

Efectos potenciales del cambio climático en los recursos forestales. La sabanización de las regiones continentales de México

Cuauhtémoc Sáenz Romero¹

Resumen. El cambio climático creará un desacoplamiento entre las comunidades vegetales o biomas y el clima para el cual están adaptados. El hábitat climático propicio para biomas de clima templado se contraerá y los de clima seco se expandirán. La lenta velocidad de migración natural de especies de plantas impedirá que los biomas se mantengan acoplados al clima que les es propicio. Este desfase adaptativo inducirá un decaimiento forestal, que ya está ocurriendo, particularmente en el límite xérico de cada especie. Habrá una simplificación de la vegetación, probablemente en un tipo semejante a una sabana. Las tierras interiores de México serán las más afectadas, como la vertiente interior de la Sierra Madre Occidental. Ello será una amenaza para la biodiversidad, los servicios ambientales y la agricultura; tal vez sólo la ganadería extensiva será beneficiada por la apertura de nuevos pastizales. Se requiere realinear las poblaciones de especies forestales a los climas para los cuales están adaptadas, mediante migración asistida.

Palabras clave. Cambio climático, hábitat climático propicio, desfase adaptativo, declinación forestal, límite xérico, migración asistida.

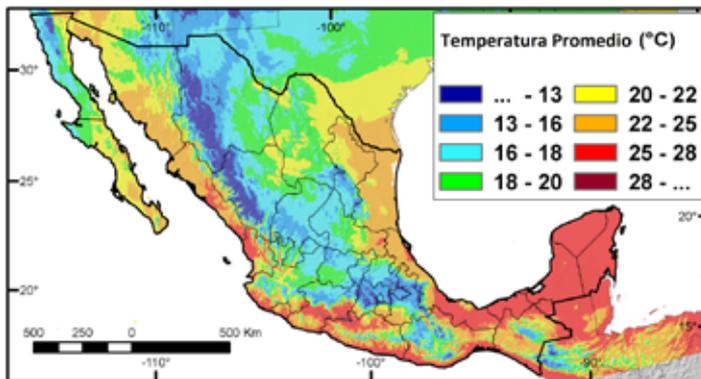
¹ Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (IIAF-UMSNH), e-mail: csaenzromero@gmail.com.

Abstract. *Climate change will create a decoupling between plant communities or biomes and climate to which they are adapted. The suitable climate habitat of temperate biomes will decrease and those of dry climates will expand. The slow rate of natural migration of plant biomes will prevent them to remain coupled with their suitable climate habitat. This adaptive lag will induce a forest decay, which is already happening, particularly in the xeric limit of each species. There will be a simplification of vegetation, probably in a type similar to a savannah. The interior lands of Mexico will be most affected, as the inner slope of the Sierra Madre Occidental. This will be a threat to biodiversity, environmental services and agriculture; maybe only cattle under extensive grazing will be benefited by the opening of new pastures. It requires realign populations of forest species to the climates to which they are adapted, through assisted migration.*

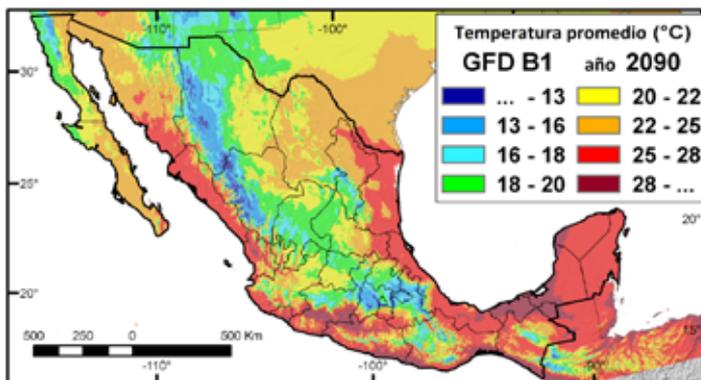
Keywords: *climate change, suitable climate habitat, adaptive lag, forest decline, xeric limit, assisted migration.*

Proyecciones de cambio climático para México

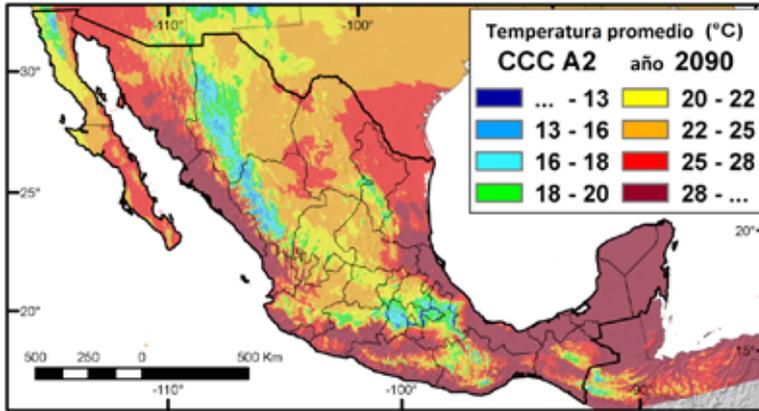
Estimaciones de cambio climático para México proyectan un incremento de la temperatura promedio anual de 1.5 °C para la década del año 2030, de 2.3 °C para el 2060, y de 3.7 °C para el 2090, y una disminución de la precipitación de -6.7 % para el 2030, -9.0% para 2060 y -18.2% para 2090. Estas proyecciones surgen haciendo una comparación con la temperatura y precipitación del clima “contemporáneo” (definido como el promedio del período 1961-1990), y promediando seis modelos-escenarios de emisiones: Modelos de Circulación Global Canadiense, Hadley y Geofísica de Fluídos, y cada Modelo combinado con un escenario de bajas emisiones de gases de efecto invernadero (B) y otro de elevadas emisiones (A) (Sáenz-Romero *et al.*, 2010). Existe gran variación en las proyecciones para fin de siglo entre modelos-escenarios, resultando el más optimista el de Geofísica de Fluídos, escenario de emisiones B, y el más pesimista el Modelo Canadiense, escenario de emisiones A2 (Figura 1).

Figura 1. Media anual de temperatura

Para (A) clima contemporáneo (promedio 1961-1990);



Para (B) Década del año 2090 bajo el modelo-escenario Geofísica de Fluidos, emisiones B1 (optimista).



Para (C) Modelo Canadiense, emisiones A2 (pesimista).

* Figuras derivadas del modelaje de Sáenz-Romero *et al.* (2010).

Efectos esperados en la vegetación

El incremento de temperatura y la disminución de la precipitación tendrá como efecto un incremento de la aridez del clima en el país (Sáenz-Romero *et al.* 2010). El cambio climático creará un desacoplamiento (desfasamiento) entre las comunidades vegetales o biomas (bosques, selvas húmedas y secas) y el clima para el cual están adaptados. Es decir, el clima, al cual se han adaptado a través de un largo proceso evolutivo los biomas (conocido como hábitat climático propicio o nicho climático) ocurrirá en un lugar diferente a los sitios en los que actualmente se distribuyen. En algunos casos, el clima propicio simplemente desaparecerá; es decir, aparecerán climas que actualmente no existen, llamados climas sin análogo contemporáneo (Rehfeldt *et al.*, 2012) (debido a la ocurrencia de olas de calor y ocasionalmente de frío en magnitudes y frecuencias nunca antes vistas).

Este desacoplamiento entre biomas y el clima que les es propicio creará un estrés fisiológico en las plantas, principalmente un estrés por sequía durante la época de secas. El estrés, en general, afectará más a las plantas que a la fauna, ya que las primeras, por crecer fijas a un sitio, tendrán serias limitaciones para migrar por medios naturales y ocupar las nuevas áreas en donde ocurrirá el clima que les es propicio (Peterson *et al.*, 2002). Es decir, la única manera que tienen las poblaciones de plantas para cambiar de lugar es dispersar sus semillas, lograr establecerse, crecer y competir con éxito hasta alcanzar la edad reproductiva y de nuevo repetir ese ciclo. Este desplazamiento ya está ocurriendo, tal como se ha documentado en la Sierra Norte de Oaxaca (Zacarías y del Castillo, 2010), en Cataluña, España (Peñuelas *et al.*, 2007), o en Los Alpes franceses (Lenoir *et al.*, 2008). Sin embargo, tal migración a mayor altitud o hacia el norte en el Hemisferio Norte no está ocurriendo a la velocidad necesaria para mantener las poblaciones de plantas acopladas al clima que les es propicio, ya que el desplazamiento del clima sucede a una velocidad muy superior a la velocidad natural de migración de las poblaciones de plantas (Delzon *et al.*, 2013).

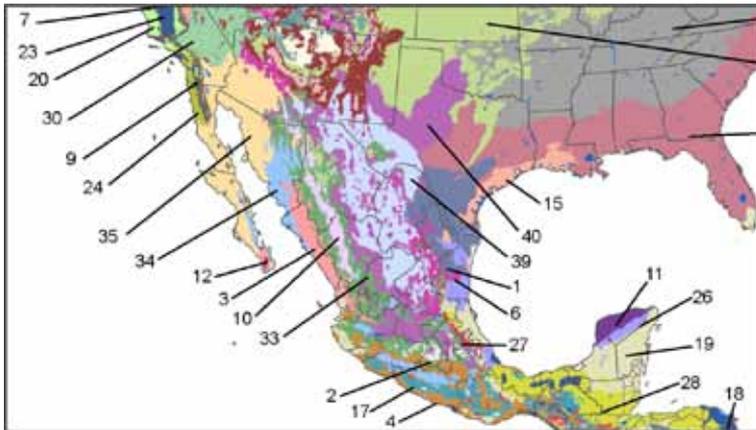
Magnitud del desfase adaptativo entre biomas y clima propicio

La distribución del espacio geográfico ocupado por el hábitat climático propicio puede ser modelado con base en un análisis del clima de sitios ocupados por una especie o bioma, y compararlo con el clima contemporáneo que ocurre en sitios con la ausencia de tal especie o bioma. Una vez modelada tal relación, es posible reemplazar como datos de entrada del modelo, estimaciones del clima futuro, y con ello predecir en dónde ocurrirá el hábitat climático propicio para la especie o bioma determinado. Con base en tal modelaje, Rehfeldt *et al.* (2012), usando la clasificación de biomas de Brown *et al.* (1998), analizó la distribución contemporánea y

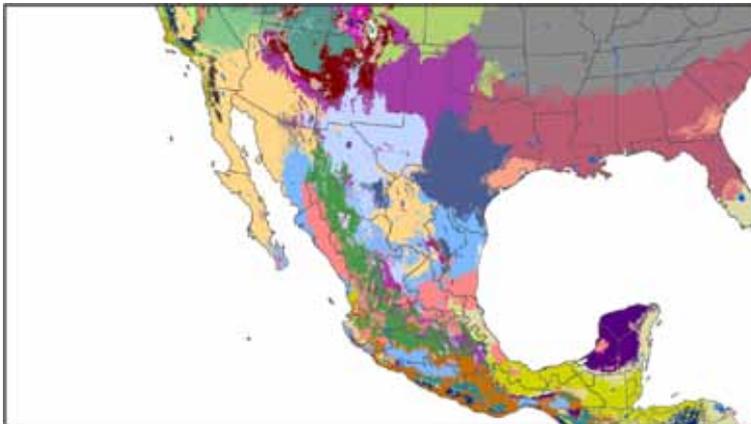
futura de los hábitats climáticos de Norteamérica (Figura 2 y Cuadro 1). Sus resultados indican que, por ejemplo, para el año 2090, el hábitat climático propicio para el bosque de coníferas de la Sierra Madre Occidental se reducirá 85% (bioma 10 en Figura 2), para el del Eje Neovolcánico será en 92% (bioma 2 en Figura 2), y el bosque de niebla en 96% (bioma 27 en Figura 2); en contraste, el hábitat climático de tipos de vegetación característicos de regiones cálidas y secas se expandirá; por ejemplo, el hábitat del matorral espinoso de Sonora se expandirá 105% (bioma 35 en Figura 2), el del matorral xerófito de Sinaloa y Guerrero en 176 % (bioma 34 en Figura 2), y el del bosque seco caducifolio de Yucatán en 293 % (bioma 11 en Figura 2).

El hábitat climático propicio para otros biomas aparentemente se comportan de manera intermedia respecto a los ejemplos mencionados, como el del bosque de pino-encino del Eje Neovolcánico, que se reduce únicamente 8% (bioma 33 en Figura 2). Sin embargo, tal cifra en sí misma no refleja un hecho grave: del total de la superficie ocupada por el hábitat climático de ese bosque de pino-encino, para el año 2090, únicamente 47% permanece en las mismas áreas que ocupa actualmente (Rehfeldt *et al.*, 2012); es decir, 53% del hábitat climático ocurrirá en un sitio diferente al actual; en general, ocupando sitios a mayor altitud, que actualmente le son propicios al bosque (más frío) de coníferas. Entonces, no solamente es importante la magnitud del cambio del área ocupada por el hábitat climático propicio para un bioma, sino en dónde ocurrirá, porque evidentemente ello implica que las poblaciones de especies vegetales tendrían que desplazarse a los nuevos sitios climáticamente propicios.

Figura 2. Distribución del hábitat propicio para biomas de México bajo clima contemporáneo



(A) Para la década centrada del año 2090.



(B) Modificado de Rehfeldt *et al.* (2012), en donde se usó la clasificación de biomas de Brown *et al.* (1998).

*Los códigos de biomas como se indican en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación de biomas

Código	Bioma
1	Matorral espinoso de Tamaulipas
2	Bosque de coníferas del Eje Neovolcánico
3	Bosque deciduo seco de Sinaloa
4	Bosque deciduo seco de Guerrero-Guatemala
6	Chaparral interior
7	Matorral montano de las Grandes Planicies
9	Chaparral de California
10	Bosque de coníferas de la Sierra Madre Occidental
11	Bosque seco caducifolio de Yucatán
12	Bosque de pino-encino de San Lucas
15	Pastizal Costero del Golfo
17	Bosque de encino perennifolio de Guerrero-Guatemala
18	Pastizales de sabana
19	Bosque semi-perennifolio
20	Bosque perennifolio de California
23	Pastizal del Valle de California
24	California Coastalscrub
26	Bosque semi-deciduo de Yucatán-Tamaulipas
27	Bosque de niebla
28	Selva tropical lluviosa
30	Matorral desértico de Mohave
33	Bosque de pino-encino del Eje Neovolcánico
34	Matorral xerófito de Sinaloa y Guerrero
35	Matorral espinoso de Sonora
39	Matorral desértico de Chihuahua
40	Pastizal semidesértico

Clasificación según Rehfeldt *et al.* (2012), basándose en la clasificación de Brown *et al.* (1998), representados en la figura 2, y que ocurren primariamente (excepto 7, 15, 20 y 23) en México. Traducción libre de la nominación de los biomas.

En síntesis: a) El hábitat climático propicio para los biomas que corresponden a clima templado se contraen y los de clima seco se expanden, y b) La expansión del hábitat climático propicio para biomas de vegetación seca no significa necesariamente que se expandirá el bioma correspondiente.

Esto último requeriría que las nuevas áreas ocupadas por el hábitat climático propicio sean colonizadas por semillas y plántulas de las especies del bioma que les es propicio; esto desde luego es poco probable que suceda, ya que la velocidad natural de migración de especies vegetales es mucho más lenta que la velocidad a la que está ocurriendo el cambio climático (Delzon *et al.*, 2013).

Consecuencias del desacoplamiento población-clima: decaimiento forestal

Cuando un bioma o población natural de especies forestales habita un sitio en donde el clima deja de ser el propicio, ocurre un decaimiento, esto es un debilitamiento y muerte progresiva, o bien súbita y masiva de árboles, atribuible al estrés producido por el cambio climático, en particular debido al estrés por sequía (Allen *et al.*, 2015), seguido por ataques de plagas y enfermedades (Sturrock *et al.*, 2011; Alfaro *et al.*, 2014). Esos casos frecuentemente ocurren en el límite inferior del rango natural de distribución altitudinal de una especie, o bien, en el caso del Hemisferio Norte, en el límite sur de su distribución latitudinal (Allen *et al.*, 2010). Tal límite ha sido definido por Mátyás (2010) como "límite xérico"; es decir, el límite de la distribución natural de una especie definido por estrés debido a la sequía, donde los individuos de tal especie no podrían habitar sitios aún más cálidos y secos porque sus mecanismos fisiológicos de resistencia a la variabilidad ambiental ya no se los permite (Mátyás *et al.*, 2010). Como el hábitat climático propicio ya se está desplazando, altitudinalmente, a mayores altitudes y hacia el norte, las poblaciones naturales quedan expuestas a un clima que no les es propicio, más allá de sus límites de resistencia adaptativa. Entonces sobreviene la declinación (Figura 3).

Figura 3.

(A) Población de *Cedrus atlantica* en declinación en Bou Ikhitane, Marruecos, ubicada en (B).



(B) El límite xérico (límite inferior de la distribución altitudinal) de la especie en las Montañas Atlas; notar los árboles defoliados en el límite altitudinal inferior del arbolado.

*Fotos cortesía de Csaba Mátyás, Institute of Environment and Earth Sciences, NEESPI Focus Research Center for Nonboreal Eastern Europe, University of West Hungary, Sopron, Hungría.

(A) publicada originalmente en Mátyas (2010).

En la Meseta Purépecha de Michoacán hemos observado defoliación de ramas durante la época de sequía en el límite xérico de *Pinus pseudostrobus*, que se distribuye de entre 2100 hasta los 2900 m de altitud. Esas ramas con frecuencia ya no se recuperan durante la siguiente temporada de lluvias; aparentemente, los árboles acumulan ramas muertas hasta un umbral en el que se debilitan seriamente, y éstos son muertos por el ataque de escarabajos descortezadores, o aun sin él (Figura 4).

Un proceso similar, lo hemos observado en *Abies religiosa* en la Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca (Figura 5). La defoliación de *A. religiosa* aparentemente ligada al cambio climático ha sido documentada por Flores-Nieves *et al.* (2011).

Figura 4. Árboles de *Pinus pseudostrobus* con declinación (defoliación aparentemente debida a estrés por sequía ligada al cambio climático) cercano al límite altitudinal inferior de la especie (2300 m de altitud) en la Meseta Purépecha, Michoacán



(A) Muerte de la parte superior de la copa. Septiembre, 2010.



(B) Defoliación general. Septiembre, 2010.



(C) Árbol muerto por defoliación generalizada, seguida de ataque de escarabajo descortezador. Diciembre, 2013.

Figura 5.



(A) Árbol de *Abies religiosa* con la parte superior de la copa muerta.



(B) Árboles de *A. religiosa* defoliados (notar la transparencia de las copas, en vez de la habitual copia muy densa que caracteriza a la especie).

* Santuario El Rosario, Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca, Michoacán. Marzo, 2011.

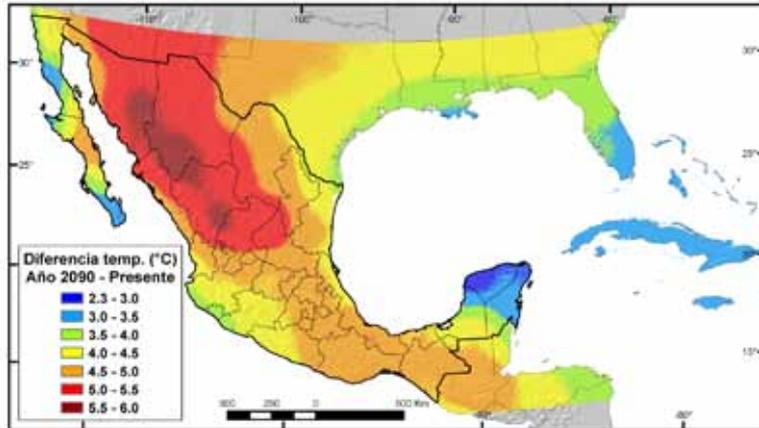
La sabanización de México

La declinación forestal disminuirá la densidad del arbolado por la muerte de árboles adultos (Figuras 3 a 5), con limitadas posibilidades de reclutamiento de nuevos individuos de las especies en declinación (Zacarias-Eslava y del Castillo, 2010), muy probablemente creando un tipo de vegetación caracterizado por espacios abiertos y pocos individuos arbóreos pertenecientes a las especies y/o genotipos más resistentes al estrés por sequía. El aspecto de la vegetación sería semejante a una sabana, en donde los espacios abiertos serían ocupados por especies probablemente no endémicas, con capacidades de invasoras, como son los pastos exóticos. La simplificación de la vegetación ya está ocurriendo en sitios con masiva declinación forestal, como es el caso de los bosques de pino piñonero (*Pinus edulis*) y enebro (*Juniperus osteoperma*) del sureste de EEUU (Colorado, Uta, Nuevo México y Arizona), en donde la conjunción de dos años contiguos (2000-2003) generó un estrés por sequía tal que mató masivamente al *P. edulis*, pero no al *J. osteoperma*, éste último mucho más resistente a la sequía que el primero (Breshears *et al.*, 2005). El resultado es un bosque con una densidad de arbolado mucho menor a la existente antes de tal evento (Allen *et al.*, 2015).

Es posible que un evento como el descrito ocurrirá en México si se presentan dos años contiguos de sequía, aparentemente las especies arbóreas están adaptadas para resistir un año de sequía extrema, pero no dos (Breshears *et al.*, 2005). Tal evento probablemente ocurrirá en la vertiente interior de la Sierra Madre Occidental donde se producirá el mayor calentamiento para México (Figura 6), lo cual ha sido confirmado con datos recientes de estaciones meteorológicas (Pavia *et al.*, 2009).

Modelos muy diversos coinciden en que los mayores efectos del cambio climático ocurrirán en tierras interiores con climas continentales, no en las costas con clima marítimo, ya que para México en las tierras interiores es donde habrá la mayor disminución de precipitación (Christensen *et al.*, 2007). Tal es el caso justamente de la vertiente interior de la Sierra Madre Occidental (Figura 6).

Figura 6. Diferencia en media anual de temperatura entre el clima contemporáneo (promedio 1961-1990) y el proyectado para la década del año 2090, bajo el modelo-escenario Canadiense-A2



Modificado de Sáenz-Romero *et al.*, 2012a.

Un futuro difícil. Opciones de manejo

Un cambio tan radical en la vegetación natural evidentemente será una amenaza para la biodiversidad, al poner en riesgo la viabilidad de poblaciones de especies que ya están en peligro de extinción, aun sin cambio climático (Ledig *et al.*, 2010; Ledig, 2012), así como para los servicios ambientales por la disminución de la captura de carbono y de agua, y para la agricultura por la disminución de las cosechas en México, hasta 30% para fin de siglo (Parry *et al.*, 2004). Tal vez sólo la ganadería extensiva sería la única beneficiada por la apertura de nuevos pastizales.

Para promover la existencia de poblaciones forestales sanas en el futuro, se requiere de la intervención humana para reacoplarlas (realinear) a los climas para los cuales están adaptadas, mismos que en ge-

neral ocurrirán a mayor altitud, y en algunos casos más al norte. Este realineamiento, que se ha llamado migración asistida (Rehfeldt *et al.*, 2002; Tchebakova *et al.*, 2005), consistiría en coleccionar semilla de la especie de interés en un sitio (preferentemente coleccionada del mayor número posible de individuos, para incluir la mayor cantidad posible de diversidad genética), producir la planta en vivero, y plantar en otro sitio donde se haya predicho que ocurrirá el clima que le es propicio. En el caso del movimiento altitudinal, se sugiere como lineamiento general moverse altitudinalmente hacia arriba 300 m, ya que ello compensaría el calentamiento esperado para el año 2030, que es de 1.5 °C, y considerando que por cada 100 m de altitud, la temperatura en general cambia 0.5 °C (Sáenz-Romero *et al.*, 2010).

Un ejemplo concreto de migración asistida sería mover, altitudinalmente hacia arriba de 300 m, las poblaciones de *Pinus pseudostrabus* en la Meseta Purépecha de Michoacán (la especie maderable de pino más importante en la región), a fin de compensar los efectos esperados del cambio climático proyectados para la década el año 2030 (Sáenz-Romero *et al.* 2012b). En consecuencia, las poblaciones que actualmente se encuentran en el límite inferior altitudinal de *P. pseudostrabus* (en la región es de aproximadamente 2200 m) tendrían que ser reemplazadas por una especie distinta que se encuentre actualmente distribuida a menor altitud. El candidato natural sería *P. devoniana* (también conocido como *P. michoacana*). Entonces, las poblaciones de elevada altitud de *P. devoniana* reemplazarían a las de baja altitud de *P. pseudostrabus*; éstas últimas, a su vez, reemplazarían a las de la parte media de la distribución de *P. pseudostrabus*, y éstas a las de la parte alta. Finalmente, las de la parte alta tendrían que desplazarse y ocupar los sitios en donde actualmente se distribuye la siguiente especie a mayor altitud, que en la región sería *P. montezumae*. Este movimiento altitudinal se ha ensayado con éxito para *P. devoniana* y *P. pseudostrabus* en la Meseta Purépecha de manera experimental (Castellanos-Acuña *et al.*, 2015).

El realineamiento de la vegetación implica abandonar un concepto central de la restauración ecológica clásica, que asume que la semilla local en general es la mejor porque está adaptada al sitio a reforestar (Ledig y Kitzmiller 1992). Evidentemente, esto era válido hasta antes de que el cambio climático fuera una realidad.

Desde luego, la mejor opción es disminuir drásticamente la emisión de gases de efecto invernadero (Hansen, 2004), cosa que, simplemente, no está sucediendo (Hansen, 2009; Hansen *et al.*, 2012).

AGRADECIMIENTOS

A Fernando de León; a la UAM-X por la invitación a colaborar en este número temático; a Gerald E. Rehfeldt; USDA-Forest Service y Juan Felipe Charre-Medellín; a UMSNH por su ayuda en la figura 2.

BIBLIOGRAFÍA

- Alfaro, R. *et al.*, 2014, "The role of forest genetic resources in responding to biotic and abiotic factors in the context of anthropogenic climate change", en *Forest Ecology and Management*, 333(1): 76-87.
- Allen, C. *et al.*, 2010, "A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests", en *Forest Ecology and Management*, 259(4): 660-684.
- Allen, C. *et al.*, 2015, "On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene", en *Ecosphere*, 6(8), art. 129: 1-55.
- Breshears, D. *et al.*, 2005, "Regional vegetation die-off in response to global-change-type drought", en *Proceedings of National Academy of Sciences*, 102: 15144-15148.

- Brown, D. *et al.*, 1998, *A classification of North American biotic communities*, University of Utah, Salt Lake City, EEUU.
- Castellanos, A. *et al.*, 2015, "Altitudinal assisted migration of Mexican pines as an adaptation to climate change", en *Ecosphere*, 6(1): Art. 2: 1-16.
- Christensen, J. *et al.*, 2007, "Regional Climate Projections", en Solomon, S. *et al.* (eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK y EEUU.
- Delzon S. *et al.*, 2013, "Field evidence of colonisation by Holm oak, at the northern margin of its distribution range, during the Anthropocene Period", en *PlosOne*, 8(11): e80443.
- Flores, N. *et al.*, 2011, "Modelos para la estimación y distribución de biomasa de *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et. Cham. en proceso de declinación", en *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8: 9-20.
- Hansen, J., 2004, "Defusing the global warming time bomb", en *Scientific American*, 290: 68-77.
- Hansen, J., 2009, *Storms of my grandchildren*, Bloomsbury, Nueva York, EEUU.
- Hansen, J. *et al.*, 2012, "Perception of climate change", en *PNAS*, 109 (37): E2415-E2423.
- Ledig, F. y J. Kitzmiller, 1992, "Genetic strategies for reforestation in the face of global climate change", en *Forest Ecology and Management*, 50: 153-169.
- Ledig, F., 2010, "Projections of suitable habitat for rare species under global warming scenarios", en *American Journal of Botany*, 97(6): 970-987.
- Ledig, F., 2012, "Climate change and conservation", en *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 8: 57-74.
- Lenoir, J. *et al.*, 2008, "A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th Century", en *Science*, 320: 1768-1770.

- Mátyás, C., 2010, "Forecasts needed for retreating forests", en *Nature*, 464: 1271.
- Mátyás, C. et al., 2010, "Future of beech in Southern Europe from the perspective of evolutionary ecology", en *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 6: 91-110.
- Parry, M. et al., 2004, "Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios", en *Global Environmental Change*, 14: 53-67.
- Pavia, E. et al., 2009, "Annual and seasonal surface air temperature trends in México", en *International Journal of Climatology*, 29: 1324-1329.
- Peñuelas, J. et al., 2007, "Migration, invasion and decline: changes in recruitment and forest structure in a warming-linked shift of European beech forest in Catalonia (NE Spain)", en *Ecography*, 30: 830-838.
- Peterson, T. et al., 2002, "Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios", en *Nature*, 416: 626-629.
- Rehfeldt, G. et al., 2002, "Intraspecific responses to climate in *Pinus sylvestris*", en *Global Change Biology*, 8: 912-929
- Rehfeldt, G. et al., 2012, "North American vegetation model for land-use planning in a changing climate: a solution to large classification problems", en *Ecological Applications*, 22(1): 119-141.
- Sáenz, R., 2010, "Spline models of contemporary, 2030, 2060 and 2090 climates for Mexico and their use in understanding climate-change impacts on the vegetation", en *Climatic Change*, 102(3-4): 595-623.
- Sáenz, R. et al., 2012a, "Spline models of contemporary, 2030, 2060 and 2090 climates for Michoacán state, México; impacts on the vegetation", en *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(4): 333-345.
- Sáenz, R. et al., 2012b, "Altitudinal genetic variation among *Pinus pseudostrobus* populations from Michoacán, México; two location shadehouse test results", en *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(2): 111-120.
- Sturrock, R. et al., 2011, "Climate change and forest diseases", en *Plant Pathology*, 60: 133-149.

- Tchebakova, N. *et al.*, 2005, "Impacts of climate change on the distribution of *Larix* spp. and *Pinus sylvestris* and their climatypes in Siberia", en *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11: 861-882.
- Zacarías, E. y R. del Castillo, 2010, "Comunidades vegetales templadas de la Sierra Juárez, Oaxaca: Pisos altitudinales y sus posibles implicaciones ante el cambio climático", en *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 87: 13-28.