

Comportamiento de la vegetación bajo escenarios de cambio climático en la reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo, México

JESÚS DAVID GÓMEZ-DÍAZ^{1*}, ALEJANDRO ISMAEL MONTERROSO-RIVAS¹, JUAN ANGEL TINOCO-RUEDA¹ Y JOSÉ LÓPEZ-GARCÍA²

(1) DEPARTAMENTO DE SUELOS, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO, MÉXICO

(2) INSTITUTO DE GEOGRAFÍA, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

*EMAIL: DGOMEZ@CORREO.CHAPINGO.MX

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue simular y cuantificar los cambios en las condiciones climáticas que un posible aumento en las concentraciones de gases de efecto invernadero puede ejercer en la Reserva de la Biosfera “Barranca de Metztitlán”. Se realizó la caracterización de las variables climáticas temperatura y precipitación, tomando como periodo base 1961-1990 y se aplicaron los factores de corrección de cambio climático obtenidos de los modelos de circulación general (GCM) Norte Americano (GFDL) e Inglés (HADLEY) para los años 2020 y 2050. Posteriormente se realizó la caracterización climática de acuerdo con Köppen, modificada por E. García para los cinco escenarios evaluados (escenario base, GFDL al 2020 y 2050, así como HADLEY al 2020 y al 2050). Los resultados muestran un incremento considerable para el clima árido bajo el modelo Inglés, al observarse aumentos del 57.1% y 62.4% de la superficie ocupada por dicho clima para los periodos 2020 y 2050 respectivamente. Por su parte, aplicando el modelo Norte Americano se observa un incremento en la superficie ocupada por el clima semiárido, al aumentar su superficie en 24.2% para el año 2020 y 23.9% para el 2050. Los climas templados disminuyen su área considerablemente (23% en promedio) bajo los dos modelos de cambio climático. Se observa una tendencia en el incremento de los ambientes secos por lo que se espera una alteración en la composición y distribución de las comunidades vegetales, en especial los bosques templados. Palabras clave: Cambio climático, GFDL, HADLEY, Metztitlán, México, vegetación.

ABSTRACT

It was defined classes with different levels of suitability for corn and coffee, according to variables such as temperature, precipitation and altitude. The climate change scenarios applied were GFDL (North American), HADLEY (English) and ECHAM (German), simulated for 2020 and 2050 (Gay et al., 2006). The suitability classes were divided in suitable, moderate suitable, marginal suitable and not suitable. A comparison was realized between the information obtained for each model and the suitability classes for corn and coffee obtained like base map. The climate changes

scenarios suggest reductions in the precipitation range that vary from 10 to 20% with respect of the observed values. The temperature will increase from 1°C for 2020 to 4°C for the year 2050, in average for the region. This will have repercussion on the water infiltration capacity and available water for coffee and corn production, making more vulnerable the agricultural production. Key words: Agriculture, suitability, coffee, climate change, corn, risk, Veracruz, vulnerability.

Los cambios en la composición y distribución de la biodiversidad en una determinada superficie son procesos que han ocurrido desde la aparición de la vida en el planeta tierra, muchas son las causas que han originado dichas modificaciones como por ejemplo movimiento de las masas continentales, vulcanismo, evolución de las especies, interacciones entre organismos, cambios en los patrones del clima, entre muchas otras (Granados & López, 2000). De los mencionados anteriormente, el clima, en especial los elementos temperatura y precipitación, forman parte de los principales factores que determinan el desarrollo principalmente de las comunidades vegetales, ya que a diferencia de la fauna no pueden emigrar para colonizar lugares más confortables. Los periodos de floración, letargo, germinación, entre otras fases fenológicas están determinados por la cantidad de calor y humedad presentes en la atmósfera o en la capa de desarrollo radicular del suelo, con el paso del tiempo las especies se han adaptado a las condiciones termo-pluviales del lugar en donde habitan inclusive a los eventos máximos como pueden ser heladas, sequías, huracanes, etc., (Velázquez, 2002), sin embargo, las actividades antropogénicas tales como el cambio de uso de suelo, quemadas inducidas, emanaciones de sustancias tóxicas, entre otras han alterado la distribución y el desarrollo natural de las especies vegetales (Granados & López, 2000).

Dentro de estos factores adversos un posible cambio en el sistema global climático por efecto del incremento en las emanaciones de los llamados gases de efecto invernadero (GEI) ha provocado el interés de organismos internacionales así como de instituciones educativas y de investigación, a evaluar y cuantificar los impactos que dicho fenómeno puede ejercer sobre los ecosistemas naturales y antropogénicos, así como sobre los diferentes sectores productivos.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, IPCC por sus siglas en inglés, que fue creado en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), es actualmente la entidad líder sobre estudios con bases científicas acerca del cambio climático en todo el planeta; dentro de las actividades del IPCC está emitir periódicamente informes en donde se presenten los avances en las investigaciones y casos de estudio sobre el cambio climático, en su cuarto informe de evaluación (IPCC, 2007) se establece que la temperatura media anual de la superficie terrestre ha aumentado 0.6°C aproximadamente en el siglo pasado, siendo la década de los 1990's la más cálida. En el mismo documento se estipula que los episodios de calor del fenómeno el Niño – Oscilación del Sur han sido más frecuentes, persistentes e intensos desde mediados de los años 70 en comparación con los 100 años anteriores.

Otros impactos registrados se presentan en el Ártico, como lo registra el informe del Arctic Climate Impact Assessment en donde se señala que la temperatura invernal de esa región ha aumentado entre 3°C y 4°C, la misma tendencia se aprecia en el cauce de los ríos los cuales presentan su escurrimiento máximo en épocas más tempranas (ACIA, 2004).

Es por lo anterior que en los últimos 6 años se han desarrollado investigaciones para poder establecer un escenario a futuro de la situación de los ecosistemas con base en las nuevas variables climáticas estimadas, para poder realizar lo anterior se han desarrollado los llamados modelos de cambio climático que son en su mayoría modelos de circulación general de la atmósfera, GCM por sus siglas en inglés, en donde se recrean las condiciones de la atmósfera introduciendo a los modelos las nuevas concentraciones de GEI, dentro de los centros que desarrollan GCM se pueden enlistar al Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL), Canadian Climate Model (CCM), The Hadley Centre for Climate Prediction and Research (HadCM), etc. Los resultados de las simulaciones de dichas instituciones son tasas de cambio en temperatura media, máxima, mínima, precipitación, presión atmosférica, entre otras variables que se aplican a las condiciones actuales para poder establecer cuantitativamente el panorama climático esperado a futuro. Las salidas de los GCM han sido de gran ayuda en los estudios de impacto y vulnerabilidad ante el cambio climático como se puede observar en las investigaciones de Gómez, *et.al.* (2007), Bakkenes, *et.al.*, (2006), Tinoco (2005), Beaumont, *et.al.*, (2005), Berry, *et.al.*, (2002), etc.

Berry, *et.al.* (2002) utilizó el programa automatizado SPECIES (Spatial Estimator of Climate Impacts on the Envelope of Species) para la determinación de la distribución espacial de 6 plantas en Inglaterra e Irlanda utilizando el modelo de cambio climático HadCM2. Por su parte Beaumont, *et.al.* (2005) aplicó el modelo BIOCLIM para la distribución de 25 especies de mariposas australianas. Los resultados de ambas investigaciones mostraron un comportamiento similar, Berry, *et.al.* (2002) concluyó que solo 2 de las 6 especies aumentan su distribución bajo condiciones climáticas futuras y por el otro lado las 4 restantes disminuyen su superficie; Beaumont, *et.al.* (2005) por su parte concluye que al aplicar un cambio en las variables climáticas se obtiene una disminución de entre 12.6% y 15.7% en la distribución de las mariposas australianas. Gómez, *et.al.* (2007) realizó una simulación de la distribución de *Cedrela odorata* en el estado de Hidalgo aplicando los GCM: GFDL-R30 y HadCM3 para los periodos 2020 y 2050 obteniendo como resultados un aumento del 2.6% y 4% en el área potencial de distribución de dicha especie al aplicar el modelo GFDL para los años 2020 y 2050 respectivamente y una disminución al aplicar el modelo HadCM3 de 1.3% para el año 2020 y 0.6% para el año 2050. Para el presente estudio se planteó como objetivo el cuantificar los cambios en los tipos de climas dentro de la Reserva de la Biosfera “Barranca de Metztitlán” para correlacionar dichos cambios con los tipos de vegetación asociados a ellos.

Los objetivos de este trabajo son elaborar la cartografía actualizada de las variables climáticas temperatura y precipitación en la Reserva de la Biosfera “Barranca de Metztitlán” (RBBM) y realizar la clasificación climática de acuerdo a Köppen modificado por E. García (2004) bajo condiciones actuales y aplicando los modelos de cambio climático norteamericano e inglés

para los periodos 2020 y 2050; y realizar una correlación entre los posibles cambios en los tipos de climas con la vegetación asociada.

METODOLOGÍA

Delimitación de Áreas de Influencia Climática.

Para la búsqueda de información climática inicialmente se ubicaron las estaciones meteorológicas que se encuentran dentro de los límites y en la periferia de la reserva, posteriormente se utilizaron las normales climatológicas publicadas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2000) para la extracción de los datos promedios mensuales y anual de precipitación y temperatura para el periodo 1961-1990. Para el trazo de las isoyetas se utilizó la metodología propuesta por Gómez, *et.al.* (2008) mediante la cual se utiliza como información base espaciomapas y/o imágenes de satélite, modelos digitales de elevación, curvas de nivel y los datos de precipitación de las estaciones meteorológicas.

Utilizando el software de sistemas de información geográfica ArcView v.3.2 se sobrepusieron éstos productos cartográficos y se trazaron las isoyetas tomando en cuenta la distribución de la vegetación, la dinámica de circulación de los vientos así como los fenómenos meteorológicos que afectan a la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztlán. Lo anterior para conformar el mapa de precipitación media anual y de cada mes.

Para obtener las isotermas se crearon doce modelos mensuales y uno anual de regresión lineal simple para observar el comportamiento de la temperatura con referencia a la altitud (Gómez, *et.al.* 2008). Aplicando los modelos obtenidos se trazaron las isolíneas de temperatura por cada rango altitudinal, conformando así los trece mapas de temperatura mensual y anual. Finalmente se obtuvieron las áreas de influencia climática (AIC) al sobreponer, mediante el programa de sistemas de información geográfica ArcView v.3.2 las isoyetas con las isotermas anuales, a cada una de las AIC resultantes se le atribuyó su correspondiente base de datos de temperatura y precipitación mensual.

Aplicación de Modelos de Cambio Climático.

La cobertura de las áreas de influencia climática (AIC) obtenidas en el paso anterior se sobrepuso al mapa de los cambios en temperatura y precipitación de los modelos generales de circulación (GCM) norteamericano (GFDL) e inglés (HADLEY) para los periodos 2020 y 2050. Las tasas de cambio de los GCM fueron obtenidas del Canadian Institute for Climate Studies.

Clasificación climática de Köppen modificada por E. García (2004).

Se obtuvo la clasificación climática para las AIC bajo condiciones actuales así como bajo los dos GCM usando la metodología establecida por E. García (2004). Esta clasificación toma como datos base la temperatura y precipitación media mensual y anual para obtener una clave del tipo de clima en donde se establecen las condiciones de temperatura, el régimen pluvial, presencia o ausencia de canícula, la oscilación de la temperatura, etc.

Correlación clima-vegetación.

Se utilizó la distribución espacial de los tipos de climas del escenario base para obtener una correlación con los tipos de vegetación presentes con base en lo reportado en el Programa de Manejo y Conservación de la reserva (CONANP, 2003), con lo anterior se analizó la distribución del clima bajo los modelos de cambio climático para obtener una aproximación de la vulnerabilidad de la vegetación actual.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos en la parte correspondiente a los cambios en la temperatura se observa un incremento para todos los meses en ambos modelos de cambio climático, el valor medio anual se incrementa en 9.4% y 18.0% para el 2020 y 2050 respectivamente. Aplicando el modelo HADLEY para el año 2020, el mes más caluroso es Mayo con 22.4°C y para el 2050 se presenta en el mismo mes pero con 23.3°C. Bajo el modelo GFDL el incremento en la temperatura media anual es de 9.2% para el 2020 y 12.9% para el 2050 siendo también Mayo el mes más cálido con 22.1°C para el 2020 y 22.6°C para el 2050, los valores anteriores se pueden cotejar con los datos del escenario base (1961-1990) que presenta su mes más caluroso en Mayo con 20.6°C.

Lo que respecta a la precipitación los resultados en ambos modelos presentan variaciones ya que bajo el modelo HADLEY se observa una disminución en la media anual del 17.1% para el año 2020 y 18.6% para el 2050, analizando la distribución de la precipitación a lo largo de los 12 meses para el año 2020 todos presentan una disminución en la lámina precipitada con respecto a las condiciones actuales siendo Septiembre el mes con mayor merma en la lluvia con 27.3%, para el año 2050 3 meses (Marzo, Abril y Noviembre) registran un aumento, sin embargo en todos los demás meses se observa un decremento en la precipitación, en especial Septiembre en donde se registra la mayor disminución con un 40.6% menos.

La clasificación climática con base en Köppen para el escenario actual establece que existen 4 grandes grupos climáticos: semicálido, templado, semiárido y árido, ocupando una superficie de 9.7 ha, 25.9 ha, 58.9 ha y 1.5 ha respectivamente. Para los escenarios futuros específicamente para el HADLEY al año 2020 se observa una disminución en los primeros 3 climas antes mencionados 2.6% en los semicálidos, 20.9% para los climas templados y 33.6% para los semiáridos, y un aumento del 57.1% en los climas áridos, para ese mismo modelo al año 2050 se presenta la misma tendencia que para el año 2020 a diferencia que el incremento en los climas áridos se acentúa aun más (62.4%) además en este escenario aparece el clima cálido con 787.3 ha. En el Cuadro 1 se observan las superficies de los climas bajo el modelo HADLEY comparados con la actual.

El modelo GFDL presenta valores muy similares entre los dos periodos evaluados, para el 2020 se observa una disminución en los climas semicálidos (2.4%), templados (20.9%) y áridos (0.9%) pero un aumento en los semiáridos (24.2%), para el año 2050 los climas semicálidos disminuyen en un 0.2%, los templados en 24.0% y los áridos en 0.9% y de la misma manera que en el periodo anterior los climas semiáridos aumentan (23.9%) además se aprecia la aparición de los climas cálidos quienes ocupan una superficie de 1,143.3 ha. En el Cuadro 2 se aprecia el área ocupada bajo el escenario actual y aplicando el modelo GFDL.

CONANP (2003) establece que dentro de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztlán existen 6 grandes grupos de tipos de vegetación, la superficie de cada una se distribuye de la siguiente manera: el bosque tropical caducifolio (1.3%), matorral xerófilo (21.3%), matorral submontano (47.1%), bosque de coníferas (7.4%), pastizal (1.4%) y la vegetación ribereña (1.2%).

Haciendo una correlación entre los tipos climáticos y las comunidades vegetales apoyándose con lo reportado por González (2004) se establece que los climas áridos son los ambientes en donde generalmente se desarrollan las comunidades de pastizal y matorral xerófilo, en los climas semiáridos se encuentra el matorral submontano y en los climas templados se encuentran los bosques de coníferas y también cierta clase de pastizales, los climas cálidos y semicálidos corresponden al bosque tropical caducifolio y por último la vegetación ribereña como se caracteriza por desarrollarse en los suelos inundados que se encuentran en la periferia de la laguna de Metztlán esta sujeta a los regímenes de lluvia. Lo anterior refleja que bajo el modelo de cambio climático HADLEY, en donde la superficie de los climas semicálido, templado y semiárido se reducen, las comunidades de bosque tropical caducifolio y matorral submontano pueden mermar su área de distribución, pero los más afectados serían los bosques de coníferas ya que la superficie del clima en donde ellos se desarrollan disminuye considerablemente, en especial para el año 2050, Cuadro 1. Por el otro lado los climas áridos bajo este modelo aumentan de manera exuberante, por lo que se espera que los tipos de vegetación pastizal y matorral xerófilo presenten una explosión en su área de desarrollo. Aplicando el modelo GFDL en donde se presenta aumento en la superficie de los climas semiáridos y disminución en los semicálidos, templados y áridos, se puede establecer que el matorral submontano presentará un incremento en su área de distribución y por el contrario el matorral xerófilo, el pastizal, el bosque tropical caducifolio y los bosques de coníferas, disminuirán su área de distribución. En la Cuadro 3 se observan los cambios en superficie correlacionando clima-vegetación. Para el caso de la vegetación ribereña y tomando como referencia la precipitación, se puede esperar que bajo el modelo HADLEY disminuya su superficie ya que dicho modelo predice una merma en la cantidad de precipitación y bajo el modelo GFDL se aprecia un aumento.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Con base en los objetivos planteados y en los resultados obtenidos se presentan las siguientes conclusiones. Aplicando los modelos de cambio climático HADLEY y GFDL se obtienen diferentes escenarios del comportamiento de las comunidades vegetales. Ambos modelos establecen un incremento en la temperatura y una disminución de la precipitación en el caso del modelo HADLEY y un aumento bajo el GFDL, dichas combinaciones alteran de manera muy diferente al comportamiento de los tipos de vegetación. El modelo inglés muestra un ambiente más seco, por lo que se espera que predomine el matorral xerófilo y el pastizal, y para el caso del modelo norteamericano el matorral submontano es el que presenta mayores beneficios para su desarrollo, resalta en ambos modelos el decremento significativo en los climas templados (23% promedio) y por lo consiguiente en los bosques de coníferas.

Los cambios observados en las comunidades vegetales, representan no solo simples alteraciones en la superficie de distribución de estas, como lo establece el Programa de Conservación y Manejo de la Reserva, si no que presentan además gran importancia por la presencia de biota desértica del pleistoceno, que la hace única en la zona del altiplano central de México, lo que ha ocasionado endemismos importantes, y por lo tanto, vulnerables a los cambios en su medio ambiente. Con lo anterior se espera que un aumento en la temperatura y precipitación como lo estima el modelo GFDL traiga consecuencias en las especies endémicas, así como alteraciones en el paisaje como por ejemplo, aumento en la erosión hídrica por el incremento en los escurrimientos. Por el contrario el modelo HADLEY, que establece condiciones más cálidas y con menor lluvia, señala que una de las comunidades más vulnerables son los bosques de coníferas, de donde las comunidades humanas obtienen beneficios como materias primas para construcción, así como combustible. Además, la incidencia y la intensidad de los incendios se esperarían que aumenten bajo las condiciones de dicho modelo.

Se propone establecer planes alternos de emergencia tomando como referencia la gama de escenarios que un cambio climático puede traer, para evitar la degradación del suelo, evitar la disminución de la calidad de vida de las personas que habitan dentro de la periferia de la reserva así como para proteger a las especies vegetales de importancia botánica y productiva. Es importante también poner atención en el aspecto de la gestión y políticas referentes al manejo y protección de los recursos naturales, tanto a nivel nacional, estatal y dentro de la misma reserva de la Biosfera, para asegurar a las futuras generaciones los bienes y servicios que esta área natural protegida ofrece.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Artic Climate Impact Assessment. 2004.** U.S.A., Cambridge University Press. 144 p.
- Bakkenes, M., B. Eickhout & R. Alkemade. 2006.** Impacts on different climate stabilization scenarios on plant species in Europe. *Global Environmental Change* 16(1): 19-28.
- Beaumont, L., L. Hughes & M. Poulsen. 2005.** Predicting species distribution: use of climatic parameters in BIOCLIM and its impacts on predictions of species current and future distributions. *Ecological Modelling* 186(2): 251-270.
- Berry, P., T. Dawson, P. Harrison & R. Pearson. 2002.** Modeling potential impacts of climate change on the bioclimatic envelope of species in Britain and Ireland". *Global Ecology and Biogeography* 11(6): 453-462
- CONANP 2003.** Programa de conservación y manejo de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán. México, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 208 p.
- García, E. 2004.** Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía. 91p.
- Gómez, D., J. Etchevers, C. Monterroso Rivas, C. Gay, J. Campo & M. Martínez. 2008.** Spatial estimation of mean temperature and precipitation in areas of scarce meteorological information. *Atmósfera* 21(1): 35-56.
- Gómez D., J.D., A. I. Monterroso Rivas & J. A. Tinoco Rueda. 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.

González, F. 2004. Las comunidades vegetales de México. México, Instituto Nacional de Ecología. 81 p.

Granados, D. & G. López. 2000. Sucesión ecológica, dinámica del ecosistema. México, Universidad Autónoma Chapingo. 197 p.

IPCC 2007. Cuarto Informe de Evaluación Cambio Climático 2007 (Resumen). U.S.A.. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático . 94 p.

SMN 2000. Normales climatológicas de la República Mexicana. México, Servicio Meteorológico Nacional.

Tinoco, J. 2005. Identificación y evaluación de patrones de distribución de 3 especies forestales en el estado de Hidalgo su comportamiento actual y frente al cambio y vulnerabilidad climática (tesis profesional de licenciatura). México, Universidad Autónoma Chapingo. 160 p.

Velázquez, J. 2002. Agrofenoclimatología. México, Universidad Autónoma del Estado de México. 338 p.

Cuadro 1. Superficie (Ha) de los climas obtenidos de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztlán bajo condiciones actuales y aplicando el modelo HADLEY.

Escenario	Clima Köppen modificado por E. García				
	Cálido	Semicálido	Templado	Semiárido	Árido
Actual		9,754.2	25,880.2	58,921.5	1,488.0
HadCM3 2020		7,300.9	5,808.1	26,623.5	56,311.5
HadCM3 2050	787.3	4,633.1	477.9	28,760.9	61,384.8

Cuadro 2. Superficie (Ha) de los climas obtenidos de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztlán bajo condiciones actuales y aplicando el modelo GFDL.

Escenario	Clima Köppen modificado por E. García				
	Cálido	Semicálido	Templado	Semiárido	Árido
Actual		9,754.2	25,880.2	58,921.5	1,488.0
GFDL-R30 2020		7,433.0	5,808.1	82,157.4	645.5
GFDL-R30 2050	1,143.3	9,593.9	2,802.3	81,858.9	645.5

Cuadro 3. Porcentaje de superficie ocupada por los diferentes climas y sus tipos de vegetación correlacionados en la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztlán.

Vegetación	Btc	Bc	Mtsbm	MtX, P
Climas	Semicálido	Templado	Semiárido	Árido
Actual	10.2	26.9	61.3	1.5
HadCM3 2020	7.6	6.0	27.7	58.6
HadCM3 2050	4.8	0.5	29.9	63.9
GFDL-R30 2020	7.7	6.0	85.5	0.7
GFDL-R30 2050	10.0	2.9	85.2	0.7

Btc- Bosque tropical caducifólio
Bc- Bosque de coníferas
Mtsbm-Matorral submontano
MtX-Matorral xerófilo
P-Pastizal