



Cambio climático: ¿precursor de migración de especies vegetales en la montaña más alta del norte de México?

JAIME SÁNCHEZ SALAS*, VÍCTOR M. MOLINA GUERRA*, REGINA PÉREZ DOMÍNGUEZ*, FLOR MARÍA SILVA ARREDONDO*, EDGARDO SADOT ORTIZ HERNÁNDEZ*, ENRIQUE JURADO*

A nivel global, y de manera particular, en América Latina, durante las últimas décadas, la temperatura y precipitación han sufrido cambios considerables,¹ lo que ha permitido pronosticar huracanes de mayor intensidad y frecuencia,² así como incrementos de hasta 4°C en la temperatura para 2100.³ Ambos factores se consideran como los de mayor importancia en la distribución de las especies,⁴ y al ser alterados modificarán los patrones de distribución geográfica de las mismas,^{5,6} provocando un aumento o disminución del rango de tolerancia⁷ o amplitud ecológica.⁸⁻¹² El rango de tolerancia para cada especie y factor ambiental (temperatura, humedad, viento) está dado por límites; más allá de éstos, las condiciones son extremas y los organismos no pueden permanecer o mantener poblaciones extensas.^{13,14}

Sin embargo, como respuesta al cambio climático, las especies pueden mantener o modificar sus áreas de distribución, responden con tres tipos de persistencia: 1) adaptación a nuevas condiciones ambientales, 2) migración hacia nuevos sitios, 3) extinciones.^{15,16} La vegetación de cadenas montañosas, y en particular la alpina, responde con procesos migratorios altitudinales¹⁷ por el

aumento de la temperatura, y de cumplirse las predicciones del incremento progresivo de ésta,¹⁸ las especies de altas montañas experimentarán procesos de extinción.¹⁹

Esto hace suponer que la vegetación del cerro El Potosí pudiera sufrir procesos migratorios, pues cumple con los rangos altitudinales idóneos que albergan comunidades vegetales frágiles, en las que se puede presentar desplazamiento hacia zonas altas, o bien la extinción de algunas comunidades. El cerro El Potosí se ubica en una fracción de la Sierra Madre Oriental, al sur del estado de Nuevo León, en el municipio de Galeana, alcanza una altitud de 3,670 m.s.n.m., y es la parte más alta del estado, con clima semiseco templado; precipitación total anual entre 400 y 600 mm; el rango de temperatura media anual fluctúa entre 12 y 18°C.²⁰

Las principales asociaciones vegetales son: pradera alpina y subalpina, matorral de *Pinus culminicola*, bosque mixto de *Pinus culminicola*-*P. hartwegii*, bosque mixto de *Pinus hartwegii*-*P. culminicola*, bosque mixto de *Pinus hartwegii*-*P. ayacahuite*-*Abies vejari*-*Pseudotsuga menziesii*.

* Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León.

Bajo estos supuestos, el presente documento pretende aportar elementos que demuestren la presencia de desplazamiento altitudinal de especies vegetales, como efecto del cambio climático y para lo cual se abordaron dos temas centrales: a) factores que provocan migración altitudinal; b) pronóstico de especies migratorias altitudinales, como efecto del cambio climático en el cerro El Potosí; asimismo, la propuesta de estudios en la zona para determinar migración altitudinal como resultado del cambio climático.

Factores que provocan migración en elevación

Se considera que el clima tiene control sobre la distribución global de biomas y especies,²¹⁻²⁴ por lo cual su distribución geográfica es un indicador en el que se observan los efectos del cambio climático sobre los seres vivos,²⁵ pues los límites altitudinales son extremadamente sensibles a estos cambios.²⁶ Bajo este argumento, se asume que cualquier movimiento en el rango de distribución de especies será a causa de cambios actuales en el clima.²⁷ Actualmente hay evidencia de que el desplazamiento de especies de coníferas a nivel latitudinal continúa, esto es, algunas especies, aun en nuestros días, siguen desplazándose al norte, recuperan los espacios perdidos en la última glaciación,²⁸ y se adaptan aceleradamente a los nuevos ambientes.

Pero, ¿cuál es la causa por la que los organismos se adaptan rápidamente, y logran emigrar? Según evidencia científica, en el periodo posglacial los bosques se adaptaron rápidamente a los nuevos ambientes, gracias a la variabilidad fenotípica formada dentro de la misma especie, la cual está estrechamente relacionada con su distribución geográfica.^{29,30} Mediante el análisis de los anillos de crecimiento, se ratifica que los cambios de la distribución de las especies^{5,14,25,29,31} desde el siglo XIX son resultado de los incrementos progresivos de la temperatura a nivel mundial.³²

Empíricamente, se estima que las plantas de altas montañas tienen un bajo nivel de migración,

calculado en cuatro metros cada diez años;²⁹ sin embargo, para la vegetación alpina se pronostican cambios fenológicos en su establecimiento, a tal grado que provocarán su extinción,²³ así como la invasión de especies de elevaciones menores.³³ Una hipótesis alternativa asume que los bosques desaparecerán, más no migrarán a nuevos territorios, debido a la acumulación excesiva de CO₂.²² Esto impedirá el desarrollo de la vegetación en sitios restringidos por la formación de plantas de menor tamaño, que no soportarán las condiciones adversas del nuevo hábitat.³⁴

Para el caso de especies herbáceas de rápido crecimiento, el cambio climático las favorecería, al reducir la diversidad de los bosques de lento crecimiento y baja capacidad de migración de especies arbóreas.³⁵ El éxito del proceso de migración radica en la ejecución de cuatro componentes básicos: fecundidad, dispersión, establecimiento (germinación y sobrevivencia) y reproducción de plantas adultas que sean fecundas.³⁶ Los altos niveles de fragmentación, que se presentan en las altas montañas por el uso excesivo de los recursos forestales, dificultarán la emigración³⁷ y quizá esto favorecerá a las especies invasoras³⁸ o malezas.³⁰

Dispersión

La movilización de las semillas está supeditada por barreras climáticas³⁹ que dificultan su desarrollo en nuevos sitios.³⁷ Un mismo sitio presenta condiciones climáticas variadas de una exposición a otra, así como entre gradientes de elevación. Como respuesta a estas variaciones, las semillas poseen estructuras especiales para su disseminación. Sin embargo, el tipo de dispersión está influenciado por el ambiente en el que se encuentran las especies. La dispersión en los bosques es por viento y hormigas,⁴⁰ mientras que en zonas semiáridas se relaciona directamente con la precipitación.⁴¹ Por esta razón, los mecanismos anemocóricos dispersan las semillas al final de la temporada de sequía y los zoocóricos durante la

época de lluvias.^{42,43} Las áreas perturbadas juegan un papel esencial en la dispersión de semillas, porque funcionan como sitios potenciales de di-seminación.⁴⁴ En el cerro El Potosí, la combi-nación de mecanismos dispersores y áreas perturba-das trasladan activamente semillas, a través de mo-vimientos convectivos del viento, e incrementan la probabilidad de migrar a nuevas elevaciones para su establecimiento.^{42,45}

Pronóstico de migración de especies en el cerro El Potosí

Los procesos migratorios se han evaluado de manera subjetiva, a través de modelos que pro-nostican los cambios potenciales que seguirá la ve-getación en función de la temperatura.^{1,3} Un ejemplo de esos modelos es el ENM (Ecological Niche Model), con base en la teoría del nicho que proporciona elementos necesarios para en-tender cómo interactúan los factores bióticos y abióticos para determinar la distribución geográ-fica de las especies.^{46,47} Sin embargo, la mayor capacidad predictiva de la respuesta ante un cam-bio se centra en la idea de nicho preinteractivo, en el que se definen las condiciones en las cuales el grupo de organismos podría crecer o mante-nerse en el tiempo más allá de cómo sean las con-diciones actuales⁴⁷ sin migración.⁴⁹

Los grupos de mayor potencialidad para mi-grar, por tener ciclos de vida cortos y crecimiento rápido, son las herbáceas e invasoras,³⁵ mientras que las especies arbóreas y leñosas requieren de procesos con periodos más largos. Para determi-nar las posibles especies migratorias en el cerro El Potosí, es necesario conocer sus patrones de dispersión,³⁹ así como las características de las uni-dades dispersantes, agentes dispersores⁵⁰ y las es-pecies distribuidas en el sitio. A continuación se proponen algunas especies con potencial de mi-gración, de acuerdo a las características de sus semillas:

Especie	Familia	Tipo de vegetación	Tipo de dispersión
<i>Arenaria sp</i>	<i>Cariofilaceae</i>	Pradera alpina	Viento y animal
<i>Euphorbia beamanii</i>	<i>Euphorbiaceae</i>	Pradera alpina y subalpina	Viento
<i>Festuca sp</i>	<i>Poaceae</i>	Pradera alpina	Viento
<i>Phacelia platycarpa</i>	<i>Hydrophyllaceae</i>	Pradera alpina	Viento y Agua
<i>Pinus arizonica</i>	<i>Pinaceae</i>	Bosque de Pino-Encino	Viento
<i>Pinus cembroides</i>	<i>Pinaceae</i>	Bosque de Pino-Encino	Gravedad
<i>Pinus hartwegii</i>	<i>Pinaceae</i>	Bosque mixto de coníferas	Viento
<i>Quercus emoryi</i>	<i>Fagaceae</i>	Chaparral con bosque de encino	Animal
<i>Rhus trilobata</i>	<i>Anacardiaceae</i>	Chaparral con bosque de encino	Animal
<i>Ribes ciliatum</i>	<i>Grossulariaceae</i>	Matorral de <i>Pinus culminicola</i>	Animal
<i>Senecio loratifolius</i>	<i>Asteraceae</i>	Pradera alpina	Animal
<i>Senecio scalaris</i>	<i>Asteraceae</i>	Pradera alpina	Animal

Estudios potenciales en la zona para determi-nar emigración como efecto del cambio climático

El cambio climático abarca un amplio abanico de tópicos, los cuales, al ser abordados, generan polémica en el ámbito científico. Sin embargo, la comunidad interesada en las causas y efectos pro-vocados por este fenómeno llega a identificar la temperatura como el factor principal que produ-ce un efecto dominó en la precipitación, viento, presión atmosférica, por mencionar algunos de la amplia gama de los factores que altera. Por es-tas razones, se agrupan investigaciones pertinen-tes a desarrollar para determinar qué especies tie-nen potencial de migración altitudinal (tabla I)

El presente manuscrito pretende dar un panorama amplio del proceso de migración de especies de flora silvestre a rangos altitudinales mayores de los que actualmente se distribuyen como en Townsend, Begon y Harpe,⁵¹ derivado de

Tabla I. Líneas de investigación propuestas.

Línea de investigación	Tema
Aspectos físicos	- Análisis histórico de los datos climatológicos de la región y la medición de los valores actuales.
Aspectos biológicos	- Capacidad de adaptación de las especies vegetales para establecerse por arriba de sus límites altitudinales de distribución actual. - Fenología de las especies vegetales con potencial de migración. - Producción, dispersión y germinación de semillas en especies con potencial de migración. - Mecanismos de dispersión de especies vegetales. - Análisis del nicho ecológico en función a la temperatura en especies de interés.
Evidencias geográficas de la migración de asociaciones vegetales	- Realizar un perfil de vegetación altitudinal temporal. - Generar escenarios de cambio climático en el área.
Ecología	- Identificar sitios potenciales de migración de las especies vegetales. - Evaluación de regeneración natural en áreas incendiadas o con disturbios.

las modificaciones climáticas que se han presentando a través de las últimas décadas. Asimismo, proporcionar una serie de investigaciones potenciales que se puedan realizar en el área que cubre el cerro El Potosí, región que presenta una gran diversidad de especies y otras, además, catalogadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (*Abies vejari* (A, endémica), *Juniperus monticola* (Pr, no endémica), *P. culminicola* (Pr, endémica), *Smilacina stellata* (A, no endémica))⁵² y ecosistemas, así como rangos altitudinales muy amplios y enfocar que los cambios en estructura o distribución de las especies derivan del cambio climático mundial, sugiriendo a su vez al lector investigaciones y publicaciones que proporcionen información con respecto a este proceso.

Lecturas recomendadas

Los efectos que el cambio climático ha tenido, las especies animales, vegetales y los ecosistemas han sido tema de estudio para diversos autores.

Las evidencias indican que las especies vegetales responden a procesos migratorios altitudinales, por lo que se considera de gran importancia conocer qué está sucediendo principalmente con las zonas montañosas, consideradas como las más vulnerables ante los efectos del cambio climático. En esta sección se sugieren artículos científicos que proporcionan información importante para estudios posteriores acerca del tema. Se sugieren las siguientes referencias: McCarty 2001; Clark, J.S. *et al.*, 2002; González y López, 2003; Ronald *et al.*, 2005; Mckenney, 2007; Byars *et al.*, 2007; Aitken *et al.*, 2008; Kelly y Goulden, 2008; Loarie, 2009.

Resumen

La temperatura y precipitación sufren cambios continuos que probablemente modificarán los patrones de distribución geográfica de las especies vegetales. En el cerro El Potosí pueden estar ocurriendo procesos migratorios de especies vegetales y bajo este supuesto, el presente documento consideró factores que provocan migración a nuevas elevaciones, como la amplitud del rango de tolerancia de las especies vegetales a los factores ambientales (temperatura, precipitación y humedad atmosférica). Lo anterior en combinación con la teoría del nicho ecológico que proporciona elementos necesarios para entender cómo interactúan los factores bióticos y abióticos para determinar la distribución geográfica de las especies. La proposición de nuevas investigaciones es preponderante para obtener evidencias de que el proceso se lleva a cabo en la zona, por lo que se proponen tópicos al respecto.

Palabras clave: Climático, Cerro El Potosí, Dispersión, Migración, Elevación.

Abstract

Temperature and precipitation have continuous changes that will possibly modify the geographi-

cal distribution patterns of plant species. In the "Cerro El Potosí" these migration processes may be occurring in plant species, and under this supposition, the present document considers the factors that cause migration to higher elevations, such as the tolerance range to environmental factors (temperature, precipitation and atmospheric humidity) of the species. All of this combined with the ecological niche theory that provides elements to understand how the biotic and abiotic factors interact to determine the geographical distribution of the species are considered. The proposal of new investigations is preponderant in obtaining evidence that the process is taking place in the geographic zone, for which new topics are proposed.

Keywords: Climatic Change, Cerro El Potosí, Dispersion, Migration, Elevations.

Referencias

1. Conde-Álvarez, C. y Saldaña-Zorrilla, S. 2007. Cambio climático en América Latina y el Caribe: impacto, vulnerabilidad y adaptaciones. *Revista Ambiente y Desarrollo*. 23(2):23-30.
2. IPCC-WGI. 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group I. Working Group I Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. 23 pp.
3. McCarty, J.P. 2001. Ecological consequences of recent climate change. *Conservation Biology*. Vol. 15, No. 2, pp. 320-331.
4. Krebs, C.J. 1985. *Ecología: estudio de la distribución y la abundancia*. Segunda edición. Oxford University Press. 753 pp.
5. Root T.L., Price J.T., Hall R.K., Schneider S.H., Rosenzweig C., Pounds J.A. 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*. 421: 57-60
6. Fitzpatrick, M.C., Gove, A.D., Sanders, N.J., Dunn, R.R. 2008. Climate Change, plant migration, and range collapse in a global biodiversity hot spot: The Banksia (Proteaceae) of Western Australia. *Global Change Biology*. 14: 1337-1352.
7. Chapman, S.B. 1976. *Methods in Plant Ecology*. Blackwell Scientific Publications. Osney Mead, Oxford. New York. Blackwell Scientific Publications, Oxford. London. 580 pp.
8. Fischer, J., Lindenmayer, D.B., Nix, H.A., Stein, J.L. y Stein, J.A. 2001. Climate and animal distribution: a climatic analysis of the Australian marsupial *Trichosurus caninus*. *Journal of Biogeography*. 28: 293-304.
9. Graham, C.H., Ron, S., Santos, J.C., Schneider, C.J. 2004. Integrating Phylogenetics and environmental niche models to explore speciation mecanismo in dendrobatid frogs. *Evolution*. 58(8): 1781-1793.
10. Vaughton, G. y Ramsey M. 2004. Dry environments promote the establishment of females in monomorphic populations of *Wurmbea biglandulosa* (Colchicaceae). *Evolutionary Ecology*. 18: 323-341.
11. Villaseñor, J.L. y Téllez-Valdez, O. 2004. Distribución potencial del género *Jefea* (Asteraceae) en México. *Anales del instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Botánica*. 75(2): 205 - 220
12. Finch, J.M., Samways, M.J., Hill, T.R., Piper, S.E. y Taylor, S. 2005. Application of predictive distribution modeling to invertebrates: Odonata in South Africa. *Biodiversity and Conservation*. 00:1-13.
13. Cox, B. y Moore, D. 1994. *Biogeography, an ecological and evolutionary approach*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London. 428 pp.
14. Walther, G.R. et al. 2002. Ecological Responses to recent climate changes. *Nature*. 416:389-395.

15. Aitken, N. S., Sam Yeaman, Jason A. Holliday, Tongli Wang and Sierra Curtis-McLane. 2008. Adaptation, migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations. Journal compilation. Blackwell Publishing Ltd. 95-111.
16. Clark, J. S., Beckage, B., HilleRisLambers, J., Ibanez, I., LaDeau, S., McLachlan, J., Mohan, J. and Rocca, M. 2002. Plant Dispersal and Migration. Vol. 2 Earth.
17. Byars, S. G., Papst, W. and Hoffmann, A.A. 2007. Local adaptations and cogradient selection in the alpine plant, *Poa hiemata*, along a narrow altitudinal gradient. *Evolution*. 61 (12): 2925-2941.
18. Villers-Ruiz, L. y Trejo Vázquez, I. 1998. Impacto del cambio climático en los bosques y áreas naturales protegidas de México. *Interciencia*. 23(1):10-19
19. González, M., Jurado, E., González, S., Aguirre, O., Jiménez, J. y Navar, J. 2003. Cambio climático mundial: origen y consecuencias. *CiENCIA UANL*. Vol. 6, No. 3.
20. INEGI. 1986. Síntesis geográfica de Nuevo León. Impreso en México, pp. 183.
21. Venier et al. 1999. Models of large-scale breeding-bird distribution as a function of macro-climate in Ontario, Canada. *Journal of Biogeography*. 26:315-328.
22. Kirilenko, A.P., Belotelov, N.V. and Bogatyrev, B.G. 2000. Global model of vegetation migration: incorporation of climatic variability. *Ecological Modelling*. Vol. 132 issues 1-2.
23. Peñuelas, J., Filella, I. & Comas, P. 2002. Changed plant and animal life cycles from 1952 to 2000 in the Mediterranean region. *Global Change Biology*. 8: 531-544.
24. Woodward, F.I., Lomas, M.R. & Kelly, C.K. 2004. Global climate and the distribution of plant biomes. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 359, 1465-1476.
25. Hughes, L. 2000. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Trends Ecol. Evol.* 15(2):56-61.
26. Oechel, W.C. 1993. Understanding the impacts of climatic change on northern ecosystems, in J.I. Holten, G. Paulsen and W.C. Oechel (eds.), *Impacts of climate change on natural ecosystems*, Norwegian Institute for Nature Research, Trondheim, 5-8.
27. Loarie, S.C., Duffy, P.B., Hamilton, H., Asner, G.P., Field, C.B., Ackerly, D.D. 2009. The velocity of climate change. *Nature*. Vol. 462:24-31.
28. Herranz, J.M., Copete, M.A., Ferrandis, P. 2009. Posibles efectos del cambio climático sobre las especies vegetales en Castilla-La Mancha. *Impactos del cambio climático Castilla-La Mancha*. Ed. Fundación General del Medio Ambiente, pp. 203-317.
29. Pauli, H., Gottfried, M., and Grabherr, G. 1996. Effects of climate changes on mountain ecosystem-upward shifting of alpine plants. *World Resource Review*. Vol. 8, No.3, 382-390.
30. Davis, M. B., and Shaw, R.G. 2001. Range shifts and adaptive responses to Quaternary Climate Change. *Science*. 292:673-679.
31. Parmesan, C. & Yohe, G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impact across natural systems. *Nature*. Vol. 421: 37-42.
32. Jacoby, G.C. and D'Arriago, R. D. 1997. Tree rings, carbon dioxide and climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 94(16): 8350-8353.
33. Pounds, J.A., Fogden, M.P.L., Campbell, J.H. 1999. Biological responses to climate change on a tropical mountain. *Nature*. 398: 611-615.
34. Farquhar, G.D. 1997. Climate change: carbon, dioxide and vegetation. *Science*. Vol. 278 (5342): 1411.

35. Dudley, N. 1998. Forest and climate changes. A report for WWF International, Forest Innovations, IUCN, GTZ, WWF.
36. Neilson et al. 2005. Forecasting Regional to Global Plant Migration in Response to Climate Change. *BioScience*. Vol. 55 No. 9. 749-759.
37. Schwartz, M.W., Iverson L.R. and Prasad A. Prasad. 2001. Predicting the potential future distribution of four tree species in Ohio using current habitat availability and climate forcing. *Ecosystems*. 4: 568-581.
38. Cox, G.W. 2004. Alien Species and Evolution: The Evolutionary Ecology of Exotic Plants, Animals, Microbes, and Interacting Native Species. Island Press, Washington D C, pp. 381.
39. Niembro, R. A. 1982. Estructura y clasificación de semillas forestales mexicanas. Editorial Limusa. México. 14 p.
40. Wunderle, J. M. 1997. The rol of animal seed dispersal in accelerating native forest regeneration on degraded tropical lands. *Forest Ecology and Management Elsevier Science*. 99 (223-235).
41. Fenner, M. 1985. Seed Ecology. Ed. Chapman and Hall. pp. 149.
42. Augspurger, C. K. & Franson S. E. 1988. Input of wind-dispersed seeds into light-gaps and forest sites in a neotropical forest. *Journal of Tropical Ecology*. 4:239-252.
43. Foster, B. R. 1990. Ciclo estacional de la caída de frutos en la isla de Barro Colorado. En: E. G. Leigh, Jr., A. Stanley, R. & D. M. Windsor (eds.). *Ecología de un bosque tropical. Ciclos estacionales y cambios a largo plazo*. Smithsonian Institution. p. 219-241
44. Mostacedo, B., Pereira, M. y Fredericksen, T. 2001. Dispersión de semillas anemócoras y autócoras durante la época seca en áreas con aprovechamiento forestal en un bosque seco tropical. *Ecología en Bolivia*. 36: 3-16.
45. Loiselle, A. B., Ribens, E. & Vargas, O. 1996. Spatial and temporal variation of seed rain in a tropical lowland wet forest. *Biotropica*. 28: 82-95.
46. Soberón, J. and A. T. Peterson. 2005. Interpretation od models of fundamentals ecological niches and species distributional areas. *Biodiversity Informatics* 2:1-10.
47. MacArthur, R.H. 1972. *Geographical Ecology: Patterns in the distribution of species*. Harper and Row. New York, NY. 269 pp.
48. Milesi A.F. y López de Casenave J. 2005. El Concepto de nicho en Ecología aplicada: del nicho al hecho hay mucho trecho. *Ecología Austral* 15:131-148.
49. Hutchinson, G. E. 1957. Concludig remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology* 22: 415-427.
50. Colombo Speroni, F. y De Viana, M.L. 2000. Requerimientos de escarificación en semillas de especies autóctonas e invasoras. *Ecología Austral*. 10: 123-131.
51. Townsend, C; Begon, M and Harper, J. 2008. *Essentials of Ecology*. Third edition. Blackwell Publishing. 510 pp.
52. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001. D.O.F. México, D.F.

Recibido: 18 de noviembre de 2010

Aceptado: 2 de diciembre de 2010