

## Impactos del cambio climático en la distribución potencial de *Morus alba* L. en México\*

### Impacts of climate change in potential distribution of *Morus alba* L. in Mexico

Noé Durán Puga<sup>1</sup>, José Lenin Loya Olguin<sup>2</sup>, José Ariel Ruiz Corral<sup>3§</sup>, Diego Raymundo González Eguiarte<sup>1</sup>, Juan Diego García Paredes<sup>2</sup> y Sergio Martínez González<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Guadalajara. Camino Ramón Padilla Sánchez No. 2100 Nextipac, Zapopan, Jalisco, México. C. P. 44600. (noeduranpuga@yahoo.com.mx; diegonz@cucba.udg.mx). <sup>2</sup>Unidad Académica de Agricultura. Universidad Autónoma de Nayarit. Carretera Tepic-Compostela, km 9. Xalisco, Nayarit, México. C. P. 63780. (joselenin28@hotmail.com; digapal@hotmail.com; sergiotepic@hotmail.com). <sup>3</sup>Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco-INIFAP. Carretera Libre Tepatitlán-Lagos de Moreno, km 8. Tepatitlán, Jalisco, México. C. P. 47600. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: ruiz.ariel@inifap.gob.mx.

#### Resumen

El objetivo del estudio fue estimar el impacto del cambio climático en la distribución potencial de *Morus alba* L. en México. Se modelaron nichos de distribución con Máxima Entropía (Maxent), para las climatologías ~1950-2000 (climatología de referencia), 2041-2060 y 2061-2080, con dos vías representativas de concentraciones de gases efecto invernadero (Rcp4.5 y Rcp8.5). Se utilizaron 21 variables bioclimáticas y dos variables topográficas; esta información se obtuvo del portal de Global Climate Data de WorldClim y se manejó con imágenes raster y ascii a 2.5 minutos de arco. Se consideró el modelo de circulación general (MCG): HadGEM2-ES. Los resultados mostraron que las variables ambientales que más contribuyen a explicar la distribución geográfica de *M. alba* son la precipitación del mes más húmedo (septiembre) y la temperatura media del mes más frío (enero). El umbral logístico del percentil 20 conjetura para la climatología de referencia un 80.8% de área con aptitud ambiental de *M. alba* en la extensión total de México. La predicción de los escenarios de cambio climático reportan áreas de retracción ambiental para tres escenarios estudiados; dando un total de 80.66, 79.14 y 80.67 en los escenarios 2041-2060 rcp4.5 y rcp8.5 y escenario 2061-2080 rcp8.5 respectivamente; para el escenario 2061-2080 rcp4.5 se

#### Abstract

The aim of the study was to estimate the impact of climate change in potential distribution of *Morus alba* L. in Mexico. Distribution niches with Maximum Entropy (Maxent) for climatologies ~1950-2000 (reference climatology), 2041-2060 and 2061-2080, with two-way representative greenhouse gas concentrations (Rcp4.5 and RCP8.5) were modeled. 21 bioclimatic variables and two topographic variables were used; this information was obtained from the Global Climate Data portal WorldClim and was managed with raster images and ascii 2.5 arcmin. The general circulation model (GCM) was considered: HadGEM2-ES. The results showed that environmental variables that contribute most to explain the geographical distribution of *M. alba* are the precipitation from the most humid month (September) and the average temperature of the coldest month (January). The logistics threshold from the 20th percentile assumes for reference climatology 80.8% of environmental fitness area of *M. alba* in the total area of Mexico. The prediction of climate change scenarios reports environmental retraction areas for three scenarios studied; giving a total of 80.66, 79.14 and 80.67 on scenario 2041-2060 rcp4.5 and rcp8.5 and scenario 2061-2080 rcp8.5 respectively; for scenario 2061-2080 rcp4.5 records an

\* Recibido: noviembre de 2015  
Aceptado: febrero de 2016

registra una expansión a 82.28 en la superficie nacional. Por lo anterior el cambio climático augura una retracción en las superficies con aptitud ambiental de *M. alba*, para el periodo 2041-2060 y para el periodo 2061-2080 solo con el Rcp8.5.

**Palabras clave:** *Morus alba*, arbustos forrajeros tropicales, cambio climático, nichos de distribución, subtropicales.

## Introducción

El clima del mundo está cambiando a un ritmo sin precedentes y continuará este fenómeno en las siguientes décadas (IPCC, 2013). Existen numerosas evidencias de que el cambio climático antropogénico está afectando la fisiología, la fenología y la distribución de muchas especies y se espera que en un futuro próximo este fenómeno se intensifique (Parmesan, 2006; Visser, 2008; Morueta-Holme *et al.*, 2010). El cambio climático ha provocado cambios biológicos radicales de gran alcance (Fischlin *et al.*, 2007); incluso, es cada vez más claro que el cambio climático eminentemente afecta la biodiversidad y los ecosistemas (Sala *et al.*, 2000) y puede ocasionar altas tasas de extinción de especies con rangos de adaptación estrecha o de especies endémicas (Morueta-Holme *et al.*, 2010). Por otra parte, el cambio climático puede causar la inclusión de especies invasoras potencialmente perjudiciales para un ecosistema (Kirilenko *et al.*, 2000).

Se prevé que los múltiples componentes del cambio climático afectarán a todos los niveles de la biodiversidad, desde los organismos hasta las áreas bióticas (Parmesan, 2006); en los niveles más básicos, el cambio climático es capaz de disminuir la diversidad genética de las poblaciones debido a la selección direccional, lo que podría, a su vez, afectar el funcionamiento y la resiliencia del ecosistema (Botkin *et al.*, 2007; Lasco *et al.*, 2008; Schneider *et al.*, 2009), lo que conlleva a modificar la red de interacciones a nivel comunitario (Bellard *et al.*, 2012).

Dado el alto riesgo de extinción que enfrentan las especies incapaces de adaptarse o dispersarse a una velocidad suficiente para realizar un seguimiento al cambio climático antropogénico, la migración asistida se ha sugerido como una posible estrategia de conservación (Svenning *et al.*, 2009). Esto implicaría translocación de especies a áreas con aptitud ambiental actual, pero que sigan probablemente siendo

expansion to 82.28 in national area. Therefore climate change forecast a retraction on areas with environmental fitness of *M. alba*, for the period 2041-2060 and for the period 2061-2080 just with Rcp8.5.

**Keywords:** *Morus alba*, climate change, niche distribution, subtropical, tropical forage shrubs.

## Introduction

The world's climate is changing at an unprecedented rate and this phenomenon will continue in the coming decades (IPCC, 2013). There is abundant evidence that anthropogenic climate change is affecting the physiology, phenology and distribution of many species and it is expected in the near future that this phenomenon will intensify (Parmesan, 2006; Visser, 2008; Morueta-Holme *et al.*, 2010). Climate change has led to radical biological changes of great magnitude (Fischlin *et al.*, 2007); even, it is increasingly clear that climate change affects biodiversity and ecosystems (Sala *et al.*, 2000) and can cause high rates of species extinction with narrow adaptation ranges or endemic species (Morueta-Holme *et al.*, 2010). Moreover, climate change could cause the inclusion of potentially harmful invasive species to an ecosystem (Kirilenko *et al.*, 2000).

It is anticipated that multiple components of climate change will affect all levels of biodiversity, from organisms to biotic areas (Parmesan, 2006); in the most basic levels, climate change can reduce the genetic diversity of populations due to directional selection, which could, in turn, affect the performance and resilience of ecosystems (Botkin *et al.*, 2007; Lasco *et al.*, 2008; Schneider *et al.*, 2009), leading to modify the interactions network at community level (Bellard *et al.*, 2012).

Given the high risk of extinction facing the species unable to adapt or spread at enough rates to perform a follow up the anthropogenic climate change, assisted migration has been suggested as a possible conservation strategy (Svenning *et al.*, 2009). This would involve translocation of species to areas with current environmental fitness, but will probably continue to be adequate in the next 100 years or more; in the cases of low probability of other conservation strategies that are not sufficiently apt to ensure their survival (Hoegh-Guldberg *et al.*, 2008).

adecuadas en los próximos 100 años o más; en los casos de poca probabilidad de otras estrategias de conservación que no sean suficientemente aptas para asegurar su supervivencia (Hoegh-Guldberg *et al.*, 2008).

La predicción de la respuesta de la diversidad biológica al cambio climático se ha convertido en un campo muy activo de la investigación científica (Beaumont *et al.*, 2011; Dawson *et al.*, 2011; McMahon *et al.*, 2011); esta respuesta juega un papel importante en alertar a científicos y tomadores de decisiones en los posibles riesgos futuros, proporciona un medio para reforzar la atribución de los cambios en el ecosistema y contribuye al desarrollo de estrategias proactivas para reducir los impactos del cambio climático (Parmesan *et al.*, 2011).

El género *Morus* se distribuye en las zonas templadas de casi todas partes del mundo, así como las tierras tropicales (Sánchez, 2002); su muy amplia distribución hace posible que esta especie tenga una gran capacidad de adaptación a muy diversas condiciones climáticas (Milera, 2008). *Morus alba* es una especie con un alto valor nutritivo para la alimentación de rumiantes por sus altos niveles de proteínas (20 a 24%) y digestibilidad (75-85%), por consecuencia es de muy amplia aceptación gustativa por el ganado (Milera, 2008; Jiménez, 2012).

Hoy en día, para la correcta planificación del desarrollo de la ganadería en el corto, mediano y largo plazo en México, es necesario estimar con escenarios climáticos futuros la disponibilidad de recursos genéticos, y tener información adecuada para aplicar las medidas de mitigación con el fin de evitar o minimizar en lo posible los impactos negativos del cambio climático. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue estimar el impacto del cambio climático para los periodos 2041 a 2060 y 2061 a 2080, con dos vías de concentración de gases efecto invernadero en las áreas potenciales de distribución de *Morus alba*.

## Materiales y métodos

### Bases de datos

Se consideraron datos de 62 sitios de muestreo. La base de datos se obtuvo a partir de dos fuentes: del Inventario Nacional Forestal y Suelos (INFyS) de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y del sitio <http://www.tropicos.org/>.

The prediction of the response of biological biodiversity to climate change has become a very active field of scientific research (Beaumont *et al.*, 2011; Dawson *et al.*, 2011; McMahon *et al.*, 2011); this response plays an important role in alerting scientists and decision makers on potential future risks, provides means to strengthen the attribution of changes in the ecosystem and helps to develop proactive strategies to reduce the impacts of climate change (Parmesan *et al.*, 2011).

The genus *Morus* is distributed in temperate zones from almost all over the world as well as in tropical lands (Sánchez, 2002); its wide distribution makes possible this species to count with great capacity to adapt to very different climatic conditions (Milera, 2008). *Morus alba* is a species with high nutritional value to feed ruminants for its high protein levels (20-24%) and digestibility (75-85%), consequently it has a very broad taste acceptance by livestock (Milera, 2008; Jimenez, 2012).

Currently for proper planning of livestock development in the short, medium and long term in Mexico, it is necessary to estimate future climate scenarios, availability of genetic resources, and count with adequate information to apply mitigation measures in order to avoid or minimize the possible negative impacts of climate change. Therefore, the objective of this study was to estimate the impact of climate change for the periods 2041-2060 and 2061-2080, with two-way of greenhouse gases concentration in potential areas of distribution of *Morus alba*.

## Materials and methods

### Database

Data from 62 sampling sites were considered. The database was obtained from two sources: the National Forest and Soil Inventory (INFyS) from the National Forestry Commission (CONAFOR) and from the site: <http://www.tropicos.org/>.

### Potential areas of distribution

The Maximum Entropy approach (Phillips *et al.*, 2009) was used in this research, to model the ecological niche and predict the most likely geographic distribution of *M. alba*. The result of the model expresses the most suitable value for habitat potential in terms of environmental variables used. Maximum Entropy has been used widely to estimate potential distributions of plants and animals species with high accuracy

## Áreas potenciales de distribución

En la presente investigación se utilizó el enfoque de Máxima Entropía (Phillips *et al.*, 2009), para modelar el nicho ecológico y predecir la distribución geográfica más probable de *M. alba*. El resultado del modelo expresa el valor más adecuado del hábitat potencial en función de las variables ambientales utilizadas. Máxima entropía se ha utilizado ampliamente para estimar las distribuciones potenciales de especies de plantas y animales con una gran precisión (Sobek *et al.*, 2012), y predecir o inferir la distribución de especies con base en las condiciones ambientales más significativas, usando solamente datos de presencia de la especie (Moreno *et al.*, 2011).

## Bases de datos ambientales y sistema de información geográfica

Se utilizaron los datos mensuales, estacionales y anuales de precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura media y oscilación térmica de los periodos 2041-2060, 2061-2080 y ~1950-2000 (climatología de referencia). Estos datos climáticos fueron obtenidos del portal Global Climate Data de WorldClim y se procesaron mediante imágenes raster y ascii, a una resolución de 2.5 minutos de arco. Para las climatologías 2041-2060 y 2061-2080 se consideró el GCM: HadGEM2-ES, bajo dos trayectorias representativas de concentración (RCPs) de gases efecto invernadero (GEI): rcp4.5 y rcp8.5. El GCM utilizado forma parte en la modelación del clima desarrollada por el proyecto de intercomparación de modelos acoplados fase 5 (CMIP5) (Walton *et al.*, 2013). La capa de altitud se obtuvo del sistema de información ambiental (SIAN) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (Díaz *et al.*, 2012).

A partir de las variables climáticas básicas mencionadas se derivó una serie de variables adicionales para realizar el análisis MaxEnt de los nichos potenciales de distribución, tanto para las condiciones de la climatología de referencia como para las climatologías 2041-2060 y 2061-2080. El total de variables utilizadas fue: altura sobre el nivel del mar (m), pendiente (%), temperatura máxima media anual (°C), temperatura máxima mayo-octubre (°C), temperatura máxima noviembre-abril (°C), temperatura máxima del mes más cálido (°C), temperatura media anual (°C), temperatura media mayo-octubre (°C), temperatura media noviembre-abril (°C), temperatura media del mes más cálido (°C), temperatura media del mes más frío (°C), temperatura mínima media anual (°C), temperatura mínima mayo-octubre (°C), temperatura mínima noviembre-abril (°C), temperatura mínima del mes más frío

(Sobek *et al.*, 2012), and predict or infer species distribution based on the most significant environmental conditions, using only data of species presence (Moreno *et al.*, 2011).

## Environmental databases and geographical information system

Monthly, seasonal and annual precipitation, maximum temperature, minimum temperature, average temperature and thermal oscillation data from the periods 2041-2060, 2061-2080 and ~1950-2000 (reference climatology) were used. These climate data was obtained from the Global Climate Data website WorldClim and processed by raster images and ascii, at a resolution of 2.5 arcmin. For 2041-2060 and 2061-2080 climatologies the GCM was considered: HadGEM2-ES under two representative concentration pathways (RCPs) of greenhouse gases (GEI): rcp4.5 and rcp8.5. The GCM used, is part of climate modeling developed by the Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) (Walton *et al.*, 2013). Altitude layer was obtained from the Environmental Information System (SIAN), from the National Institute of Agricultural Livestock and Forestry Research (Díaz *et al.*, 2012).

From the basic climate variables mentioned a number of additional variables derived to perform the MaxEnt analysis of potential distribution niches for both reference climatology conditions and for 2041-2060 and 2061-2080 climatologies. The total number of variables used were: height above sea level (m), slope (%), annual maximum average temperature (°C), maximum temperature from May to October (°C), maximum temperature from November to April (°C), maximum temperature from the warmest month (°C), mean annual temperature from the coldest month (°C), mean minimum annual temperature (°C), minimum temperatures from May to October (°C), minimum temperature from November to April (°C), minimum temperature from the coldest month (°C), annual accumulated precipitation (mm), accumulated rainfall from May to October (mm), accumulated rainfall from November to April (mm), precipitation from the driest month (mm), precipitation from the wettest month (mm) annual thermal oscillation (°C), thermal oscillation from May to October (°C) and thermal oscillation from November to April (°C).

Using covers from the parameters and presence of species data, niche distribution for the climate scenarios were modeled, using 75% of presence records as training points and 25% as validation points. The AUC index (area under the curve) was used to assess the statistical model, as this index is one of the most used to measure the quality of the models (Moreno *et al.*, 2011).

(°C), precipitación acumulada anual (mm), precipitación acumulada mayo-octubre (mm), precipitación acumulada noviembre-abril (mm), precipitación del mes más seco (mm), precipitación del mes más húmedo (mm), oscilación térmica anual (°C), oscilación térmica mayo-octubre (°C) y oscilación térmica noviembre-abril (°C).

Utilizando las coberturas de los parámetros y los datos de presencia de la especie, se modelaron los nichos de distribución para los escenarios climáticos, empleando 75% de los registros de presencia como puntos de entrenamiento y 25% como puntos de validación. Se utilizó el índice AUC (área bajo la curva), para evaluar el modelo estadístico, ya que este índice es de los más utilizados para medir la calidad de los modelos (Moreno *et al.*, 2011).

### Las áreas con probabilidad de aptitud ambiental

El modelo de predicción para la distribución de *M. alba* fue obtenido con MaxEnt; y examinado con el sistema IDRISI 17.0 (Eastman, 2012), se generó un mapa con los valores umbrales correspondientes al percentil 20 (Escalante *et al.*, 2013). Para el cálculo de la superficie potencial de distribución de la especie, no se consideraron las áreas ocupadas por los cuerpos de agua y centros urbanos. Estas capas temáticas se obtuvieron mediante la carta del uso del suelo y vegetación (INEGI, 2009).

### Descriptorios ecológicos

Los descriptorios ecológicos para *M. alba* se determinaron sobre la base de intervalos ambientales derivados de la caracterización de los sitios de presencia de la especie. Esto se hizo mediante el sistema IDRISI 17.0, con las imágenes raster de cada variable ambiental y las coordenadas geográficas de cada sitio de presencia.

## Resultados y discusión

### Modelos de nichos de distribución

En la Figura 1, se observa la curva operacional o curva ROC, que representa el ajuste de los datos de muestreo; en este análisis, el valor obtenido fue de 0.955 para los puntos de entrenamiento y de 0.897 para los puntos de validación; lo que indica que la habilidad de los modelos para clasificar la presencia de la especie fue satisfactoria (Parolo *et al.*, 2008).

### Areas with probability of environmental fitness

The prediction model for the distribution of *M. alba* was obtained with MaxEnt and examined with the IDRISI 17.0 (Eastman, 2012) system, a map with threshold values corresponding to 20<sup>th</sup> percentile was generated (Escalante *et al.*, 2013). To calculate the potential distribution surface of the species, the areas occupied by water bodies and urban centers were not considered. These thematic layers were obtained through land use and vegetation maps (INEGI, 2009).

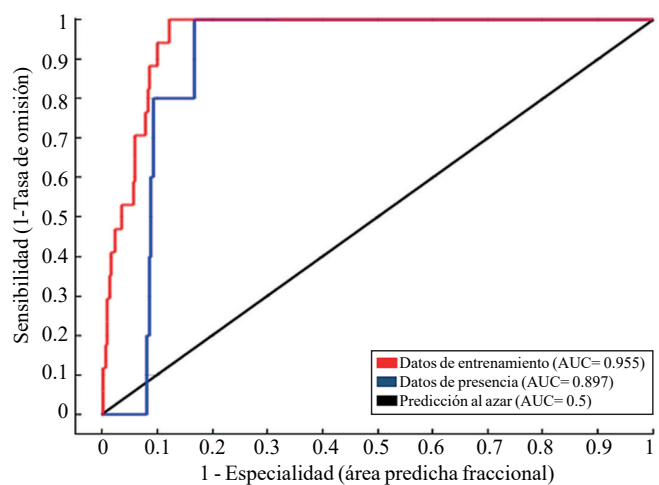
### Ecological descriptors

The ecological descriptors for *M. alba* were determined based on the environmental derivatives intervals from site characterization for presence of species. This was made through IDRISI 17, raster images of each environmental variable and the geographic coordinates of each presence site.

## Results and discussion

### Distribution of niche models

Figure 1, shows the operational curve or ROC curve that represents the fitness of the sampling data; in this analysis, the obtained value was 0.955 for training points and 0.897 for validation points; indicating that the ability of the models to classify the presence of the species was successful (Parolo *et al.*, 2008).



**Figura 1. Gráfica de la curva operacional o curva ROC para *M. alba*.**

**Figure 1. Graph of operational curve or ROC curve for *M. alba*.**

De este análisis se determinó que el modelo de nichos de distribución potencial para describir la distribución de *M. alba* es alta, ya que con sólo dos variables ambientales los modelos explican 87.6% de la distribución espacial de la especie (Cuadro 1). Las variables que mostraron un mayor nivel de contribución fueron la precipitación del mes más lluvioso (septiembre) y la temperatura media del mes más frío (enero).

From this analysis it was determined that potential niche distribution model to describe the distribution of *M. alba* is high, as only two models environmental variables explained 87.6% of the spatial distribution of the species (Table 1). The variables that showed a higher level of contribution were precipitation from the wettest month (September) and mean temperature of the coldest month (January).

**Cuadro 1. Descriptores ecológicos de las variables ambientales que condicionan en mayor medida la distribución geográfica de *M. alba*.**

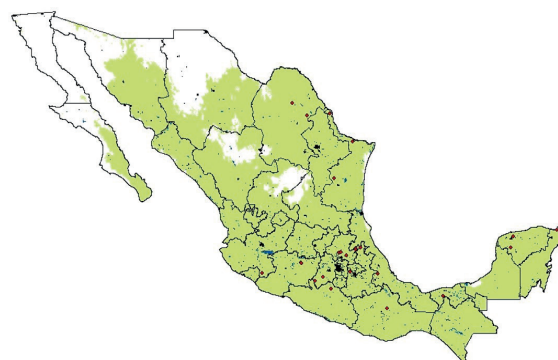
**Table 1. Ecological descriptor from environmental variables that condition the geographical distribution of *M. alba*.**

Variable	Valor mínimo	Valor máximo	Porcentaje de contribución
Precipitación del mes más lluvioso (mm), septiembre	77	409	72.7
Temperatura media del mes más frío (°C), enero	10	24	14.9
Oscilación térmica anual (°C)	9.5	16.7	3.3
Precipitación del mes más seco (mm), marzo	2	51	2.6
Temperatura máxima anual (°C)	19.5	34.5	1.8
Temperatura media de noviembre-abril (°C)	12.2	26	1.4
Temperatura máxima del mes más cálido (°C), junio	19.7	37.3	1.2
Altura sobre el nivel del mar (m)	7	2464	0.9
Temperatura mínima noviembre-abril (°C)	3.8	19.1	0.5
Temperatura máxima noviembre-abril (°C)	17.3	28.4	0.2
Pendiente (%)	0	14	0.2
Temperatura media del mes más cálido (°C), junio	15.7	30.2	0.2

La Figura 2, muestra la distribución geográfica potencial actual de *M. alba*. Su presencia se ubica desde la Península de Yucatán hasta el norte del país, con excepción de una extensa área en la Península de Baja California y parte de la región norte de Sonora, Chihuahua, Durango, Zacatecas y San Luis Potosí.

Figure 2 shows the current geographical potential distribution of *M. alba*. Their presence is located from the Yucatan Peninsula to the north of the country, except for a large area in Baja California and part of the northern region of Sonora, Chihuahua, Durango, Zacatecas and San Luis Potosí.

La mayor presencia de las poblaciones de *M. alba* se concentra en las regiones sur y noreste de México; esta presencia está en correspondencia con la aseveración de que *M. alba* crece en gran variedad de ambientes y latitudes. Desde regiones tropicales y subtropicales, lo que la caracteriza por poseer una amplia gama de adaptación (Loya *et al.*, 2014).



**Figura 2. Aptitud ambiental para el periodo ~1950-2000 de *M. alba* en México.**

**Figure 2. Environmental fitness for the period ~1950-2000 of *M. alba* in Mexico.**

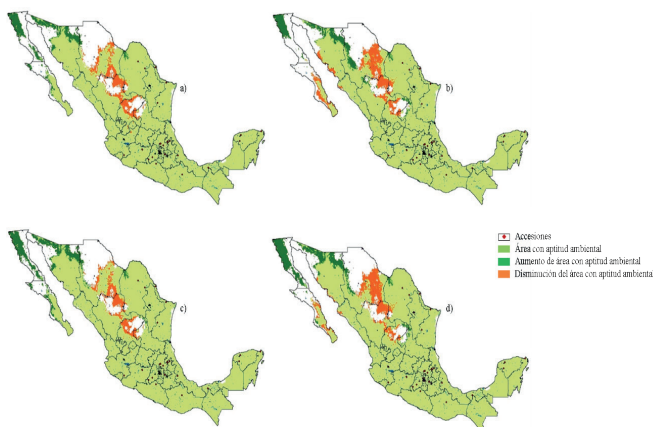
Los descriptores ecológicos para *M. alba* y las variables ambientales que contribuyen a la construcción de los nichos de distribución se pueden observar en el Cuadro 1. De acuerdo con estos resultados, la precipitación del mes más húmedo (septiembre) es la variable que más contribuye (72.7%) en la distribución potencial de la especie en México. El descriptor de *Morus alba*, para esta variable señala un intervalo de 77 a 409 mm de precipitación. Estos resultados son consistentes con los señalados por Loya *et al.* (2014),

The highest presence of *M. alba* populations are concentrated in the southern and northeastern regions of Mexico; This presence is in line with the claim that *M. alba* grows in a

en el sentido de que esta especie crece adecuadamente en un amplio rango de precipitación que puede variar desde los 600 hasta los 2 500 mm de precipitación anual.

El segundo descriptor ecológico que más contribuye es la temperatura media del mes más frío con un rango de 10 a 24 °C. *M. alba* también demuestra tener un rango térmico amplio; se puede inferir que esta especie es capaz de explorar y colonizar ambientes térmicamente extremos.

Los resultados en cuanto a los posibles nichos potenciales de *M. alba* para escenarios de cambio climático, se muestran en la Figura 3. Los mapas de esta figura muestran la presencia de áreas con aptitud ambiental y áreas con incremento y disminución de superficie para la especie bajo estudio. En todos los escenarios futuros aparecen incrementos de superficie, así como de disminución; mostrando las posibles dinámicas de zonas adecuadas en función de los futuros cambios climáticos.



**Figura 3. Accesiones y áreas con aptitud ambiental de *M. alba*; bajo el modelo de circulación general HadGEM2-ES con cuatro escenarios de cambio climático a). 2041-2060 rcp4.5; b). 2041-2060 rcp8.5; c). 2061-2070 rcp4.5; y d). 2061-2080 rcp8.5.**

**Figure 3. Accessions and areas with environmental fitness of *M. alba*; under the general circulation model HadGEM2-ES with four scenarios of climate change a). 2041-2060 rcp4.5; b). 2041-2060 rcp8.5; c). 2061-2070 rcp4.5; and d). 2061-2080 rcp8.5.**

El umbral logístico del percentil 20 conjetura para la climatología de referencia un área óptima del 80.8% del total de la superficie del país. Después de promediar las zonas de incrementos y retracciones bajo las climatologías de cambio climático (Figura 4), se estableció que las superficies con aptitud ambiental disminuyeron a 80.66%, 79.14% y

variety of environments and latitudes. From tropical and subtropical regions which characterizes it by having a wide range of adaptation (Loya *et al.*, 2014).

The ecological descriptors for *M. alba* and environmental variables that contribute to the construction of niche distribution can be observed in Table 1. According to these results, precipitation of the wettest month (September) is the variable that most contributes (72.7%) in the potential distribution of the species in Mexico. The *Morus alba* descriptor for this variable points to a range of 77 to 409 mm of precipitation. These results are consistent with those reported by Loya *et al.* (2014), in the sense that this species grows well in a wide range of precipitation that can vary from 600 to 2 500 mm of annual precipitation.

The second ecological descriptor that most contributes is the average temperature of the coldest month with a range of 10 to 24 °C. *M. alba* also demonstrates a wide temperature range; it can be inferred that this species is able to explore and colonize thermally extreme environments.

The results regarding potential niches for *M. alba* for climate change scenarios are shown in Figure 3. The maps from this figure show the presence of environmental fitness areas and areas with increased and decreased surface for the species under study. In all future scenarios appear surface increases and decrease; showing the possible dynamics of suitable areas, depending on future climate changes.

The logistics threshold of the 20th percentile forecast for reference climatology an optimal area of 80.8% of the total land area. After averaging increase areas and retractions under climate change climatologies (Figure 4), it was established that areas with environmental fitness decreased to 80.66%, 79.14% and 80.67% of the total area of Mexico, in the scenarios 2041- 2060 rcp4.5, 2041-2060 rcp8.5 and 2061-2080 rcp8.5 respectively; and an increase to 82.28% for scenario 2061-2080 rcp4.5.

These results show that future climate changes apparently will be harmful for *M. alba* in the three climate change scenarios. Given that the most significant variables in niche distribution are precipitation from wettest month and mean temperature of the coldest month; it could be inferred that combinations of these parameters under climate change scenarios would be unfavorable to *M. alba*.

80.67% de la superficie total de México, en los escenarios 2041-2060rcp4.5, 2041-2060rcp8.5 y 2061-2080rcp8.5, respectivamente; y un incremento a 82.28% para el escenario 2061-2080rcp4.5.

Estos resultados muestran que los futuros cambios climáticos aparentemente serán nocivos para *M. alba* en tres escenarios de cambio climático. Teniendo en cuenta que las variables más significativas en los nichos de distribución son la precipitación del mes más húmedo y la temperatura media del mes más frío; se podría inferir que las combinaciones de estos parámetros bajo escenarios de cambio climático serán desfavorables para *M. alba*.

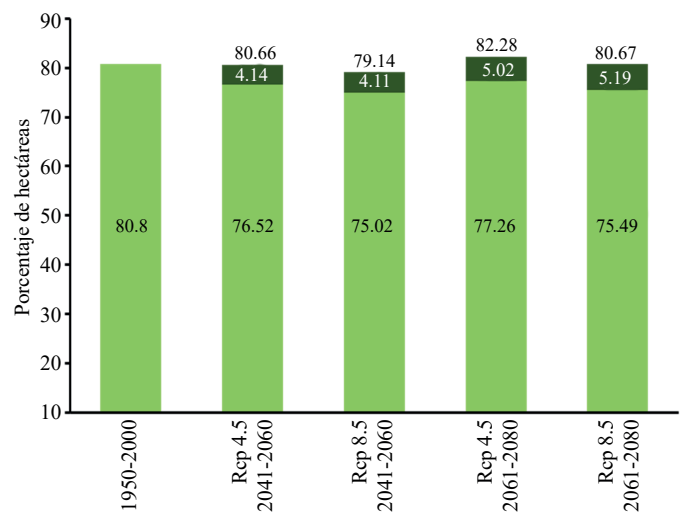
Hoffman y Sgró (2011) señalaron que algunas especies presentan retracción y expansión en áreas de distribución espacial por efectos del cambio climático, en función de su adaptación evolutiva. La expansión de zonas adecuadas debido al cambio climático ha sido reportada para otras especies como *Leucospermum hypophyllo carpodendron* subsp. *Hypophyllo carpodendron* (Pearson *et al.*, 2006).

La mayoría de estudios sobre los efectos del cambio climático en la distribución de las especies reportan efectos negativos, es decir las áreas de retracción son mayores que las zonas de expansión (Sork *et al.*, 2010). En el presente estudio solo para un escenario se presentó lo contrario, esto es, áreas de expansión mayor que las zonas de retracción.

Como puede verse en la Figura 3, estos dos tipos de áreas tienen un patrón geográfico; zonas de retracción se concentran principalmente en la parte norte y centro del país, mientras que las áreas de expansión se localizan principalmente en la Península de Baja California y parte de la zona norte de Sonora y sur de Chihuahua. Este hecho apunta a una región del país, donde los patrones climáticos futuros serán diferentes a las condiciones climáticas actuales, y por lo tanto difieren en el nivel de adaptación para *M. alba*. Esta situación ya se ha hecho manifiesta para la región donde se registran las áreas de retracción; se ha informado de cambios en los patrones de cultivo como consecuencia de los cambios climáticos regionales (Ramírez *et al.*, 2011; Santillán *et al.*, 2011).

Los mapas de la Figura 3, reflejan que ninguna población de *M. alba* se ve afectada por la retracción de la idoneidad del medio ambiente. Sin embargo, en el caso de que algunas poblaciones de *M. alba* estuvieran cerca de las áreas de retracción de idoneidad en los próximos años, se tendría que considerar que estas poblaciones tendrán sólo dos opciones

Hoffman and Sgro (2011) noted that some species show retraction and expansion in spatial distribution areas by effects of climate change, in function to their evolutionary adaptation. The expansion of fitness areas due to climate change has been reported for other species such as *Leucospermum hypophyllo carpodendron* subsp. *Hypophyllo carpodendron* (Pearson *et al.*, 2006).



**Figura 4. Porcentaje de áreas con aptitud ambiental para *M. alba* en México.** Bajo escenarios climáticos, barras de color claro indican las zonas aptas en la actualidad y en el futuro (estable), mientras que las barras más oscuras indican nuevas áreas adecuadas en el futuro (áreas de expansión).

**Figure 4. Percentage of areas with environmental fitness for *M. alba* in Mexico.** Under climate scenarios, light-colored bars indicate currently fitness areas and in the future (stable), while the darker bars indicate new fitness areas in the future (expansion areas).

Most studies on the effects of climate change on the distribution of species report negative effects, i.e. retraction areas are larger than expansion areas (Sork *et al.*, 2010). In the present study one scenario presented the contrary, that is, the expansion areas are greater than retraction areas.

As shown in Figure 3, these two types of areas have a geographic pattern; retraction areas are mainly concentrated in the north and center part of the country, while the expansion areas locate mainly in the peninsula of Baja California and part of northern Sonora and southern Chihuahua. This fact points to a region of the country, where future weather patterns will be different to current weather conditions, and therefore differ in the adaptation level of *M. alba*. This situation has already manifested for the region where the



para sobrevivir: a) migrar a entornos más favorables; o b) adaptarse a las nuevas condiciones climáticas (Morueta-Holme *et al.*, 2010), que depende mayormente de la diversidad genética de la especie (Mercer y Perales, 2010). En el caso del presente estudio, la idoneidad del medio ambiente va a perder un poco más de superficie debido al cambio climático, y esto, al parecer, podría promover la pérdida futura de dispersión de *M. alba* a nuevas áreas. Sin embargo, también es importante tener en cuenta las posibles capacidades de esta especie para competir contra otras especies del ecosistema o las especies invasoras que constituyan una amenaza para la estabilidad del ecosistema (Mainka y Howard, 2010).

Por otra parte, es importante tener en cuenta que la conservación de *M. alba* en el futuro también dependerá de su capacidad para adaptarse al cambio climático (Alsos *et al.*, 2009), lo cual es una función de su capacidad para colonizar nuevas áreas, o, cuando se requiera, de su capacidad para aplicar las modificaciones fisiológicas para adaptarse al nuevo entorno (Chown *et al.*, 2010).

De acuerdo con las aseveraciones anteriores, el cambio climático previsto para ambos períodos tendrá un efecto negativo sobre la idoneidad ambiental de *M. alba* (Figura 4), lo que permitiría en el futuro su posible contracción en la cobertura territorial. Sin embargo, es claro que esta condición ambiental desventajosa que será causada por el cambio climático futuro, resultará favorable para otras especies, tal vez en un contexto de competencia con *M. alba*. Bajo este tipo de escenario, el amplio intervalo de los descriptores ecológicos de *M. alba* (Cuadro 1) podría ser una característica ventajosa, más aún si se considera la especie de amplia diversidad genética de otras partes del mundo, lo que podría aumentar la capacidad de adaptación y de colonización de *M. alba* (Burke *et al.*, 2009; Ruiz *et al.*, 2013).

Incluso, cuando los escenarios climáticos actuales y futuros parecen ser desfavorables para *M. alba*, podrían tomarse medidas para preservar las poblaciones actuales con el fin de asegurar su presencia en su entorno natural.

## Conclusiones

De acuerdo con las aseveraciones anteriores, el cambio climático previsto para ambos períodos estudiados, tendrá un efecto más negativo que positivo sobre la idoneidad

recorded retraction areas; there have been reports of crop patterns as result of regional climate changes (Ramirez *et al.*, 2011; Santillán *et al.*, 2011).

The maps in Figure 3 show that no population of *M. alba* is affected by the retraction of environmental fitness. However, in the event that some populations of *M. alba* were near retraction areas of fitness in the coming years, it would have to consider that these populations will have only two options for survival: a) migrate to more favorable environments; or b) adapt to new weather conditions (Morueta-Holme *et al.*, 2010), which largely depends on the genetic diversity of the species (Mercer and Perales, 2010). For the present study, the environmental fitness will lose a little more area due to climate change, and this, apparently, could promote further loss of *M. alba* spreading to new areas. However, it is also important to consider the potential capabilities of this species to compete with other species in the ecosystem or invasive species which threaten the stability of the ecosystem (Mainka and Howard, 2010).

Moreover, it is important to note that the conservation of *M. alba* in the future will also depend on its ability to adapt to climate change (Alsos *et al.*, 2009), which is a function of its ability to colonize new areas or, when necessary, of its ability to apply physiological changes to adapt to the new environment (Chown *et al.*, 2010).

According to previous statements, forecast climate change for both periods will have a negative effect on environmental fitness of *M. alba* (Figure 4), which would allow in the future its possible contraction in territorial coverage. However, it is clear that these unfavorable environmental conditions that will be caused by future climate change, it will be favorable for other species, perhaps in the context of competition with *M. alba*. Under such scenario, the wide range of ecological descriptors of *M. alba* (Table 1) could be an advantageous characteristic, especially if the species is considered of broad genetic diversity of other parts of the world, which could increase the adaptation and colonization capacity of *M. alba* (Burke *et al.*, 2009; Ruiz *et al.*, 2013).

Even when the current and future climate scenarios seem to be unfavorable for *M. alba*, conservation measures could be taken to preserve current populations, in order to ensure their presence in their natural environment.

ambiental de *M. alba*, lo que permite en el futuro su posible contracción en la cobertura territorial. Sin embargo, es claro que esta condición ambiental desventajosa que será causada por el cambio climático futuro, resultará favorable también para otras especies, tal vez en un contexto de competencia con *M. alba*. Bajo este tipo de escenario, el amplio intervalo de los descriptores ecológicos para *M. alba*; podría ser una característica ventajosa.

Incluso, cuando los escenarios climáticos futuros parecen ser desfavorables para la aptitud ambiental de *M. alba*, podrían tomarse medidas de conservación para preservar las poblaciones actuales con el fin de asegurar su presencia en su entorno natural.

## Agradecimientos

Este artículo es producto del Proyecto INIFAP 1228033017: Cambio climático y su impacto sobre el rendimiento, producción y viabilidad del cultivo de maíz en las áreas agrícolas de México.

## Literatura citada

- Alsos, I. G.; Alm, T.; Normand, S. and Brochmann, C. 2009. Past and future range shifts and loss of diversity in dwarf willow (*Salix herbacea* L.) inferred from genetics, fossils and modelling. *Global Ecol. Biogeogr.* 18:223-239.
- Beaumont, L. J.; Pitman, A.; Perkins, S.; Zimmermann, N. E.; Yoccoz, N. G. and Thuiller, W. 2011. Impacts of climate change on the world's most exceptional ecoregions. *Proc. Natl Acad. Sci.* 108:2306-2311.
- Bellard, C.; Bertelsmeier, C.; Leadley, P.; Thuiller, W. and Courchamp, F. 2012. Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters.* 15:365-377.
- Botkin, D. B.; Saxe, H.; Araujo, M. B.; Betts, R.; Bradshaw, R. H. W.; Cedhagen, T.; Chesson, P.; Dawson, T. P.; Etterson, J. R.; Faith, D. P.; Ferrier, S.; Guisan, A.; Skjoldborg, H. A.; Hilbert, D. W.; Loehle, C.; Margules, C.; New, M.; Sobel, M. J. and Stockwell, D. R. B. 2007. Forecasting the effects of global warming on biodiversity. *Bioscience.* 57:227-236.
- Burke, M. B.; Lobell, D. B. and Guarino, L. 2009. Shifts in African crop climates by 2050, and the implications for crop improvement and genetic resources conservation. *Global Environmental Change.* 19(3):317-325.
- Chown, S. L.; Hoffman, A. A.; Kristensen, T. N.; Angilletta Jr. M. J.; Stenseth, N. Ch. and Pertoldi, C. 2010. Adapting to climate change: a perspective from evolutionary physiology. *Clim. Res.* 4:3-15.

## Conclusions

According to previous statements, projected climate change for both periods studied, will have a more negative than positive effect on environmental fitness of *M. alba*, allowing in the future its possible contraction in territorial cover. However, it is clear that these unfavorable environmental conditions will be caused by future climate change, it will also be favorable for other species, perhaps in the context of competing with *M. alba*. Under such a scenario, the wide range of ecological descriptors for *M. alba*, could be an advantageous feature.

Even when future climate scenarios seem unfavorable for environmental fitness of *M. alba*, conservation measures could be taken to preserve the current populations, in order to ensure their presence in their natural environment.

*End of the English version*



- Dawson, T. P.; Jackson, S. T.; House, J. I.; Prentice, I. C. and Mace, G. M. 2011. Beyond predictions: biodiversity conservation in a changing climate. *Science.* 332:53-58.
- Díaz, P. G.; Guajardo, P. R. A.; Medina, G. G.; Sánchez, C. I.; Soria, R. J.; Vázquez, A. M. P.; Quijano, C. J. A.; Legorreta, P. F. y Ariel, R. C. J. 2012. Potencial productivo de especies agrícolas de importancia socioeconómica en México. 1ª. Ed. INIFAP. Xalapa, Ver., México. 140 p.
- Eastman, J. R. 2012. Idrisi selva manual. Version 17. Clark Labs, Clark University. Worcester, Mass., USA. 322 p.
- Escalante, T.; Rodríguez, T. G.; Linaje M.; Illoldi, R. P. and González, L. R. 2013. Identification of areas of endemism from species distribution models: threshold selection and nearctic mammals. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas.* 16(1):5-17.
- Fischlin, A.; Midgley, G. F.; Price, J. T.; Leemans, R.; Gopal, B. *et al.* 2007. Ecosystems, their properties, goods, and services. *In:* Parry, M. L.; Canziani, O. F.; Palutikof, J. P. van der Linden, P. J.; Hanson, C. E. (Eds.). *Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge: Cambridge University Press. 211-272 pp.
- Hoegh-Guldberg, O.; Hughes, L.; McIntyre, S.; Lindemayer, D. B. and Parmesan, C. 2008. Assisted colonization and rapid climate change. *Science.* 321:345-346.
- Hoffman, A. A. and Sgró, C. M. 2011. Climate change and evolutionary adaptation. *Nature.* 470:479-485.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2013. The physical science basis. Working group I contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Summary for policymakers. *In:* Stocker, T. F.; Qin, D.; Plattner, G. K.; Tignor, M. B.; Allen, S. K.; Boschung, J.; Nauels, A.; Xia, Y.; Bex, V. and Midgley, P. M. (Eds.). Switzerland. 27 p.

- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 2009. Guía para interpretación cartográfica: Uso de suelo-vegetación Serie III. D. F., México. 71 p.
- Jiménez, G. R. 2012. Capacidad productiva de praderas mono-específica, asociada y silvopastoril en un ambiente tropical seco. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. 151 p.
- Kirilenko, A. P.; Belotelov, N. V. and Bogatyrev, B. G. 2000. Global model of vegetation migration: incorporation of climatic variability. *Ecological Modelling* 132:125-133.
- Lasco, R. D.; Pulhin, F. B.; Sánchez, P. A. J.; Villamor, G. B. and Villegas, K. A. L. 2008. Climate change and forest ecosystems in Philippines: Vulnerability, adaptability and mitigation. *J. Environ. Sci. Management*. 11(1):1-14.
- Loya, O. J. L.; Martínez, G. S.; Prado, R. O. F.; Valdés, G. Y. S.; Gómez, D. A. A.; Escalera, V. F.; Macedo, B. R. and Durán, P. N. 2014. El sistema silvopastoril. Sistema Superior Editorial. Nayarit, México. 102 p.
- Mainka, S. A.; Howard, G. W. 2010. Climate change and invasive species: double jeopardy. *Integrative Zoology*. 5:102-111.
- McMahon, S. M.; Harrison, S. P.; Armbruster, W. S.; Bartlein, P. J.; Beale, C. M.; Edwards, M. E.; Kattge, J.; Midgley, G.; Morin, X. and Prentice, I. C. 2011. Improving assessment and modelling of climate change impacts on global terrestrial biodiversity. *Trends Ecol Evol* 26:249-259.
- Mercer, K. L. and Perales, H. R. 2010. Evolutionary response of landraces to climate change in centers of crop diversity. *Evolutionary applications*. doi:10.1111/j.1752-4571.2010.00137.x.
- Milera, R. M. de la C. 2008. Morera un nuevo forraje para la alimentación del Ganado. Ciudad de la Habana. Editorial Universitaria. 382 p.
- Moreno, R.; Zamora, R.; Molina, J. R.; Vásquez, A. and Herrera, M. 2011. Predictive modeling of microhabitats for endemic birds in South Chilean temperate forest using Maximum entropy (Maxent). *Ecol. Informat.* 6:364-370.
- Morueta-Holme, N.; Fløjgaard C. and Svenning, J. C. 2010. Climate change risks and conservation implications for a threatened small-range mammal Species. *PLoS one*. 5(4):1-12.
- Parnesan, C. 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Ecol Evol*. 37:637-669.
- Parnesan, C.; Duarte, C. M.; Poloczanska, E.; Richardson, A. J. and Singer, M. C. 2011. Overstretching attribution. *Nat. Clim. Change*. 1:2-4.
- Parolo, G.; Rossi, G. and Ferrarini, A. 2008. Toward improved species niche modelling: *arnica montana* in the Alps as a case study. *J. Appl. Ecol*. 45(5):1410-1418.
- Pearson, R. G.; Thuiller, W.; Araújo, M. B.; Martínez-Meyer, E.; Brotons, L. I.; McClean, C.; Miles, L.; Segurado, P.; Dawson, T. P.; Lees, D. C. 2006. *J. Biog.* 33:1704-1711.
- Phillips, S. J.; Dudík, M.; Elith, J.; Graham, C. H.; Lehmann, A.; Leathwick, J. and Ferrier, S. 2009. Sample selection bias and presence-only distribution models: implications for background and pseudo-absence data. *Ecol. Appl.* 19:181-197.
- Ramírez, L. M. R.; Ruiz, C. J. A.; Medina, G. G.; Jacobo, C. J. L.; Parra, Q. R. A.; Ávila, M. M. R. y Jesús, P. A. J. 2011. Perspectivas del sistema de producción de manzano en Chihuahua, ante el cambio climático. *Rev. Mex. Cienc. Agríc. Pub. Esp.* 2:265-279.
- Ruiz, C. J. A.; Hernández, C. J. M.; Sánchez, G. J. J.; Ortega, C. A.; Ramírez, O. G.; Guerreo, H. M. J.; Aragón, C. F.; Vidal, M. V. A. y De la Cruz L. L. 2013. Ecología, adaptación y distribución actual y potencial de las razas mexicanas de maíz. INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. Libro técnico Núm. 5. 159 p.
- Sala, O. E.; Stuart, C. F. III; Armesto, J. J.; Berlow, E. and Bloomfield J. 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*. 287:1770-1774.
- Sánchez, M. D. 2002. World distribution and utilization of mulberry and its potential for animal feeding. *In: mulberry for animal production*. FAO animal production and health paper. FAO, Rome. 1 p.
- Santillán, E. L. E.; Blanco, M. F.; Magallanes, Q. R.; García, H. J. L.; Cerano, P. J.; Delgadillo, R. O. and Valdez, C. R. D. 2011. Tendencias de temperatura extremas en Zacatecas, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc. Pub. Esp.* 207-219.
- Schneider, R. R.; Hamann, A.; Farr, D.; Wang, X. and Boutin, S. 2009. Potential effects of climate change on ecosystem distribution in Alberta. *Can. J. For. Res.* 39:1001-1010.
- Sork, V.; Davis, F.; Westfall, R.; Flints, A.; Ikegami, M.; Wang, H. and Grivet, D. D. 2010. Gene movements and genetic association with regional gradients in California valley oak (*Quercus lobata* Née) in the face of climate change. *Mol. Ecol.* 19:3806-3823.
- Svenning, J. C.; Fløjgaard, C.; Morueta-Holme, N.; Lenoir, J. and Normand, S. 2009. Big moving day for biodiversity? A macroecological assessment of the scope for assisted colonization as a conservation strategy under global warming. *IOP Conf Ser: Earth Environ Sci* 8:01-12.
- Sobek, S. S.; Kluza, D. A.; Cuddington, K. and Lyons, D. B. 2012. Potential distribution of emerald ash borer: What can we learn from ecological niche models using Maxent and GARP? *Forest Ecol. Manag.* 281(1):23-31.
- Visser, M. E. 2008. Keeping up with a warming world; assessing the rate of adaptation to climate change. *Proc. R. Soc. B.* 275:649-659.
- Walton, D.; Meyerson, J.; Neelin, J. D. 2013. Accessing, downloading, and viewing CMIP5 data. *Earth system grid federation*. 25 p.