

EFFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO A NIVEL LOCAL EN LA DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE CUATRO ESPECIES FORESTALES DE LA CUENCA RÍO BRAVO-SAN JUAN, COAHUILA, MÉXICO

EFFECT OF CLIMATE CHANGE AT THE LOCAL LEVEL ON THE POTENTIAL DISTRIBUTION OF FOUR FOREST SPECIES IN THE RÍO BRAVO-SAN JUAN BASIN, COAHUILA, MEXICO

Romero-Sánchez, M.E.^{1*}; González-Hernández, A.¹; Pérez-Miranda, R.¹; Velasco-Bautista, E.¹; Moreno-Sánchez, F.¹

¹Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales. INIFAP. Ave. Progreso No. 5, Barrio de Santa Catarina, Delegación Coyoacán, Ciudad de México. C.P.: 04010.

*Autor de correspondencia: romero.martin@inifap.gob.mx

RESUMEN

Se evaluó el posible efecto del cambio climático, a nivel local, sobre la distribución potencial de cuatro especies forestales (*Pinus arizonica* Engelman, *P. cembroides* Zucc, *Juniperus fláccida* Schlechtendal y *Quercus* spp.) dentro de la cuenca del río Bravo-San Juan, Coahuila, México. Se utilizaron técnicas de modelado espacial y estadísticas para la simulación de las distribuciones potenciales futuras. De acuerdo a los resultados, la distribución potencial actual concuerda con lo reportado por el Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFYs). En la modelación realizada para los años 2050 y 2080 se muestra un aumento en la distribución de las especies, siendo los pinos las que registrarán mayor afectación por cambio climático en el área de estudio. Los resultados sugieren cambios importantes en la distribución potencial de estas especies dentro de la cuenca para los próximos años.

Palabras clave: modelado espacial, especies forestales, distribución potencial.

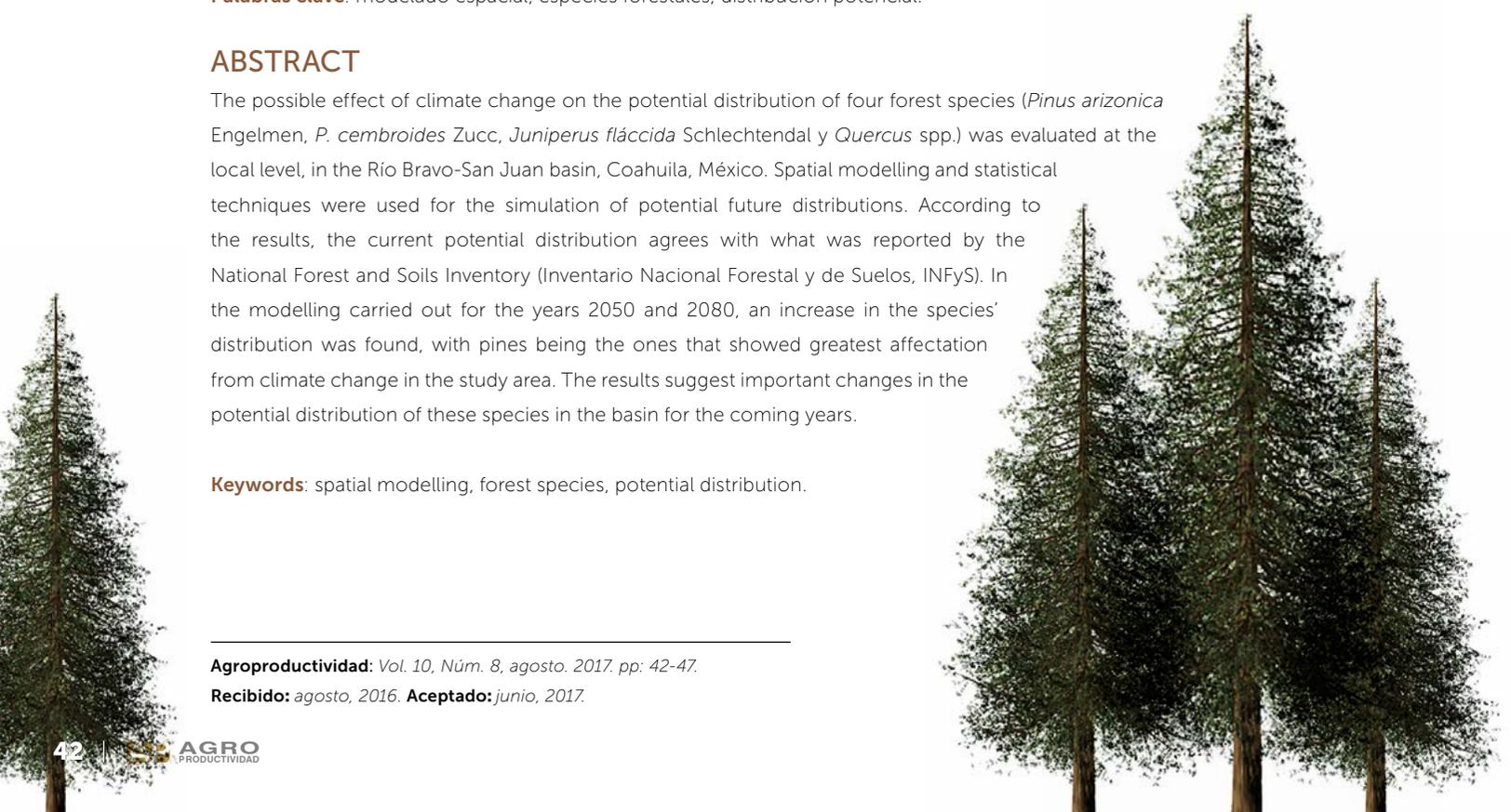
ABSTRACT

The possible effect of climate change on the potential distribution of four forest species (*Pinus arizonica* Engelman, *P. cembroides* Zucc, *Juniperus fláccida* Schlechtendal y *Quercus* spp.) was evaluated at the local level, in the Río Bravo-San Juan basin, Coahuila, México. Spatial modelling and statistical techniques were used for the simulation of potential future distributions. According to the results, the current potential distribution agrees with what was reported by the National Forest and Soils Inventory (Inventario Nacional Forestal y de Suelos, INFYS). In the modelling carried out for the years 2050 and 2080, an increase in the species' distribution was found, with pines being the ones that showed greatest affectation from climate change in the study area. The results suggest important changes in the potential distribution of these species in the basin for the coming years.

Keywords: spatial modelling, forest species, potential distribution.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 8, agosto. 2017. pp: 42-47.

Recibido: agosto, 2016. **Aceptado:** junio, 2017.



INTRODUCCIÓN

El cambio climático y sus consecuencias son innegables (IPCC, 2014), sin embargo, es necesario especificar las afectaciones que las alteraciones climáticas están teniendo sobre los ecosistemas terrestres. Variaciones en la distribución de la precipitación y en los patrones de temperatura sugieren que algunas especies forestales tendrán que cambiar su rango de distribución actual hacia nuevas áreas de distribución (Sáenz-Romero *et al.*, 2012). Se ha documentado que algunas especies de alta montaña están desapareciendo, incapaces de adaptarse a los cambios drásticos de sus ambientes naturales (González, 2008). El cambio climático afecta la temperatura del ambiente lo que provoca sequías que inciden en el crecimiento y distribución de las especies forestales (Altieri y Nicholls, 2013; Maldonado y Juan, 2000), además de provocar que los factores (condiciones) edafoclimáticos se vean afectados, puesto que en algunas regiones aumenta la cantidad de precipitación, y con ello se disminuyen los nutrientes del suelo, también aumenta la humedad lo que provoca que el área del crecimiento forestal se modifique (Sáenz-Romero *et al.*, 2012). Ante los efectos del cambio climático es importante considerar medidas de adaptación y mitigación por parte del sector forestal por lo que es importante la aplicación de modelos para simular los posibles efectos que el cambio climático tendrá sobre los ecosistemas forestales (Pérez-Miranda *et al.*, 2013). La modelación de la influencia que el cambio climático tendrá sobre especies forestales se ha basado principalmente en modelos de escala regional (Gómez-Díaz *et al.*, 2007; Monterroso *et al.*, 2010; Pérez-

Miranda *et al.*, 2013), por lo que es importante explorar métodos de reducción de escala que permitan estimación a nivel local. En el presente estudio, se evaluó el efecto que el cambio climático tendrá en la distribución espacial de cuatro especies forestales en comparación con su distribución actual, mediante el método estadístico de reducción de escala (SDMS) para obtener escenarios de cambio climático a nivel de cuenca hidrológica.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se ubicó en la cuenca Río Bravo-San Juan (12,155 km²), localizada al sureste del estado de Coahuila, México. El límite de la cuenca Río Bravo-San Juan (Figura 1) se delimitó a partir de información vectorial de la Comisión Nacional del Agua (Conagua). Se utilizaron datos de uso de suelo y vegetación actualizados al 2008 estimados a partir de imágenes de satélite de la plataforma SPOT 5 HRG (Pérez Miranda *et al.*, 2012) para seleccionar las áreas forestales donde se distribuyen las especies de interés y para definir áreas de exclusión (no forestales), independientemente de la aptitud del terreno, ya sea actual o futuro. Para determinar áreas potenciales, se tomaron requerimientos edafoclimáticos de cada

una de las especies; principalmente los factores de temperatura máxima, mínima, precipitación, altitud, profundidad, pH y textura. Se establecieron rangos sobre los cuales la especie presenta su mejor adaptabilidad al medio.

Los requerimientos ambientales (Cuadro 1) fueron extraídos de fichas técnicas publicadas por la Comisión Nacional Forestal (Conafor). Adicionalmente se verificaron las condiciones edafoclimáticas reportadas en los conglomerados del Inventario Nacional Forestal y Suelos. Se asignaron grados de aptitud de acuerdo a los requerimientos de cada especie y generaron mapas de cada variable edafoclimática con información de diferentes bases de datos. Los datos sobre los requerimientos ambientales se reclasificaron en función del grado de aptitud, para cada requerimiento: temperatura anual (media, mínima y máxima), precipitación anual, pH del suelo y la altitud media de la cuenca. Los mapas de distribución para cada especie y para cada condición, tal como, temperatura media anual, precipitación anual, pH del suelo y altitud media de la cuenca, funcionaron como parámetros de exclusión. De esta manera se obtuvieron los rangos de distribución según las

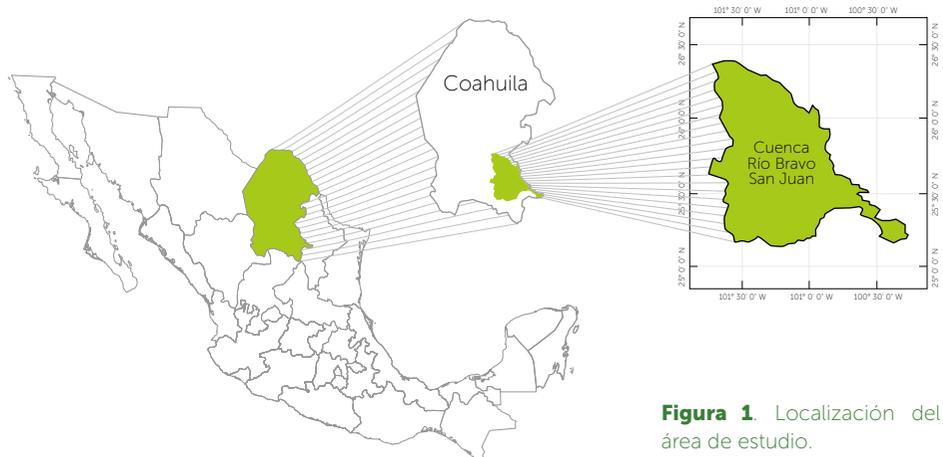


Figura 1. Localización del área de estudio.

Cuadro 1. Requerimientos ambientales por especie

Especie	Altitud (m)			Suelo	Temperatura (°C)			Precipitación (mm)		
	Med.	Mín.	Máx.		Med.	Mín.	Máx.	Med.	Mín.	Máx.
<i>Juniperus flaccida</i> Schlechtendal (Cedro blanco)	1900	900	2900	Someros a medio profundos; con pH muy extenso, prefiere los calcáreos	21.9 (20-24)	6.5	30.1	700	600	800
<i>Pinus arizonica</i> Engelm (Pino blanco)	2250	2100	2400	Profundidad moderada a profunda; Textura: migajón-arcillosa; bien drenados; pH entre 5.5 y 6.5	15	-23*	40*	650	500	900
<i>Pinus cembroides</i> Zucc. (Pino Piñonero)	2500	800	3200	De someros a profundos. Textura: de areno-arcillosa a migajón-arenosa; pedregosos; bien drenados; pH: de 4 a 8; MO: porcentajes medios en el horizonte "A", y pobres en "B"; calcáreos y con alto contenido de yeso y con pobre fertilidad	17.9 (16-20)	-7	42	550	365	800
<i>Quercus</i> spp. (Encino)	2000	1200	2800	Crece en suelos ácidos, neutros o alcalinos, planos y con pendientes pronunciadas textura: franco-limosa-arenosa, franco-arcillosa y franco-arcilla-limosa; son frecuentemente profundos, pero se pueden encontrar someros; pH de 5.9 - 7.1; altos contenidos de M.O.	22 (19-26)	5	39	610	400	820

Fuente: <http://www.conafor.gob.mx/portal/index.php/temas-forestales/reforestacion/fichas-tecnicas>.

condiciones que se presentan en la zona de estudio y los requerimientos ambientales de cada especie. Finalmente, el mapa de uso de suelo y vegetación, de la zona de estudio, fue reclasificado para excluir zonas no forestales. Como estrategia de validación de la distribución potencial actual se utilizaron datos de presencia de las especies tomados del inventario nacional forestal y de suelos (INFyS) 2004-2009. Además, se calculó el índice Kappa (Congalton y Kass, 2009) para determinar el grado de acuerdo/desacuerdo de la distribución potencial actual de cada especie con respecto a los registros en campo del INFyS.

Generación de Escenarios Futuros

Para la generación de escenarios futuros a nivel de cuenca se utilizó el modelo estadístico de reducción de escala (*Statistical Downscaling Model, SDSM*). El SDSM genera funciones de transferencia que relacionan un predictando (valores climáticos diarios) y los predictores (valores climáticos futuros) mediante el ajuste de modelos de regresión lineal múltiple (Wilby and Dawson, 2013). La estructura del modelo de regresión lineal múltiple se describe a continuación:

$$y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^p \beta_j x_{ij} + e_i \quad (1); \quad e_i \sim N(0, \sigma^2) \quad i = 1, \dots, n$$

Donde y_i es el valor del predictando en el día i (n es el número de días del periodo considerado para el ajuste del modelo), x_{ij} es el valor del predictor j en el día i .

Los datos diarios (temperaturas y precipitación) que alimentan el modelo SDMS se obtuvieron de cinco estaciones meteorológicas del área en estudio con datos diarios de más de 30 años a partir de 1961. Los predictores del modelo fueron descargados de la Red Canadiense de Escenarios de Cambio Climático (CCCSN por sus siglas en inglés). y estuvieron basados en el modelo de circulación general CGCM2 con los escenarios de emisiones A2 y B2 descritos por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) (Griggs and Noguera, 2002). Para validar el desempeño del SDMS, se utilizaron datos observados independientes y datos estimados por el modelo. El estadístico correlación de Pearson (r) fue usado para determinar el grado de asociación del modelo. Los predictandos se generaron del periodo que va del año 1961 al año 2100. Para la selección de las áreas potenciales futuras se sustituyeron los valores de precipitación y temperatura generados por el modelo SDMS y se modeló su distribución potencial de la misma forma que se usó para el modelo de la distribución potencial actual. Se estimó la superficie potencial futura de cada especie y comparó respecto a la distribución actual.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Áreas potenciales de distribución actual

De acuerdo a las condiciones climáticas actuales en la cuenca del Río Bravo-San Juan, es factible el desarrollo de las especies forestales analizadas (*Pinus arizonica* Engelman, *P. cembroides* Zucc, *Juniperus fláccida* Schlechtendal y *Quercus* spp.), dentro del rango de necesidades de cada una de las especies (Cuadro 2). Según datos del Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2004-2009, las especies objeto del estudio se distribuyen en el sur de la cuenca (Figura 2) donde se encuentran las áreas forestales más importantes de la cuenca: sierra de Arteaga y sierra de Zapaliname (CONAFOR, 2012).

Los escenarios de cambio climático sugieren aumentos tanto en el promedio de temperatura máxima como en el promedio de la temperatura mínima de las estaciones de la cuenca para los próximos 100 años. En general, la media entre los datos observados para validación y los estimados con el SDSM no difieren, sin embargo, la desviación estándar de los datos estimados fue menor que la de los datos reales. Se observa que en el caso de la temperatura máxima los histogramas son casi idénticos en las estaciones que están dentro de la cuenca (Figura 3), que es donde los modelos de regresión tuvieron mejor ajuste.

Áreas potenciales de distribución futura

De acuerdo a las condiciones previstas por los modelos de circulación general de la atmósfera y los escenarios de cambio climático utilizados, los factores que mayormente influirán en la distribución potencial de las especies forestales analizadas serán la distribución espacial y cantidad de precipitación en la cuenca, lo cual repercute principalmente en

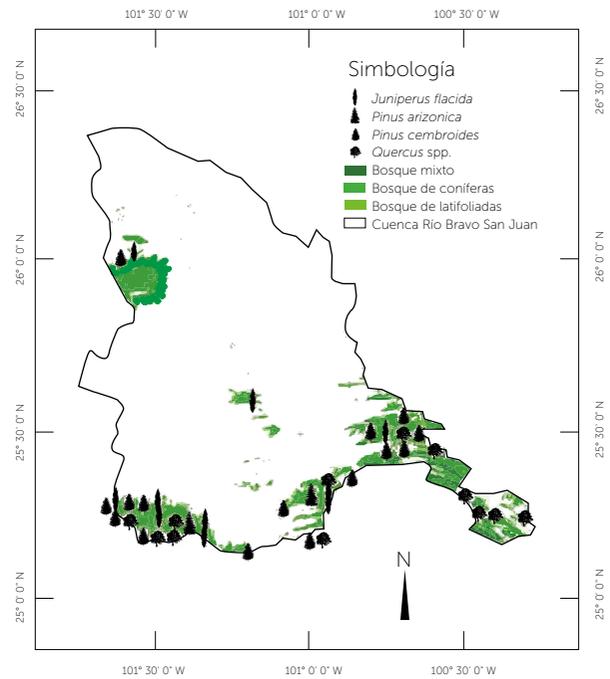


Figura 2. Distribución actual de las especies forestales estudiadas.

la cantidad de humedad disponible para el desarrollo de estas especies. Al estimar un aumento en la disponibilidad de agua, se registraron áreas de distribución potencial futura mayores a la actual (Cuadro 3).

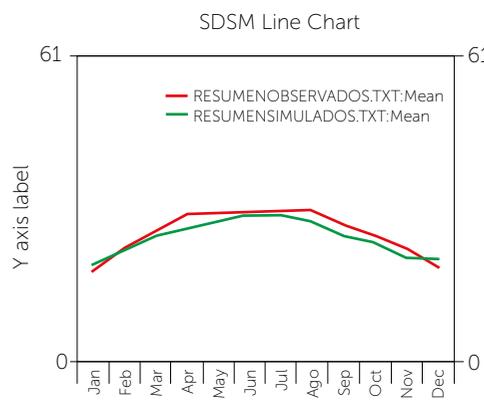


Figura 3. Comparación de valores estimados y observados de temperatura máxima (Tmax) para la estación meteorológica 5011, Ejido Reata, Ramos Arizpe, Coahuila.

Aun cuando los procesos naturales determinan la distribución de las especies, es necesario hacer notar que pueden estar siendo acelerados por efectos del aumento de la temperatura y cambios en la distribución y cantidad de precipitación, producto del cambio climático global (Pérez-Miranda et al., 2013; Sáenz-Romero et al., 2012). Es necesario establecer mecanismos de monitoreo y seguimiento de las diferentes especies forestales no solo de Coahuila, sino de todo el

Cuadro 2. Superficie potencial de distribución actual de las especies forestales diagnosticadas.

Especie	Zona de Distribución	Superficie estimada de la cuenca (%)
<i>Pinus arizonica</i>	Sierra de Zapaliname y en la zona serrana del municipio de General Cepeda	23,206 ha (2.30)
<i>Pinus cembroides</i>	Sierra de Zapaliname, Sur de la cuenca	42210 ha (4.19)
<i>Juniperus flaccida</i>	Sierra de Zapaliname, Sur de la cuenca	70622 ha (7)
<i>Quercus</i> spp.	Sureste de la cuenca, en los municipios de Arteaga y Saltillo	51051 ha (4.20)

Especie	Superficie (ha) 2050	Superficie (ha) 2080	% respecto a la cuenca	diferencia promedio (ha)
<i>Pinus arizonica</i>	35342.72	35797.44	3.53	12363.68
<i>Pinus cembroides</i>	61606.72	62249.60	6.14	19717.60
<i>Juniperus flacida</i>	78596.00	82884.48	8.01	10117.52
<i>Quercus spp</i>	45370.08	46483.36	4.56	3559.36

país ante el cambio climático, para determinar las mejores prácticas de manejo que garanticen su continuidad en las áreas de distribución natural, así como también explorar la pertinencia del desplazamiento hacia áreas donde antes no se distribuían, como se observa en la Figura 4.

En general las distribuciones potenciales de las especies forestales utilizadas en el presente estudio en el escenario actual concuerdan con la distribución reportada por el Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2004-2009. Lo cual permite tener un punto de referencia válido para evaluar las posibles distribuciones futuras. El resultado posible de las afectaciones por el cambio climático podría verse reflejadas en la humedad antes o durante un cierto período de crecimiento que a su vez afectaría el crecimiento de la planta, asimismo el desarrollo radicular es dependiente de la disponibilidad de la humedad del suelo (Funk y Lerdau, 2004). Los bosques del área de estudio mostraron tendencia al aumento en su área

de distribución con presencia del cambio climático, esto debido a la modificación de la temperatura y la precipitación. De acuerdo a los resultados, la presencia de *Pinus* en el área de estudio se verá beneficiada, como se muestra en los escenarios sobre los períodos de estudio (2050 y 2080). Dentro de las alteraciones climáticas pronosticadas es muy importante tomar en cuenta la sucesión vegetal y la tolerancia de las especies forestales ante el cambio. Con la afectación del cambio climático se presentan modificaciones en el área de distribución de las especies forestales haciendo que aumenten o disminuyan; de esto dependen la sucesión y la tolerancia que se tenga para cada uno de los individuos, puesto que algunas especies son intolerantes a la radiación solar en exceso y por ende no tienen la misma posibilidad de crecer en su ambiente natural por las condiciones adversas que se presentan, para ello es necesario que se desarrolle el primer estrato en el suelo y pastos, que ayudan al mejor desarrollo de los árboles en el bosque (Pérez-Miranda et al., 2013).

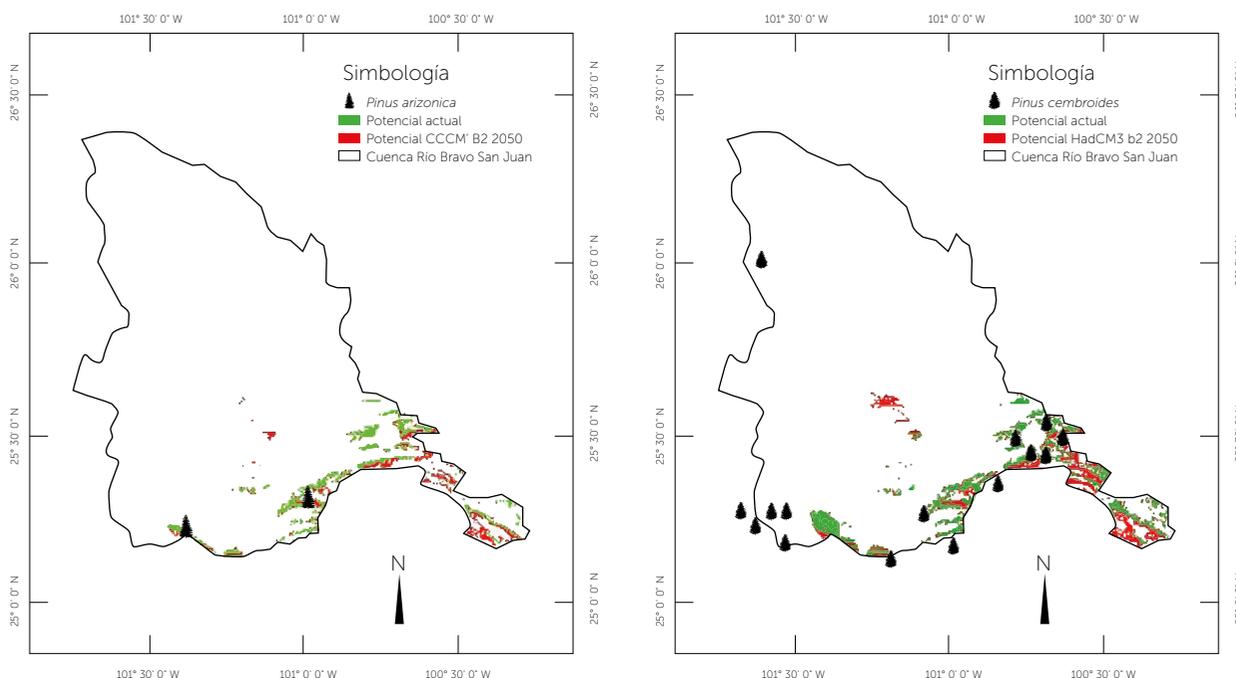


Figura 4. A: Distribución potencial futura de *Pinus arizonica*. B: *Pinus cembroides* bajo un escenario de cambio climático.

CONCLUSIONES

La modelación climática es una base firme para la generación de propuestas para la prevención y manejo de áreas forestales afectadas por el cambio climático. En todos los casos, la modelación de distribución potencial futura de las especies forestales mostró valores superiores con respecto a la distribución actual. Este estudio sugiere que, aunque las alteraciones del clima a nivel global pueden ser negativas, el análisis a nivel local de los efectos del cambio climático puede ser benéfico para algunas especies, tal como fue el caso de las especies analizadas en este estudio.

AGRADECIMIENTOS

Al Fondo Mixto Conacyt-Coahuila como parte del proyecto "Perspectivas sobre la climatología y disponibilidad de los recursos hídricos del estado de Coahuila para los próximos años", convenio COAH-2008-CO7-93005.

LITERATURA CITADA

- Altieri M. A. Nicholls C.I. 2013. Agroecología y resiliencia al cambio climático: principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología* 8: 7–20.
- CONAFOR. 2012. Sistema Nacional de Información Forestal. Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Gerencia de Monitoreo y Evaluación. Comisión Nacional Forestal.
- Congalton R. Kass G. 2009. Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices. Ed. CRC Press, Taylor & Francis Group. Boca Raton, Fl. 183 p.
- Funk J.L. Lerdau M.T. 2004. Photosynthesis in forest canopies, in: *Forest canopies*. Second Edition. Elsevier Inc. p 335–358.
- Gómez D. J. Monterroso R. A. Tinoco R. J. 2007. Distribución del cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) en el estado de Hidalgo, bajo condiciones actuales y escenarios de cambio climático. *Madera y Bosques* 13: 29-49.
- Griggs D. J. Noguera M. 2002. Climate change 2001: The scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Weather* 57: 267–269.
- IPCC. 2014. Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2014: Synthesis Report*. 80 p.
- Maldonado F. D. Juan S. 2000. Caracterización de cambios e influencia climática sobre la cobertura vegetal en el semiárido brasileño mediante Análisis de Componentes Principales (ACP). *Revista de Teledetección* 13:1–9.
- Monterroso R. A. Gómez D. J. Tinoco J.A. 2010. Potential distribution of two dominant species in the National Park "Nevado de Toluca", central México, current and future climate change scenarios. *Journal of Natural and Environmental Sciences* 1: 27–34.
- Pérez M. R. Cruz B. G. Moreno S. F. González H. A. Romero S. M. 2012. Cambios de vegetación y uso de suelo en la cuenca río Bravo-San Juan, Coahuila (1993 a 2008). *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 3: 25–40.
- Pérez M. R., Moreno S. F. González H. A. Arreola P. V. 2013. Escenarios de la distribución potencial de *Pinus patula* Schlttdl. et Cham. y *Pinus pseudostrabus* Lindl. con modelos de cambio climático en el estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 4: 73–86.
- Sáenz-Romero, C. Rehfeldt, G. E. Duval, P. Lindig-Cisneros R.A. 2012. Abies religiosa habitat prediction in climatic change scenarios and implications for monarch butterfly conservation in Mexico. *Forest Ecology Management* 275: 98–106.
- Wilby R.L. Dawson C.W. 2013. Statistical Downscaling Model SDSM- Decision Centric Version 5.1. Supplementary Note. 9 p.

