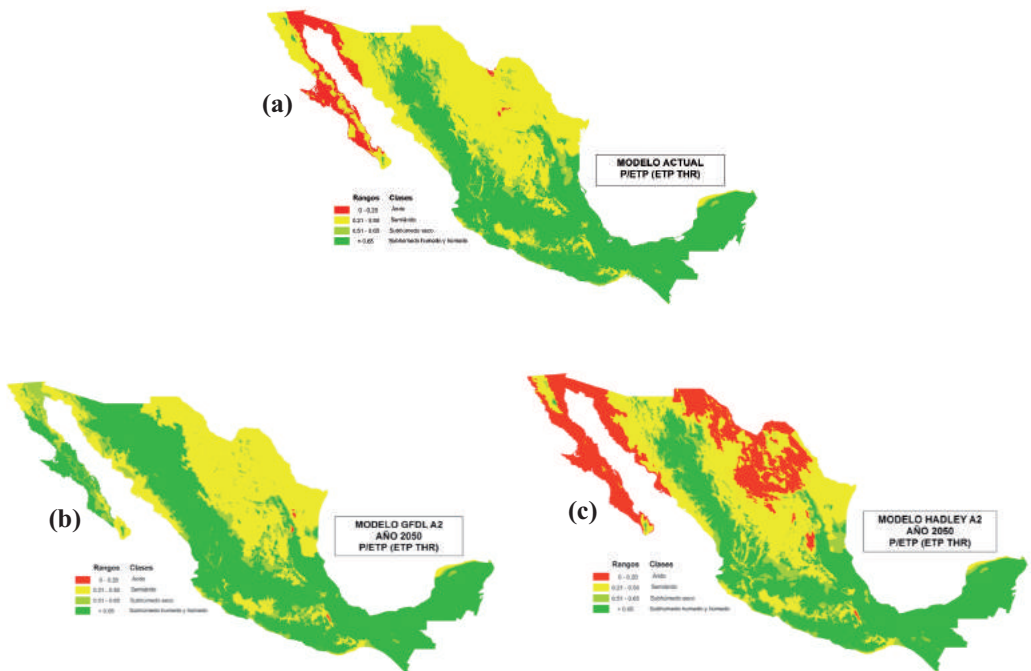


FIG. 3: Clases de Índices de Aridez en México estimado con la ETP calculada por el método de Thornthwaite. (a) Escenario base (1970-2000); (b) GFDLCM 2.0, en el escenario A2 al 2050 (c) HADGEM 1 en el escenario A2 al 2050.

Los mapas (Figura 4) muestran en el escenario base que los IA Áridos y Semiáridos se ubican principalmente en el Noroeste y Norte del país a excepción de las regiones de las Sierras Madres Occidental y la Oriental en un patrón similar al obtenido con la aplicación de la ETP estimada por Thornthwaite. El Modelo GFDL muestra un aumento en las categoría de humedad en la zona Noroeste del país en la que prácticamente desaparecen los IA Áridos y esta categoría se distribuiría en la parte norte centro del país. Por su parte el modelo Hadley también estima un incremento considerable del IA Árido en la parte Norte Centro del país cubriendo prácticamente la mayor parte de la mesa del norte y algunas porciones de la mesa central, así como un aumento en la zona Noroeste.

Clase de IA	Escenario Base		GFDLCM 2.0 escenario A2 para el 2050		HADGEM 1 escenario A2 para el 2050	
	Superficie (km ²)	Porcentaje del país	Superficie (km ²)	Porcentaje del país	Superficie (km ²)	Porcentaje del país
Árido	177.184,8	9,2	142.988,9	7,3	629.761,3	32,4
Semiárido	951.993,9	49,3	828.593,2	42,6	563.828,3	29,0
Subhúmedo seco	132.272,6	6,8	203.687,8	10,5	143.402,1	7,4
Subhúmedo húmedo y húmedo	670.590,5	34,7	770.822,0	39,6	609.100,5	31,3

TABLA 3: Superficie de las categorías del índice de aridez estimada con la ETP calculada con el método de Penman.

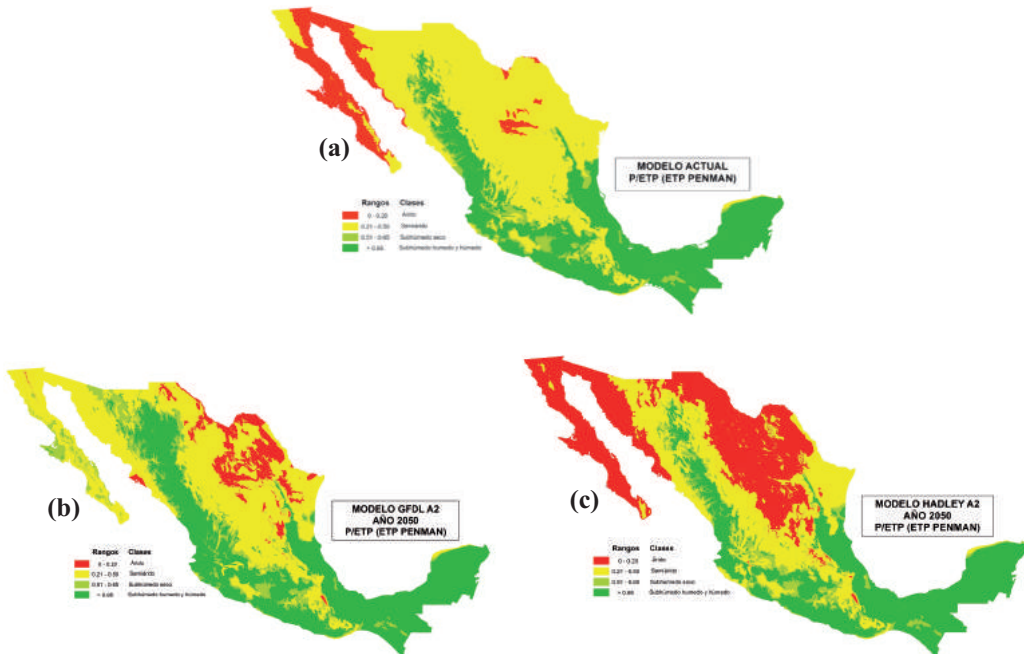


FIG. 3: Clases de Índices de Aridez en México estimado con la ETP calculada por el método de Penman. (a) Escenario base (1970-2000); (b) GFDLCM 2.0, en el escenario A2 al 2050 (c) HADGEM 1 en el escenario A2 al 2050.

4. CONCLUSIONES

Los resultados estimados de los Índices de Aridez para el escenario base con el uso de la ETP con el método de Thornthwaite y el de Penman difieren en mas del 10% en las zonas catalogadas como secas. Al aplicar la ETP de Thornthwaite el 53,4% de la superficie del país se cataloga como seca y con la ETP de Penman este valor es de 65,3%. Los escenarios de Cambio Climático estimados con los Modelos Generales de Circulación Atmosférica GFDLCM 2.0 y el HADGEM 1, en el escenario

A2 para el horizonte de tiempo al 2050, son muy contrastantes por su parte el modelo GFDLCM 2.0 muestra una ligera tendencia de disminución en las zonas secas, mientras el modelo HADGEM 1 estima un incremento considerable de dichas zonas. Por tal motivo la incertidumbre en los escenarios de cambio climático es alta sobre las condiciones climáticas que podría presentarse en el país para el periodo de tiempo considerado de acuerdo a las razones de cambio obtenidas para el escenario A2.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento del proyecto titulado “Actualización de la delimitación de las zonas áridas, semiáridas y sub-húmedas secas de México a escala regional.” con clave SEMARNAT-2008- 108316 del Fondo Sectorial de Investigación Ambiental, Convocatoria 2008 del cual el presente trabajo forma parte.

BIBLIOGRAFÍA

- CONABIO (Comisión Nacional para el Estudio de la Biodiversidad). 1998. Carta de Climas de la República mexicana. Mexico, D.F.
- CONAZA. 2003. (Comisión Nacional De Zonas Áridas)- Universidad Autónoma Chapingo. Escenarios Climatológicos De La República Mexicana Ante El Cambio Climático. Conaza- Universidad Autónoma Chapingo, Vol I, 170p.
- Conde, C., Martínez, B., Sánchez, O., Estrada, F., Fernández, A., Zavala, J., y Gay, C. 2008. Escenarios de Cambio Climático (2030 Y 2050) Para México y Centro América. Temperatura y Precipitación. [Documento en Línea]. Disponible desde Internet en <http://www.Atmosfera.unam.mx/Climatico/Escenarios/Escenarios_de_Cambio_Climatico_Mexico_2008.htm>
- Dunne, T. y Leopold, L. 1978. Water in Environmental Planning. Ed. W. H. Freeman. USA.
- ESRI. 2006. Environmental Systems Research Institute, Inc., 380 New York Street. Redlands. CA. 92373 USA.
- Estrada-Berg, J.B., Gómez, J.D., Estrada-Berg, J.W., Monterroso, A.I. y Tinoco, J.A. 2008. El Cambio Climático en la República Mexicana, Aplicaciones Metodológicas en el Manejo de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. México. 134 Pp.
- FAO. 2006. CROPWAT. Metodología para determinar los requerimientos de riego de los cultivos. Roma.
- Gómez, J.D., Monterroso, A.I. y Tinoco, J.A. 2007. Distribución del Cedro Rojo (*Cedrela Odorata*) en el Estado de Hidalgo, bajo condiciones actuales y escenarios de cambio climático. Madera y Bosques 13(2):29-49.
- 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, UACH. 93 pp.
- INE – SEMARNAT - PNUD-GEF-EPA, 2006. México, Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, México 208p.
- INE – SEMARNAT. 2009. México, Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, México.
- INEGI. (21/11/2006) www.inegi.gob.mx, MÉXICO.
- Monterroso, A.I, Guerrero, J.A. y Gómez, J.D. 1999. Mapa De Zonas Áridas, Semiáridas y Subhúmedas Secas de la Republica Mexicana de acuerdo al criterio de la Convención de Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación en Países Afectados por Sequía Grave o Desertificación. UACH - CONAZA. Chapingo, Mex.
- Monterroso, A.I. y Gómez, J.D. 2003a. Delimitación de las Zonas Áridas, Semiáridas y Subhúmedas Secas de acuerdo a la Metodología de Thornthwaite Modificado. Comisión Nacional De Las Zonas Áridas y Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Mex.

- Monterroso, A.I. y Gómez, J.D. 2003b. Escenarios Climatológicos de la Republica Mexicana ante el Cambio Climático. Comisión Nacional de las Zonas Áridas y Universidad Autónoma Chapingo Vol I. Chapingo, Mex. 174 pp
- Monterroso-Rivas, A.I. y Gómez, J.D. 2004. Escenarios Climatológicos de la Republica Mexicana ante el Cambio Climático Vol II. Comisión Nacional de las Zonas Áridas y Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Mex. 139 pp.
- Ortiz, C.A. 1987. Elementos de Agrometeorología Cuantitativa: Con aplicaciones en la Republica Mexicana. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Mex.
- SEMARNAT. 2005. Informe de la situación del Medio Ambiente en México, Compendio de Estadísticas Ambientales, México 380p.
- Sys, C., Van Ranst, E. and Debaveye, J. 1991. Land evaluation. Part 1 : Principles in land evaluation and crop production calculations. Agricultural Publications no. 7. University of Gent, Belgium.
- Thornthwaite, C.W. y Matter, J.R. 1957. Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance. *Climatology* 10(3):185-311
- UNCCD. 1994. Convención de las Naciones Unidas para Combatir la Desertificación y Sequía Grave en Países Afectados por Desertificación, en especial para África.
- WMO. 2007. Base de Datos Climatológica CLICOM. World Meteorological Organization. México.
- WRS. 2004. National Action Program to Combat Desertification and Mitigate the Effects of Drought. Water Resources Secretarial, Environment Ministry. Brazil.