

# **El futuro de los bosques templados en México ante el cambio climático**

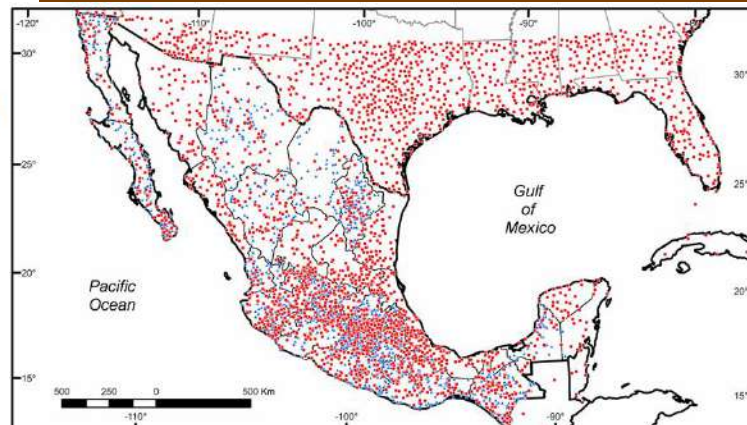
**Cuauhtémoc Sáenz-Romero**

**Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales,  
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo  
Morelia, Michoacán**

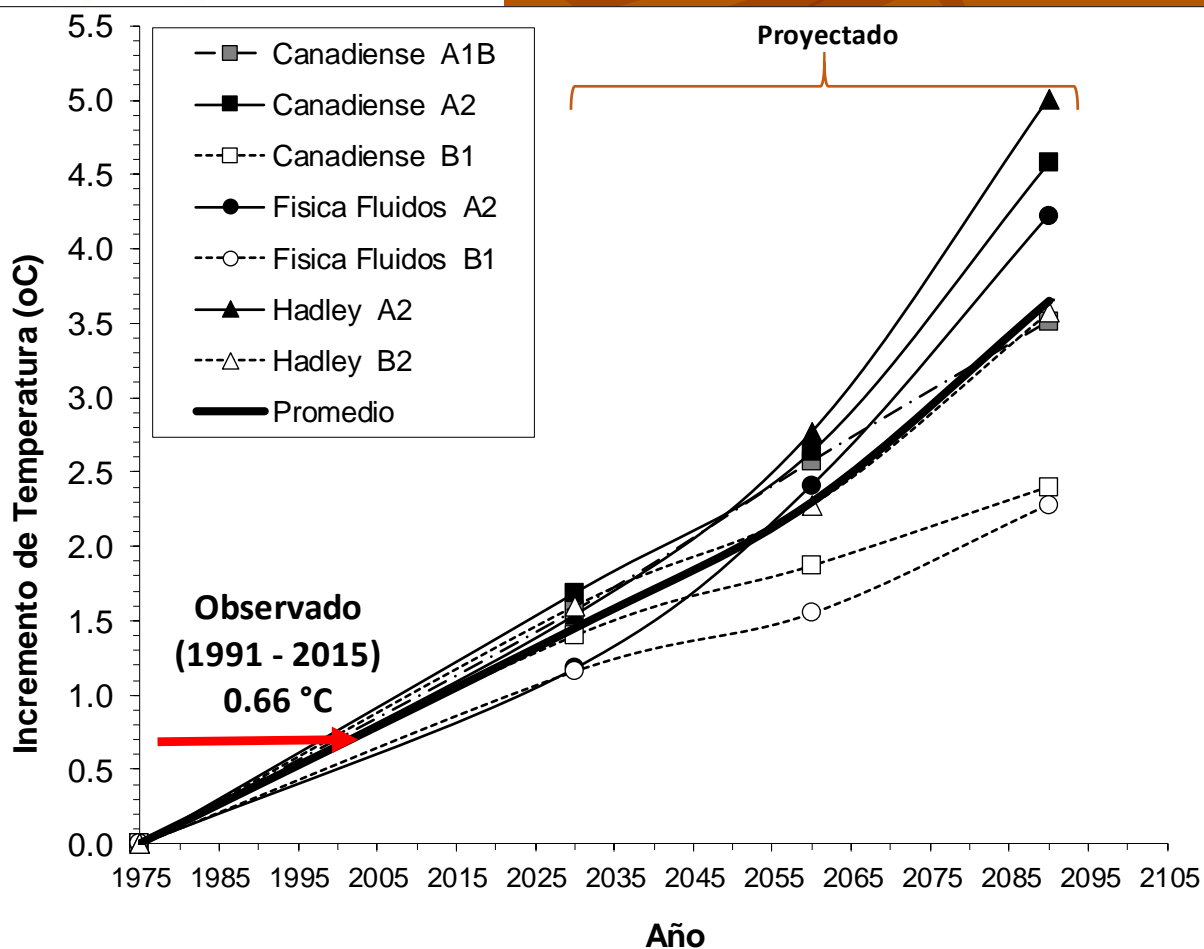
CONAFOR, Webinar, 25 junio 2020

# Spline models of contemporary, 2030, 2060 and 2090 climates for Mexico and their use in understanding climate-change impacts on the vegetation

Cuauhtémoc Sáenz-Romero · Gerald E. Rehfeldt ·  
Nicholas L. Crookston · Pierre Duval ·  
Rémi St-Amant · Jean Beaulieu · Bryce A. Richardson

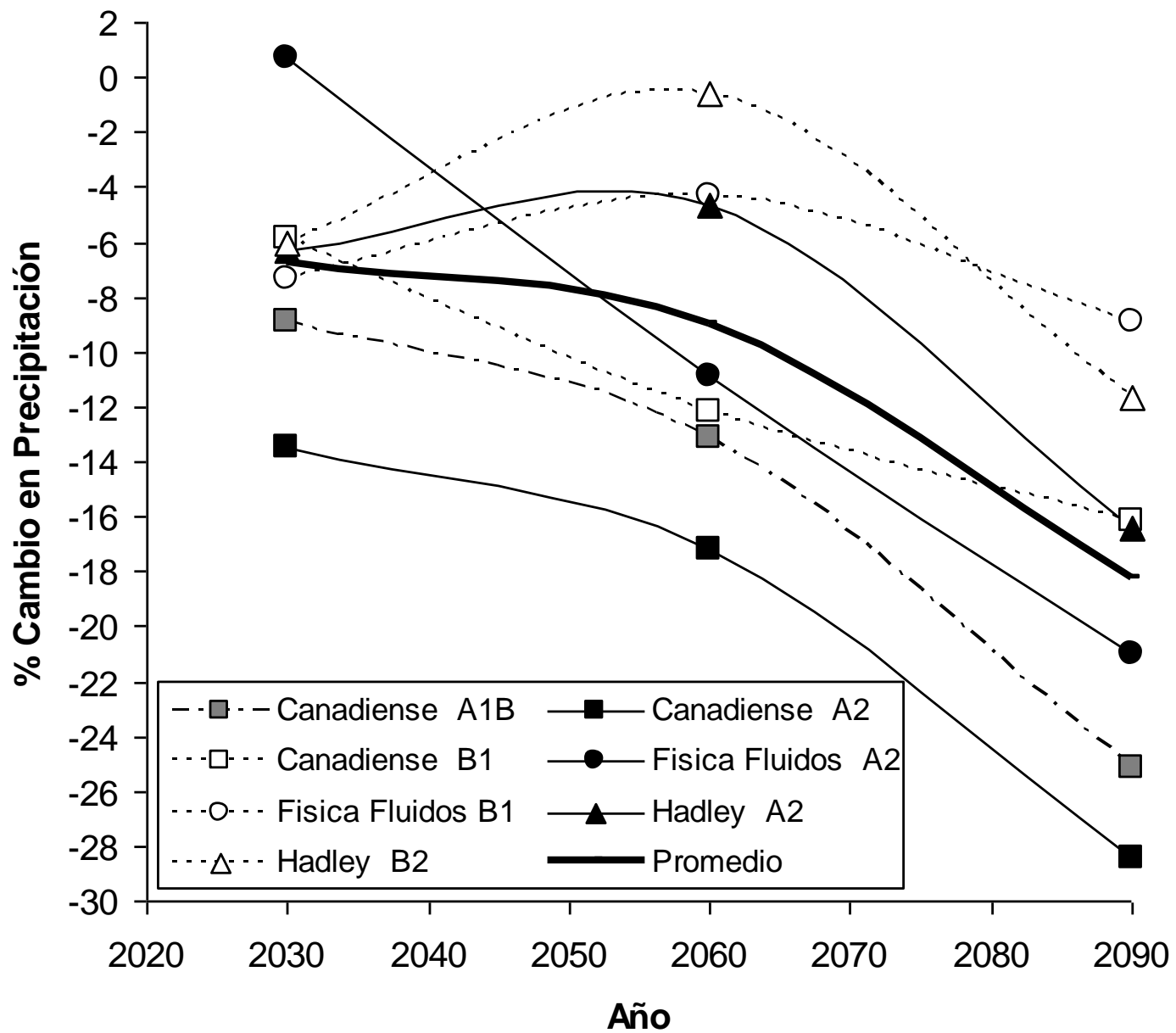


**Incremento  
media anual de  
temperatura  
respecto a  
1961-1990  
(centro período = 1975)**



Proyectado:  
Sáenz-Romero  
*et al* 2010.  
Climatic Change

Observado:  
Castellanos-  
Acuña *et al* 2018.  
New Forests



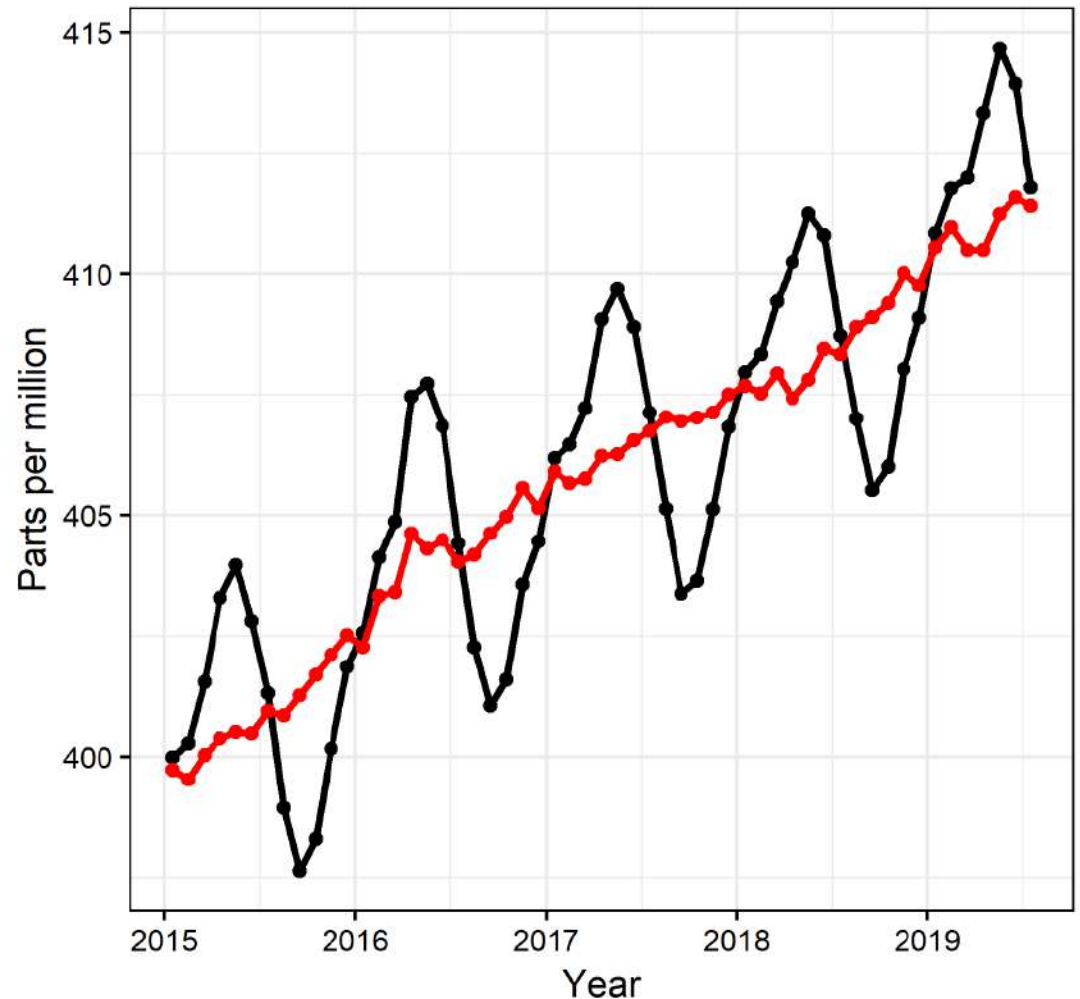
# World Scientists' Warning of a Climate Emergency

<https://doi.org/10.1093/biosci/biz088>

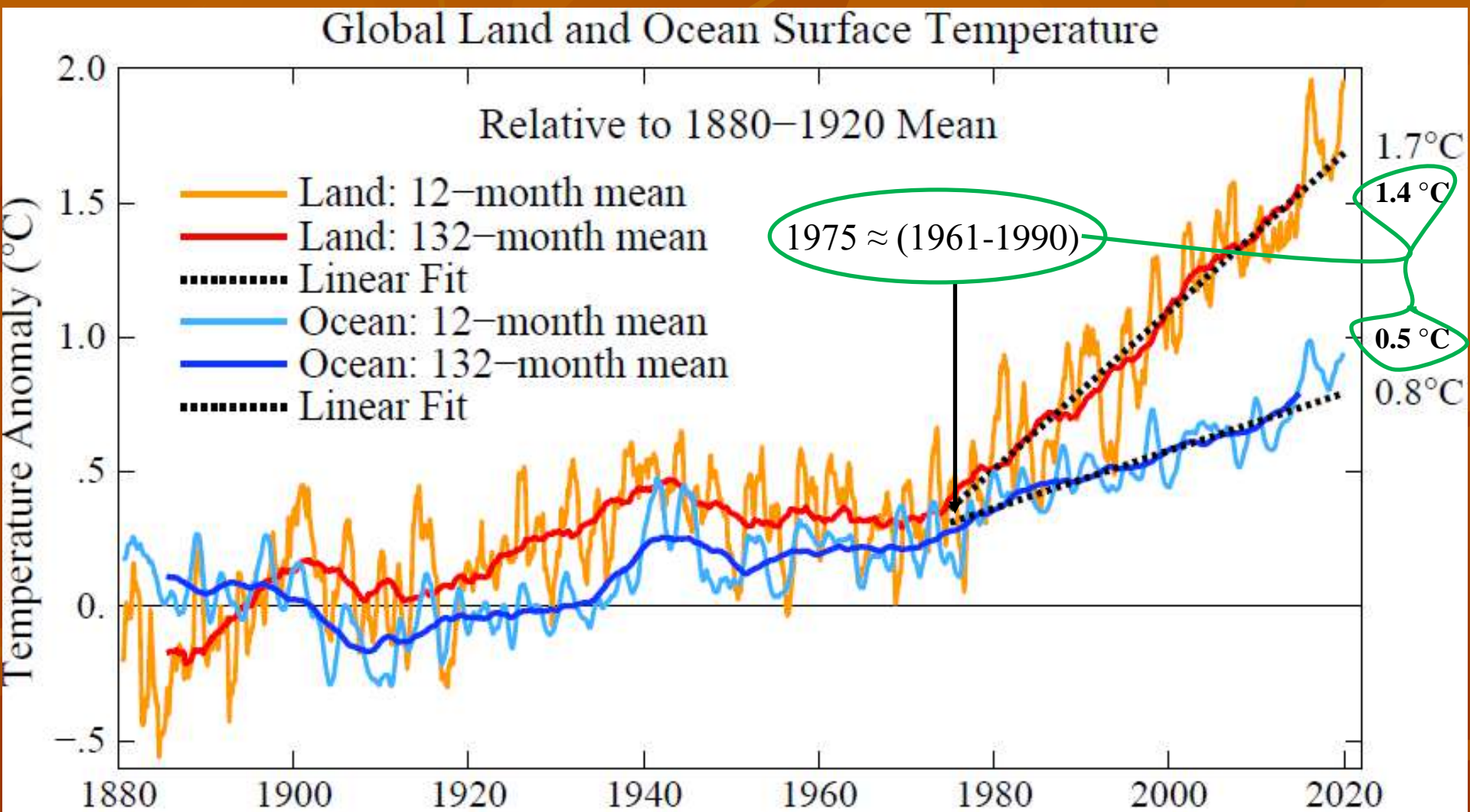
WILLIAM J. RIPPLE, CHRISTOPHER WOLF, THOMAS M. NEWSOME, PHOEBE BARNARD, WILLIAM R. MOOMAW,  
AND 11,258 SCIENTIST SIGNATORIES FROM 153 COUNTRIES (LIST IN SUPPLEMENTAL FILE S1)

¿Qué es mas probable? ¿Un escenario pesimista o uno optimista?

Monthly mean CO<sub>2</sub> at Mauna Loa



**Temp. 2019: +1.7 °C respecto a (1880-1920)  
aprox. +1.4 °C respecto a (1961-1990)**



Hansen, J. email 24 Junio 2020.

[http://www.columbia.edu/~jeh1/mailings/2020/20200624\\_SophiePlanet13.pdf](http://www.columbia.edu/~jeh1/mailings/2020/20200624_SophiePlanet13.pdf)

1961-1990

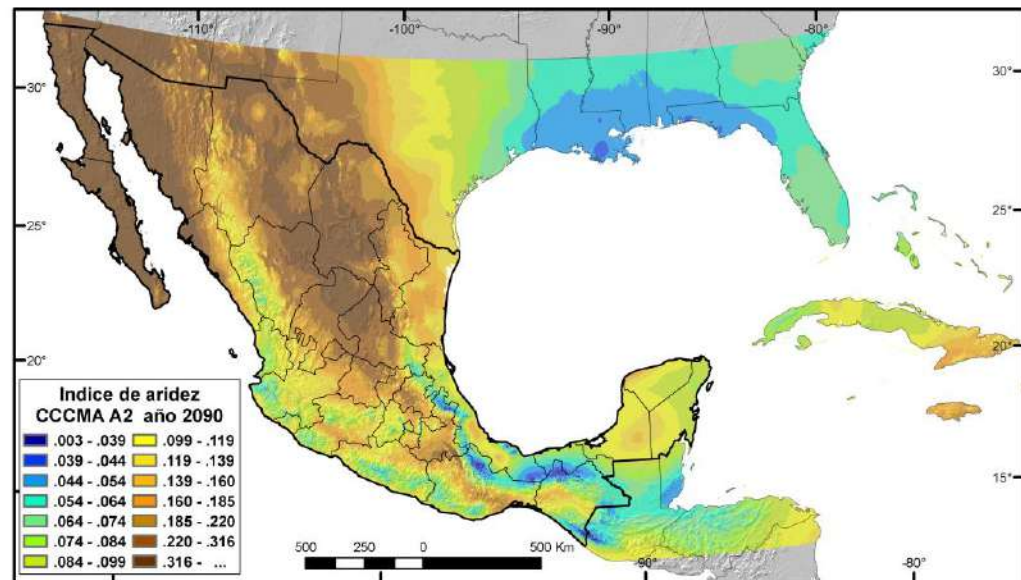
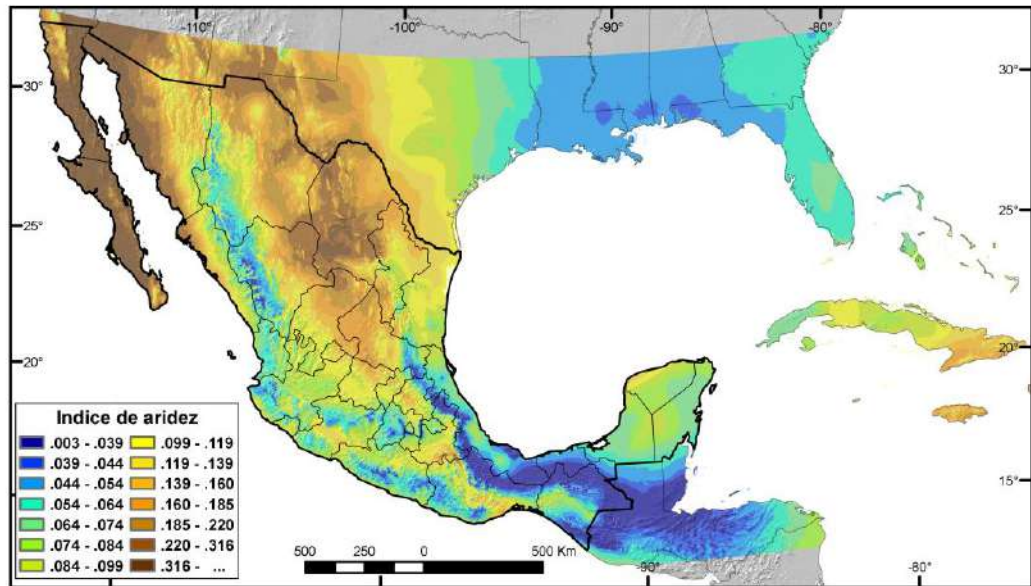
# Índice de Aridez

(anual  
aridity  
index)

2090

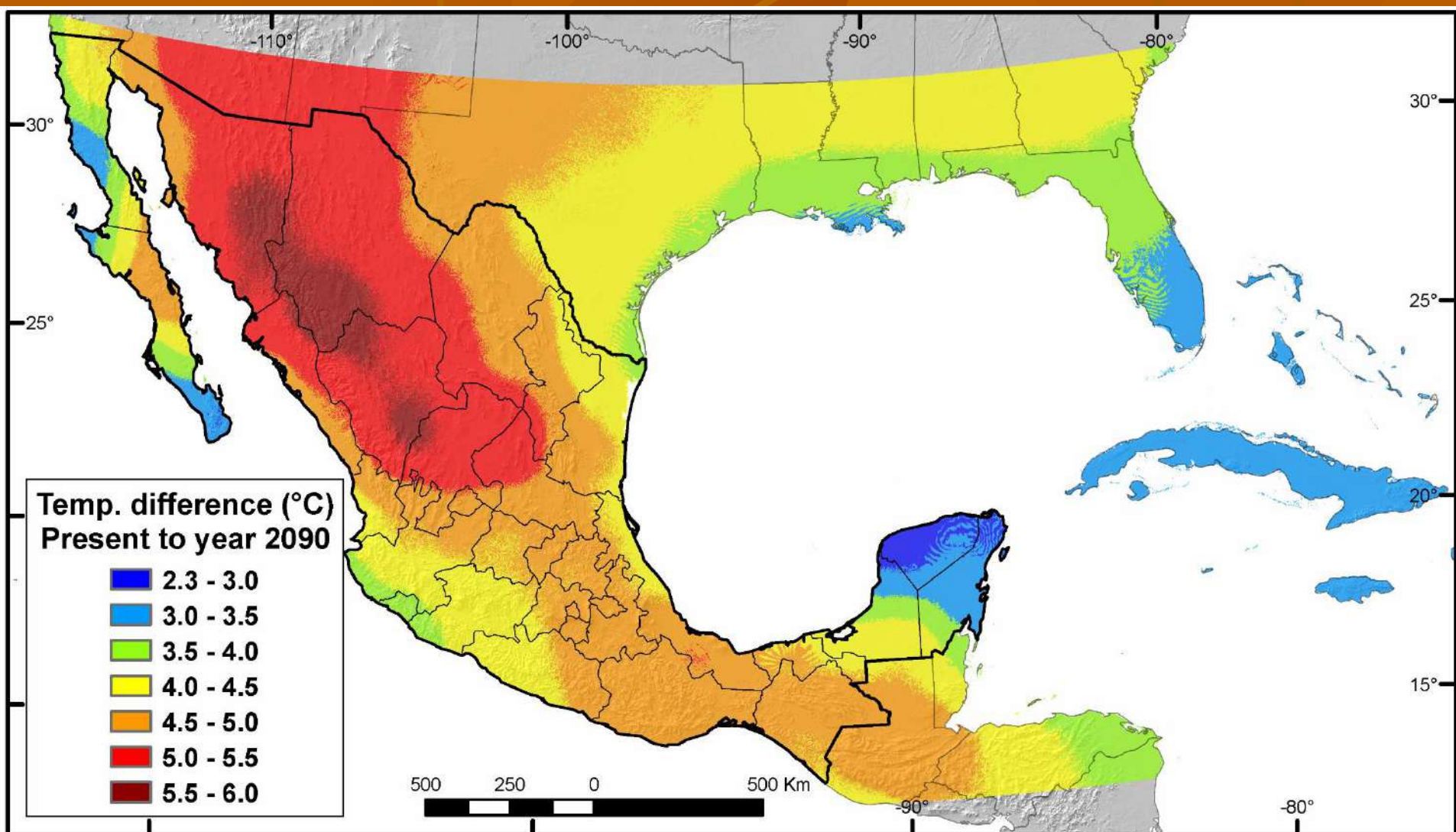
Sáenz-Romero *et al* 2010.  
Climatic Change

1961-1990



2090

# Diferencia de temperatura media anual 2090 y promedio 1961-1990. Modelo Canadiense, escenario A2



Sáenz-Romero *et al* 2012. MODELOS “SPLINE” DE CLIMAS CONTEMPORÁNEO, 2030, 2060 Y 2090 PARA MICHOACÁN, MÉXICO. IMPACTOS EN LA VEGETACIÓN. Revista Fitotecnia Mexicana 35 (4): 333-345.

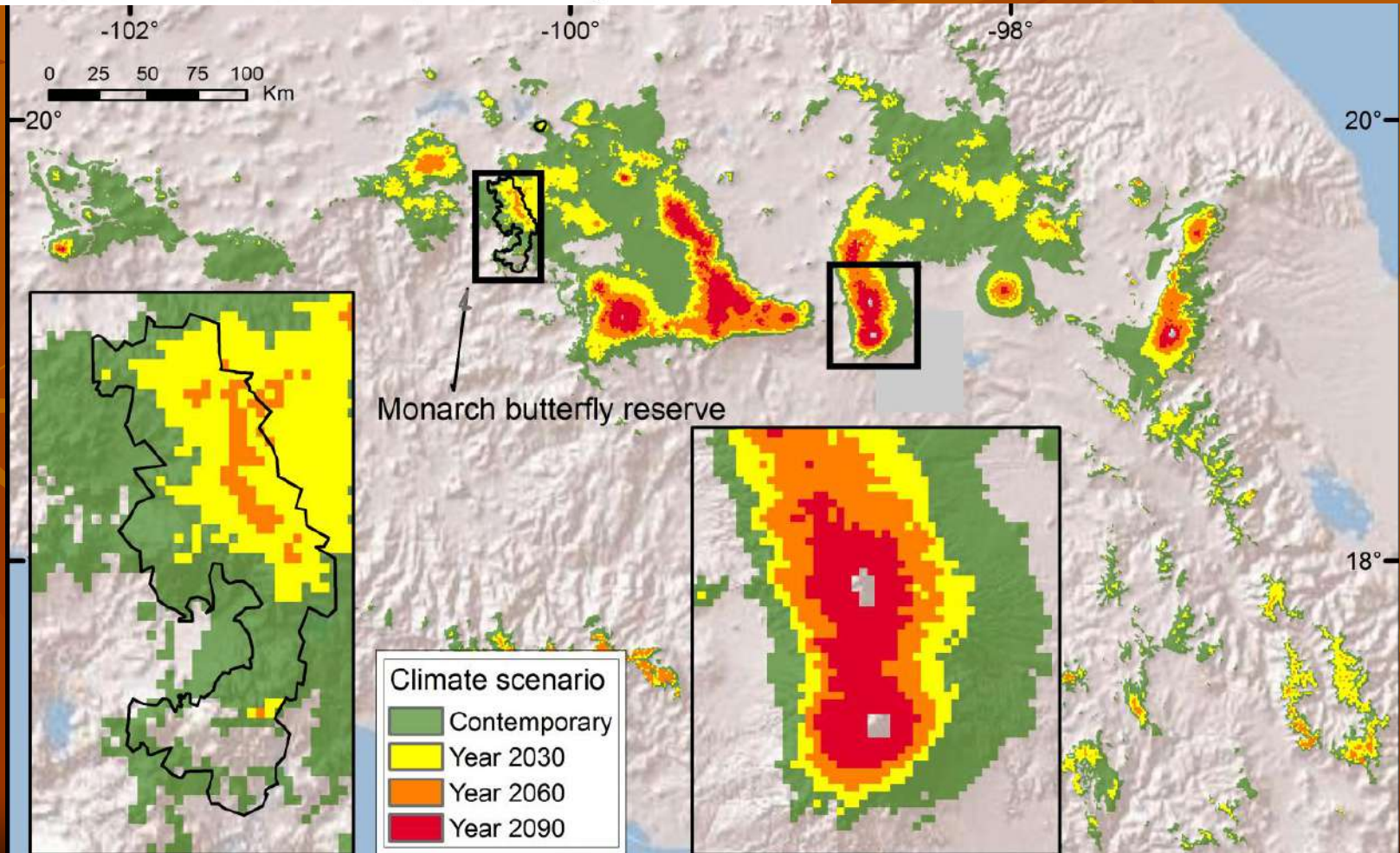


# Reducción del hábitat climático de *Abies religiosa*

<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2012.03.004>

*Abies religiosa* habitat prediction in climatic change scenarios and implications for monarch butterfly conservation in Mexico

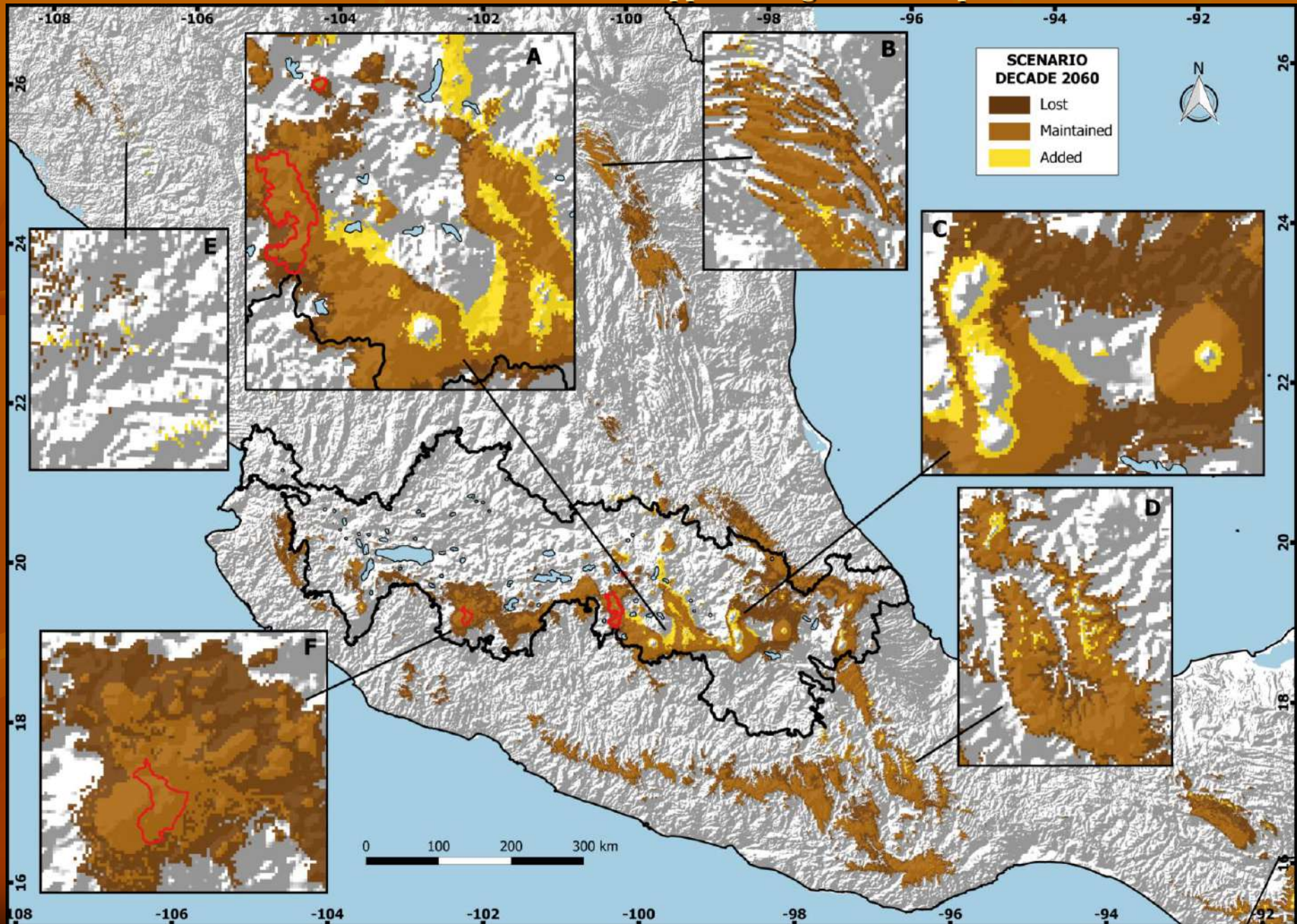
Cuauhtémoc Sáenz-Romero<sup>a,\*</sup>, Gerald E. Rehfeldt<sup>b</sup>, Pierre Duval<sup>c</sup>, Roberto A. Lindig-Cisneros<sup>d</sup>





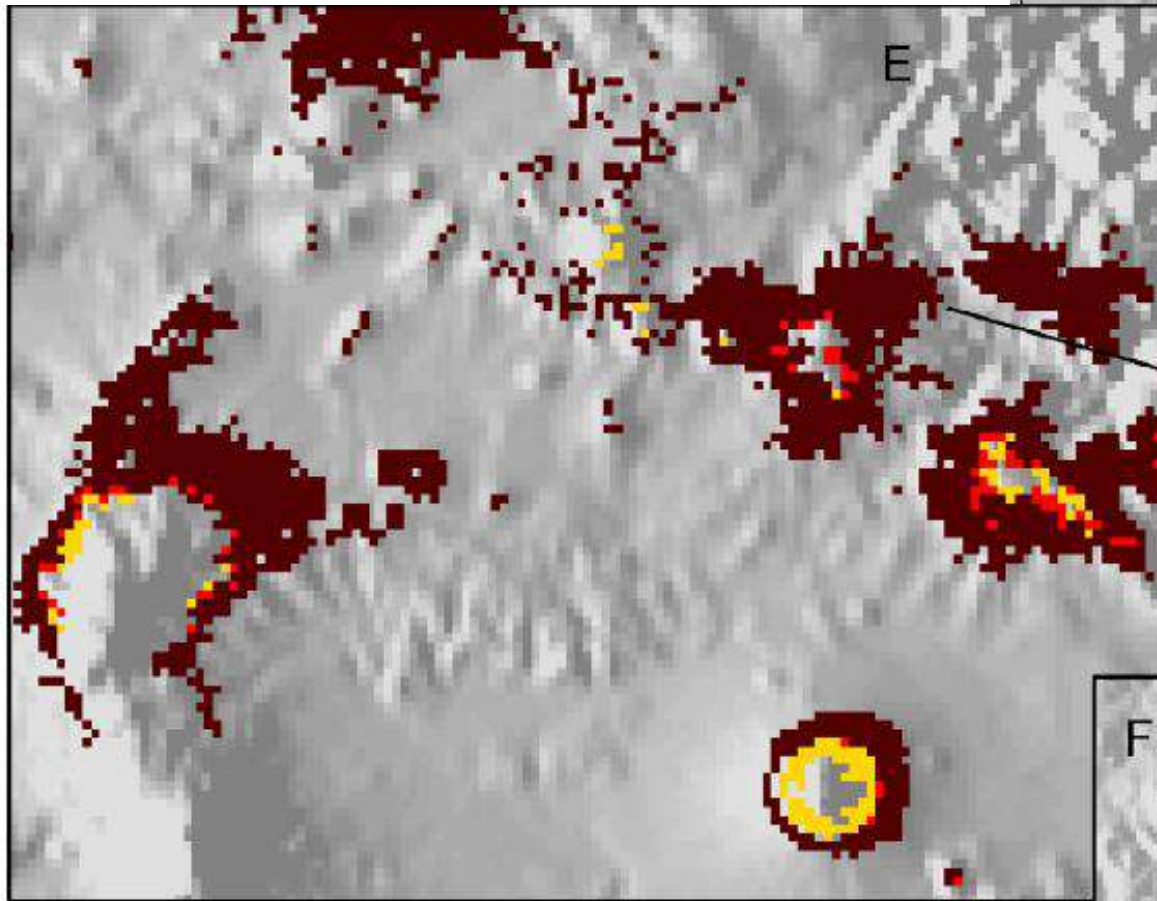
# *Pinus pseudostrobus*, (1961-1990 vs. 2060)

Gómez-Pineda et al 2019. Ecol. Appl. doi.org/10.1002/eap.2041



Comparative genetic responses to climate for the varieties of *Pinus ponderosa* and *Pseudotsuga menziesii*: Realized climate niches

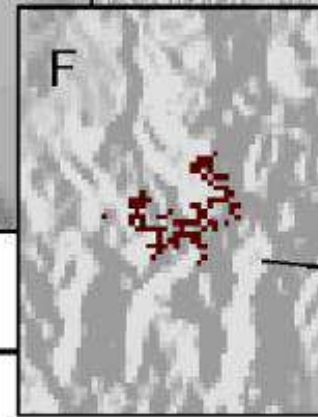
Gerald E. Rehfeldt<sup>a,\*</sup>, Barry C. Jaquish<sup>b</sup>, Javier López-Upton<sup>c</sup>, Cuauhtémoc Sáenz-Romero<sup>d</sup>, J. Bradley St Clair<sup>e</sup>, Laura P. Leites<sup>f</sup>, Dennis G. Joyce<sup>g</sup>



*Pseudotsuga menziesii* (Douglas fir)



Sta. Catarina Ixtepeji, Oax.



F

# ¿Pueden migrar las poblaciones forestales lo suficientemente rápido?

**Fig. 5. Migración altitudinal (a 1700 m) de *Fagus sylvatica* en Turo´ de l'Home-Les Agudes, Los Pirineos, Cataluña, España.**



**Migration, invasion and decline: changes in recruitment and forest structure in a warming-linked shift of European beech forest in Catalonia (NE Spain)**

Ecography 30: 830838, 2007. doi: 10.1111/j.2007.0906-7590.05247.x

Josep Peñuelas, Romà Ogaya, Martí Boada and Alistair S. Jump

<https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/40382>

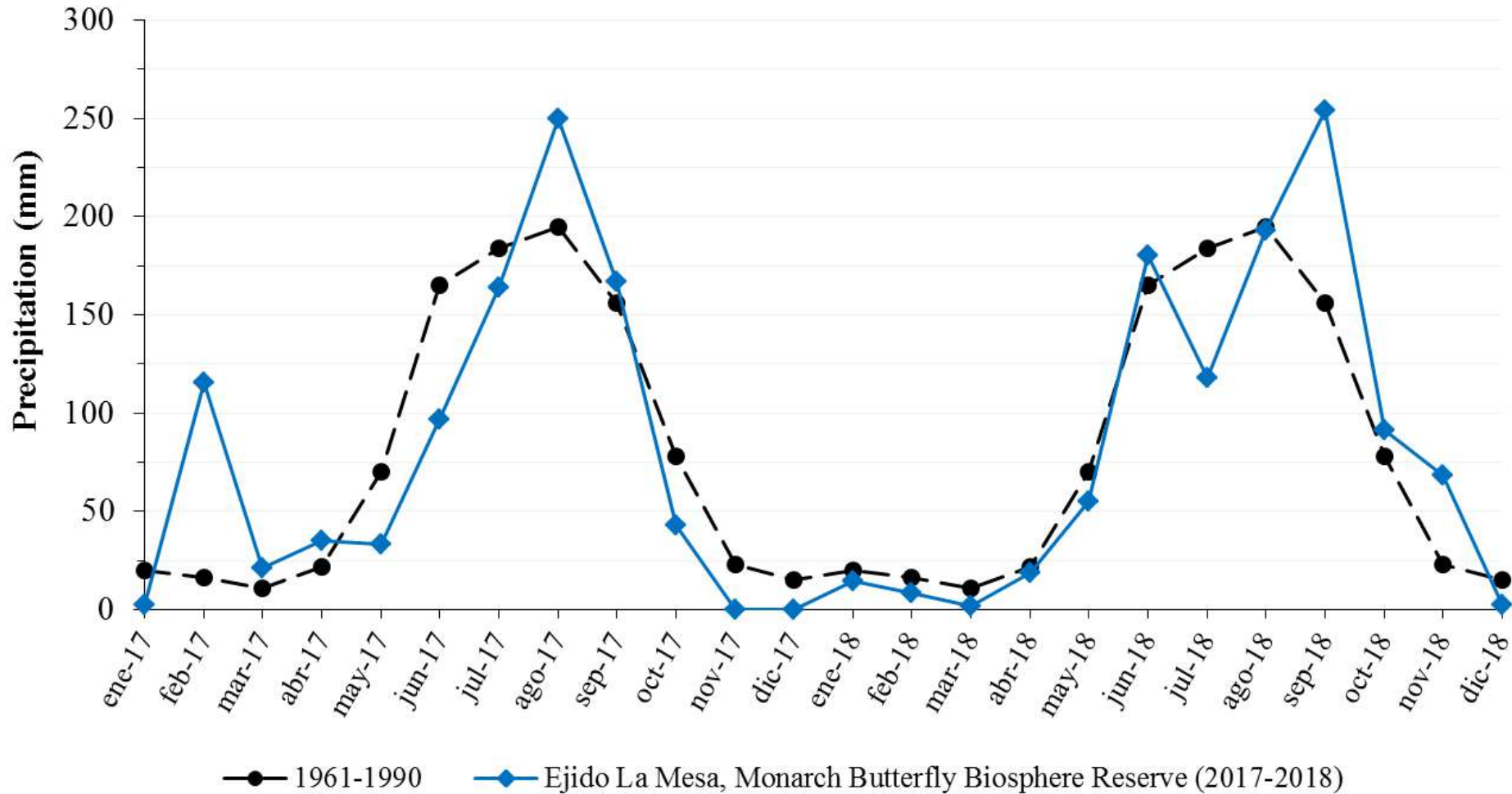
North American vegetation model for land-use planning  
in a changing climate: a solution to large classification problems

GERALD E. REHFELDT,<sup>1,4</sup> NICHOLAS L. CROOKSTON,<sup>1</sup> CUAUHTÉMOC SÁENZ-ROMERO,<sup>2</sup> AND ELIZABETH M. CAMPBELL<sup>3</sup>

**¿Quién gana y  
quien pierde?**

<b>Bioma</b>	<b>Cambio año 2090 respecto al contemporáneo (%)</b>
<b>Coníferas Eje Neovolcánico</b>	<b>- 92</b>
<b>Coníferas Sierra Madre Occidental</b>	<b>- 85</b>
<b>Bosque de niebla</b>	<b>-96</b>
<b>Selva seca decidua de Sinaloa</b>	<b>+ 184</b>
<b>Selva seca decidua de Yucatán</b>	<b>+ 293</b>

# Precipitación Ejido La Mesa, Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca



# Colecta de *Abies religiosa* en transecto altitudinal.

Cerro de San Andrés, Mich.

15 procedencias, 2850 a 3550 m.

Una cada 50 m de dif. altitudinal



Límite superior:  
3550 m de altitud

Límite inferior:  
2850 m de altitud

# 2 años en ensayo de jardín común



9 meses de edad



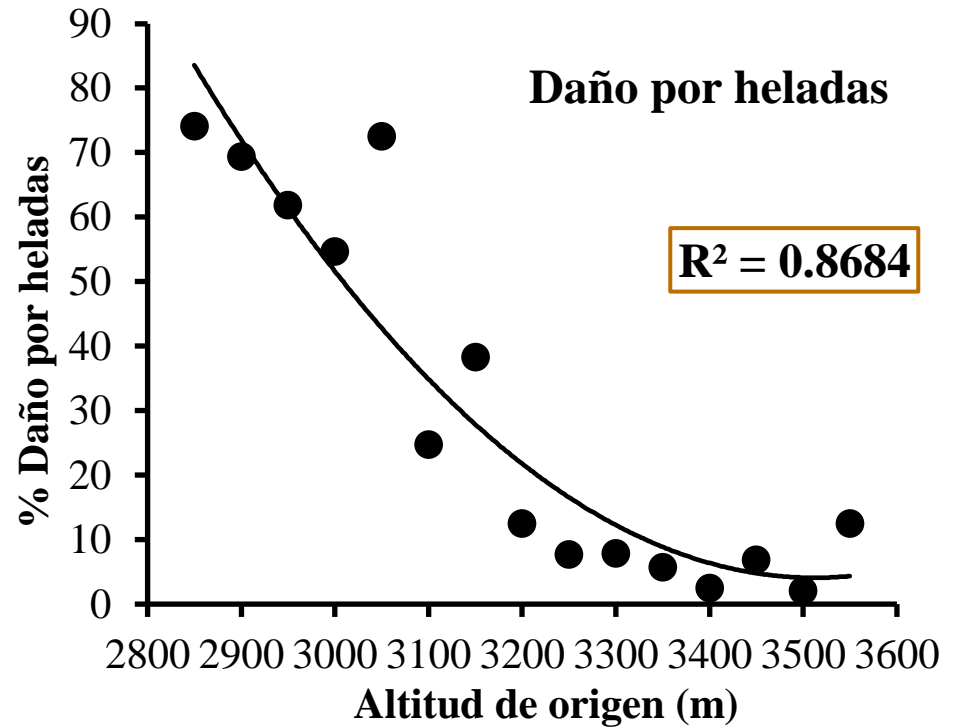
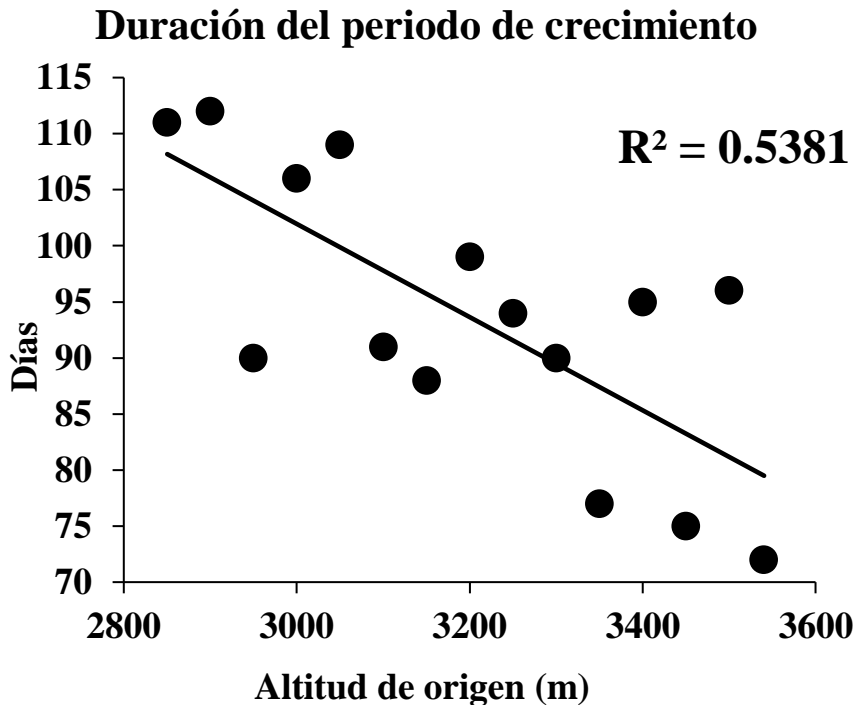
19 meses de edad



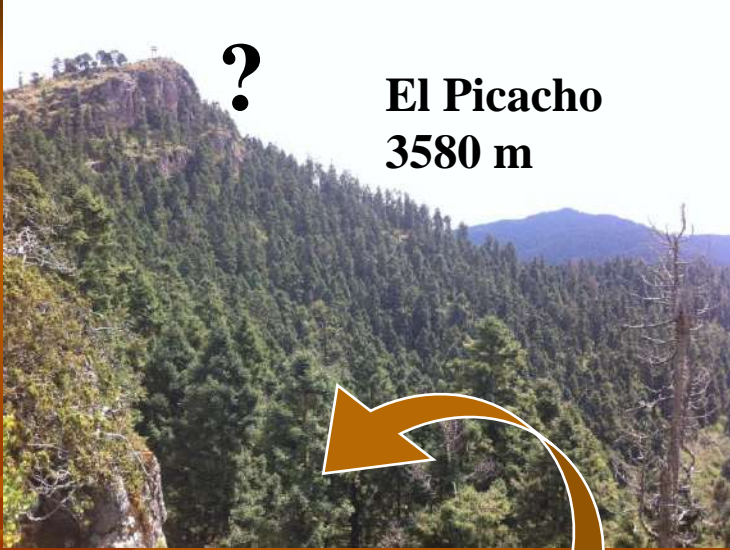
30 meses de edad

# Genetic Variation in *Abies religiosa* for Quantitative Traits and Delineation of Elevational and Climatic Zoning for Maintaining Monarch Butterfly Overwintering Sites in Mexico, considering Climatic Change

M. A. Ortiz-Bibian<sup>1</sup>, A. Blanco-García<sup>2</sup>, R. A. Lindig-Cisneros<sup>3</sup>, M. Gómez-Romero<sup>2</sup>, D. Castellanos-Acuña<sup>1,4</sup>, Y. Herrerías-Diego<sup>2</sup>, N. M. Sánchez-Vargas<sup>1</sup> and C. Sáenz-Romero<sup>1\*</sup>







**El Picacho**  
**3580 m**

## Migración altitudinal asistida del oyamel (*Abies religiosa*)

**350 m de movimiento hacia arriba para realinear al clima del año 2030**



3700 m

**Zona 3**

3350 m

**Zona 2**

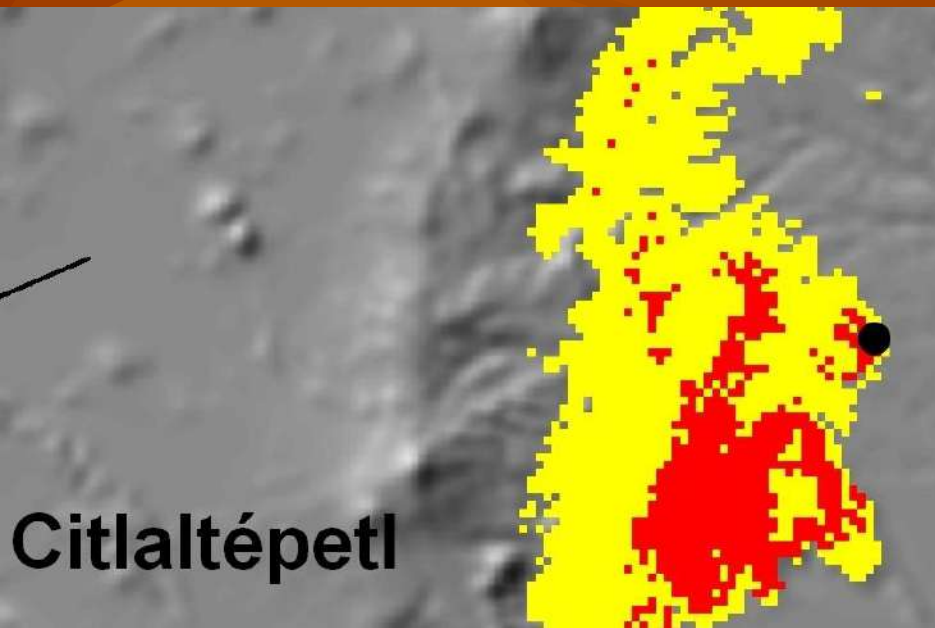
3000 m

**Zona 1**

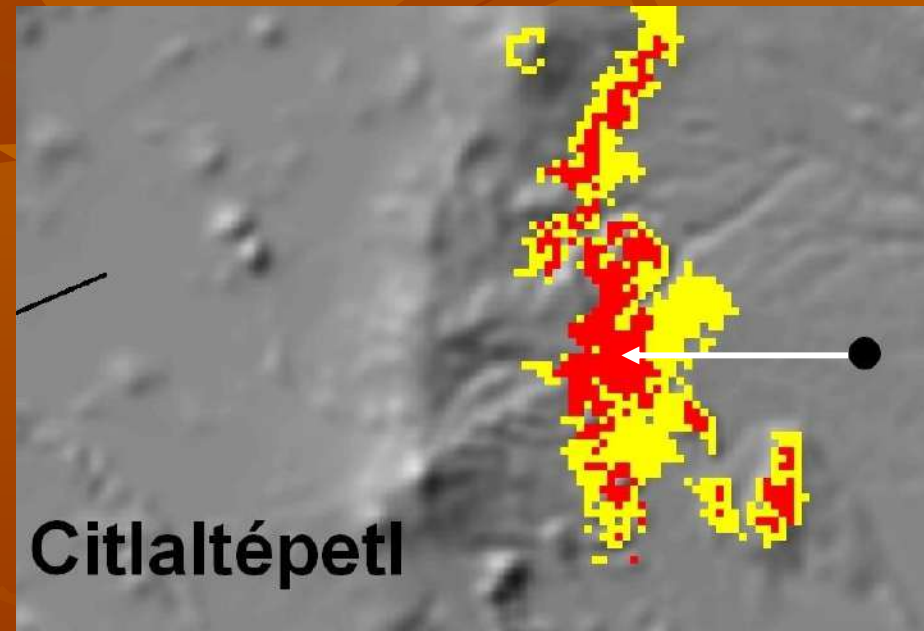
2650 m

*Pinus pseudostrobus*

# Migración asistida: Reacoplamiento de *Pinus chiapensis* al clima del 2030 ó 2060




Contemporáneo



Futuro (Hadley, año 2060)

## Climate-based seed zones for Mexico: guiding reforestation under observed and projected climate change

Dante Castellanos-Acuña<sup>1</sup> · Kenneth W. Vance-Borland<sup>2</sup> · J. Bradley St. Clair<sup>3</sup> · Andreas Hamann<sup>1</sup> · Javier López-Upton<sup>4</sup> · Erika Gómez-Pineda<sup>5</sup> · Juan Manuel Ortega-Rodríguez<sup>6</sup> · Cuauhtémoc Sáenz-Romero<sup>5</sup> 

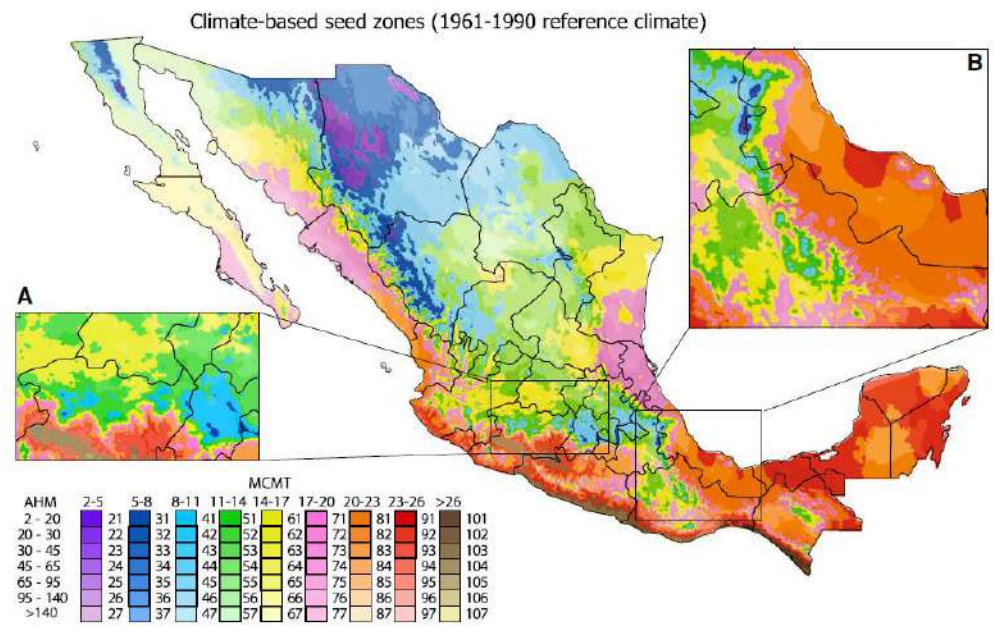


Fig. 2 Proposed climate-based seed zones for México, based on intervals of the variable mean temperature

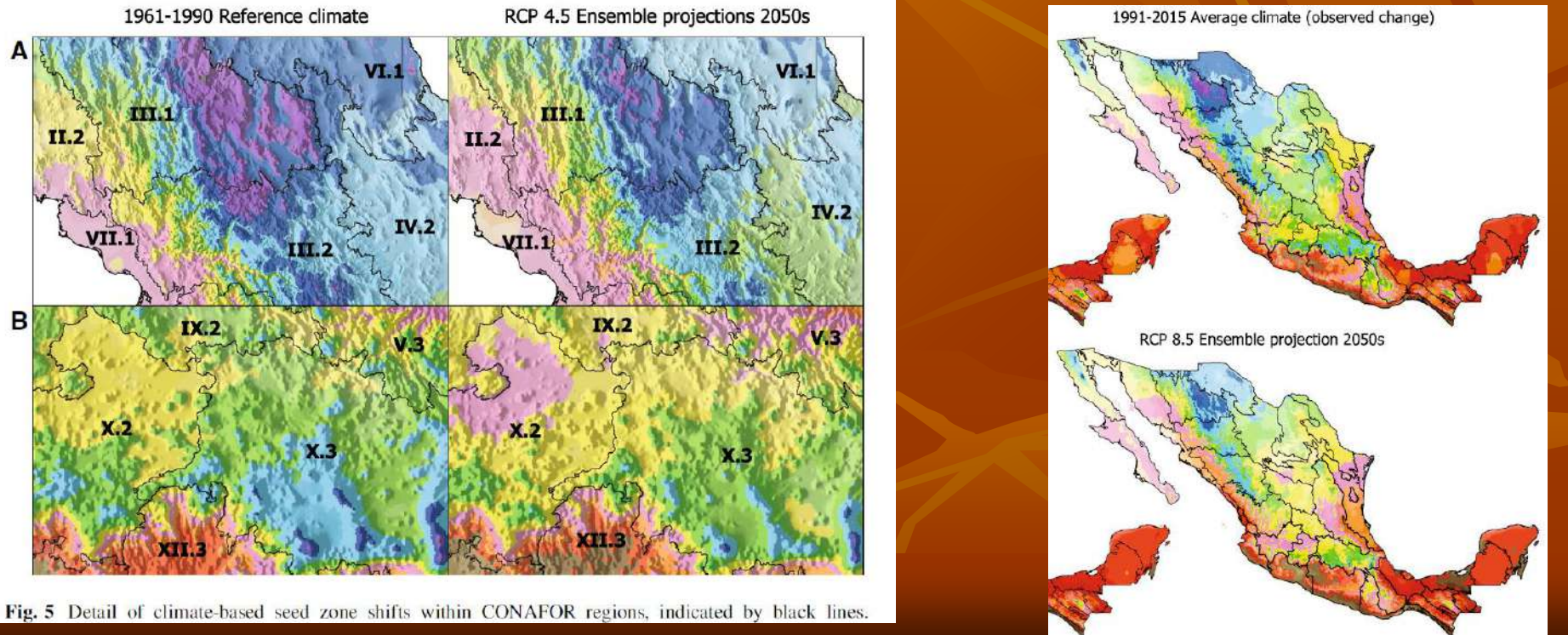


Fig. 5 Detail of climate-based seed zone shifts within CONAFOR regions, indicated by black lines.

# Migración asistida a escala comercial

## Nakusp, British Columbia, Canadá

*Larix occidentalis* remplazando a *Pinus contorta* y *Picea engelmannii*





**Ensayo de migración asistida, 3440 m altitud  
Ejido La Mesa, Reserva de la Biósfera de la Mariposa  
Monarca, Edo. de México**

# Tratamiento de cobertura de vegetación nativa

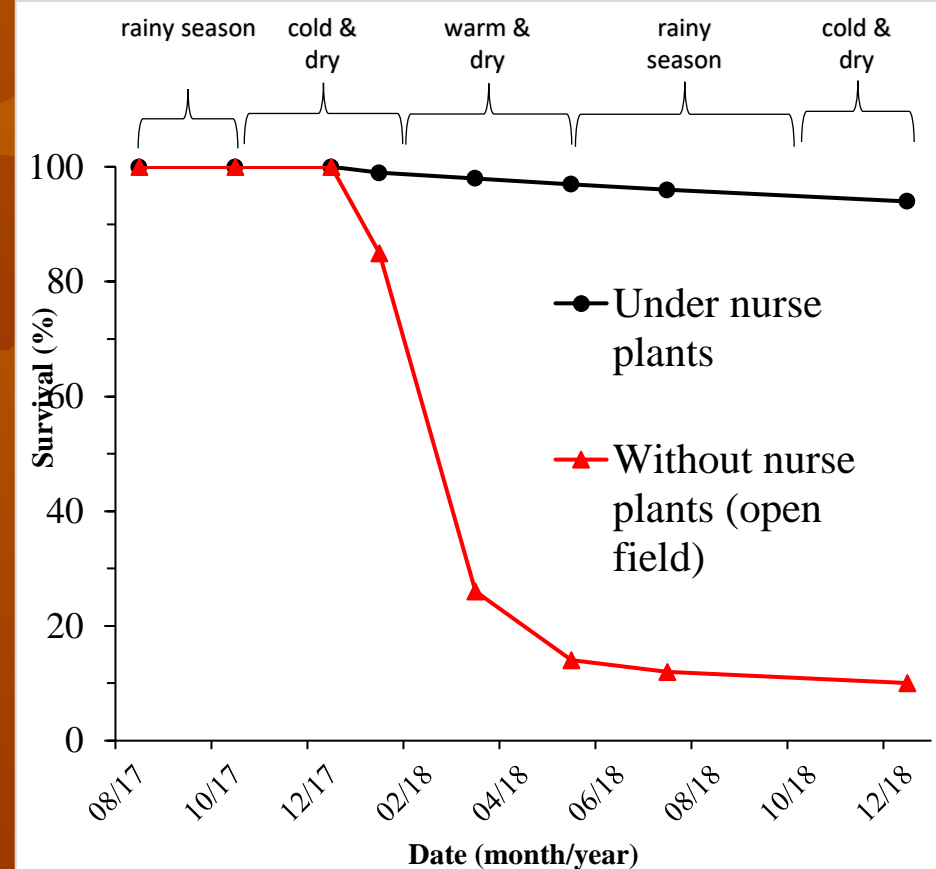
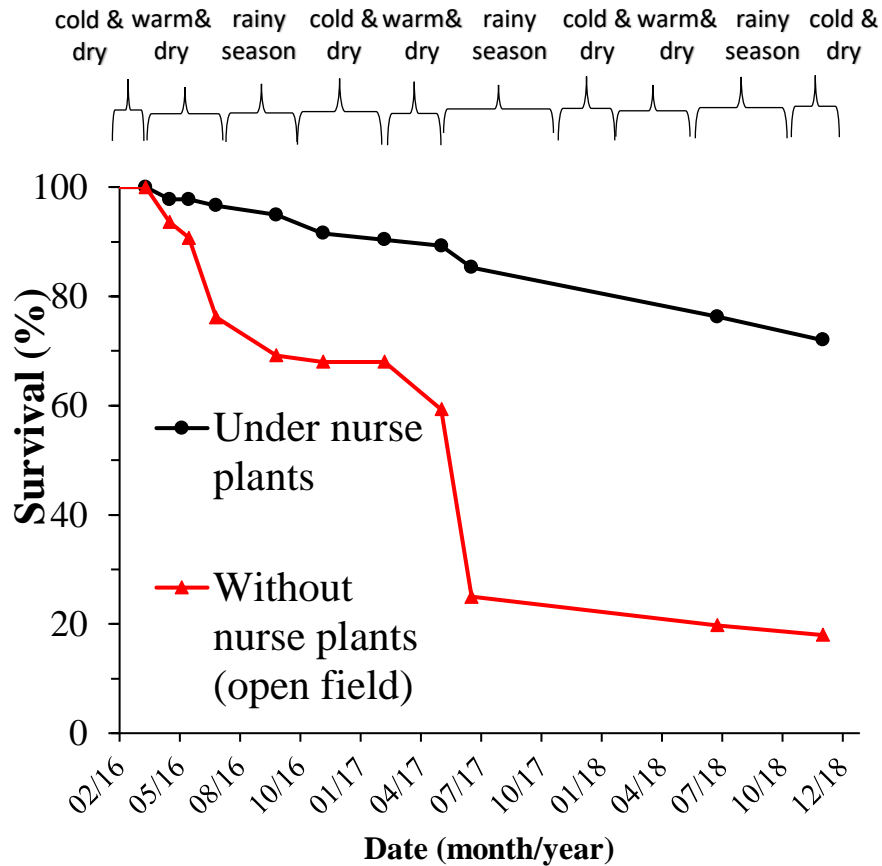


**Plantación  
en círculos**

**Los Ailes,  
Ejido La  
Mesa, San  
José del  
Rincón,  
EdoMex**



# Sobrevivencia promedio (dos sitios) de *Abies religiosa*: 81 % bajo plantas nodriza, 14 % sin plantas nodrizas

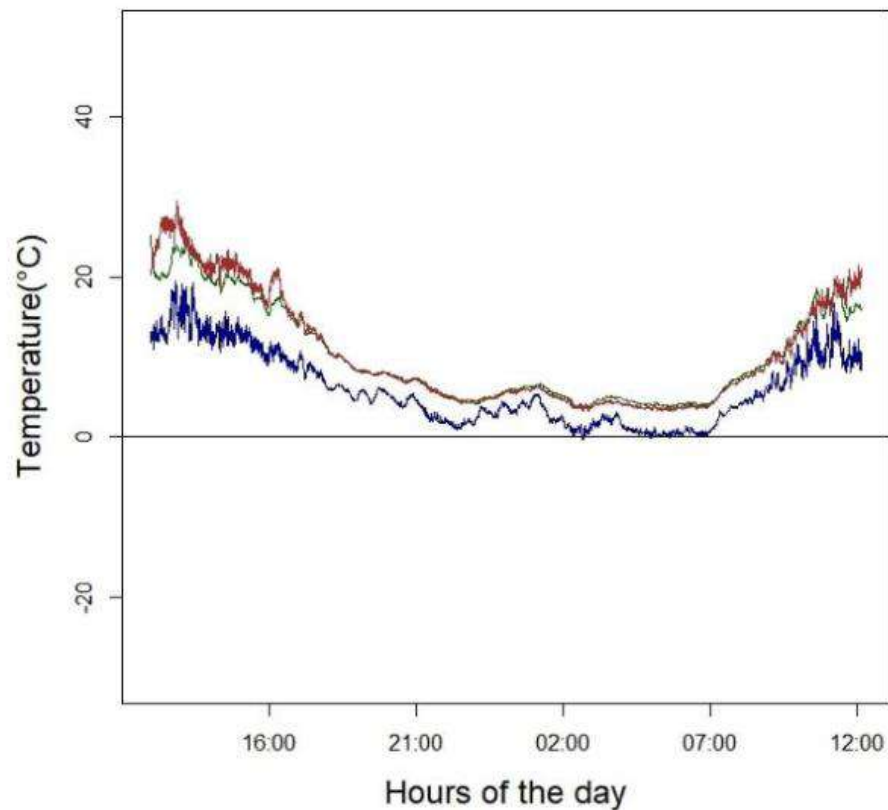


Las Palomas, 3.5 años en campo

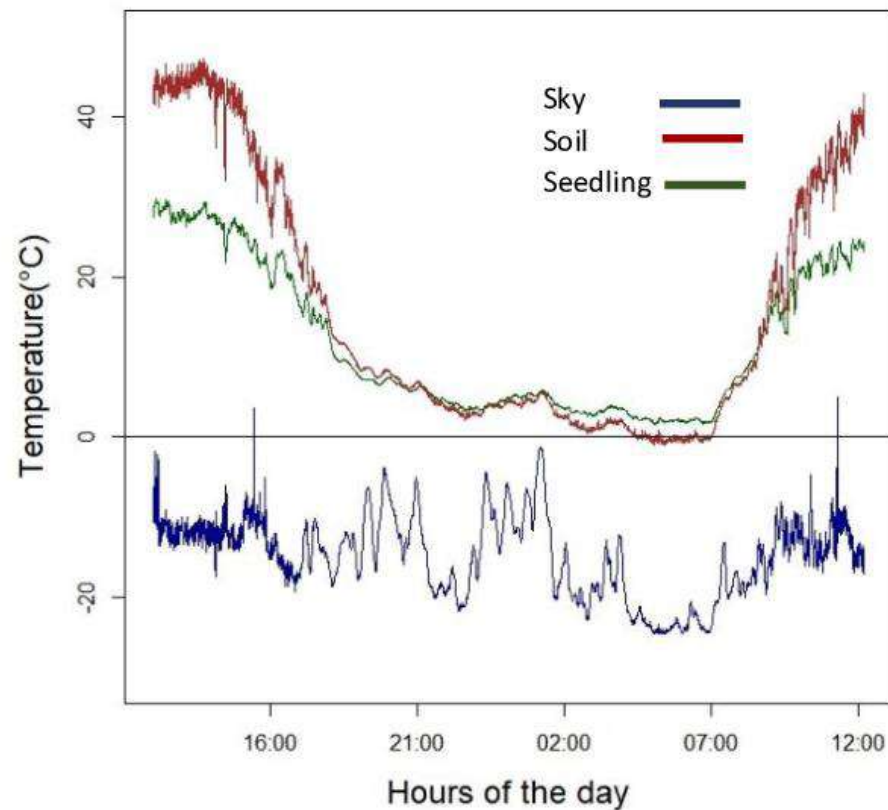
Los Ailes, 1.5 años en campo



## UNDER NURSE PLANTS



## WHITOUT NURSE PLANTS



**Abril (cálido y seco)**

Carbajal-Navarro *et al* 2019. *Frontiers in Ecology and Evolution*. doi:10.3389/fevo.2019.00421

# Ensayo de migración asistida, Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán



2100 m



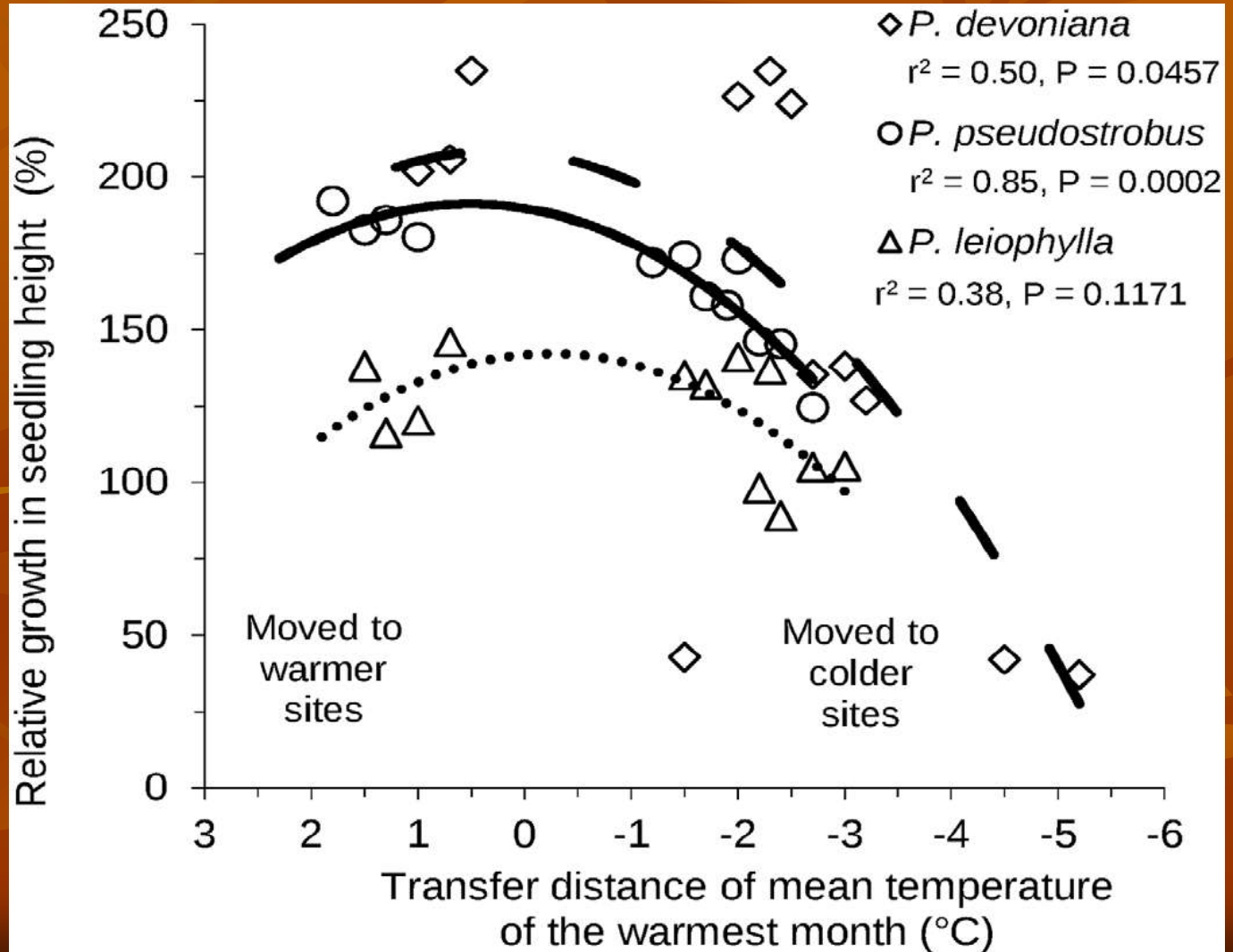
2700 m



Castellanos-Acuña, 2015 Ecosphere

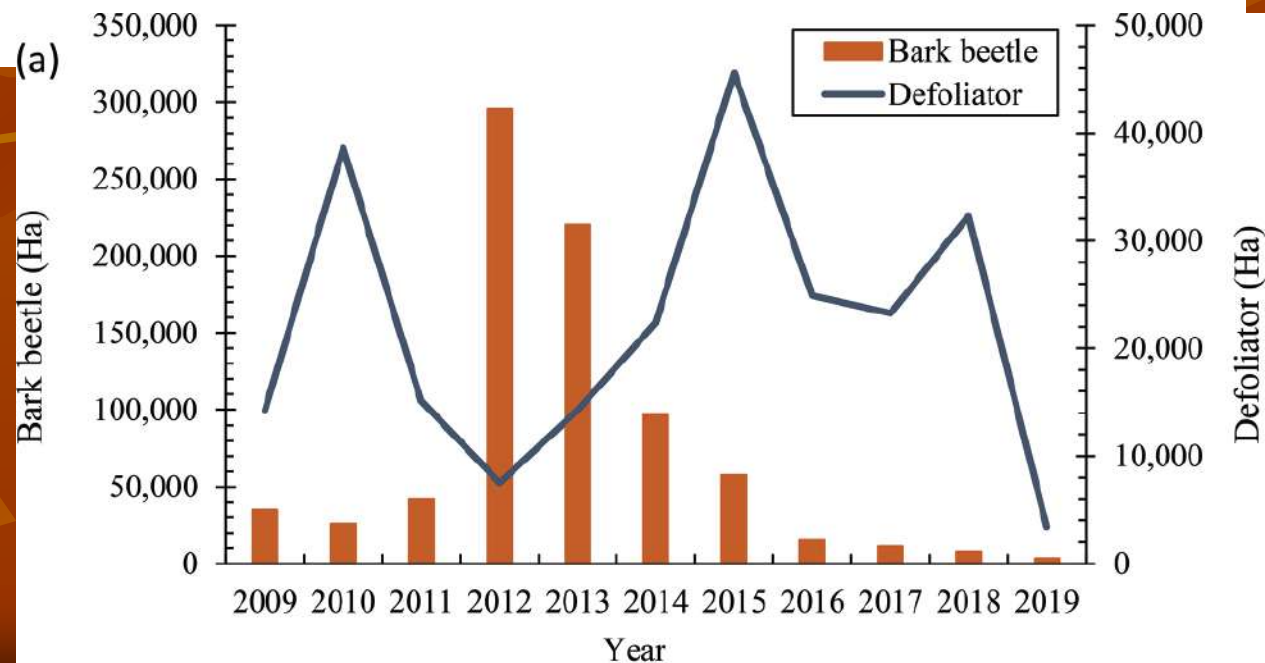


Dos años después

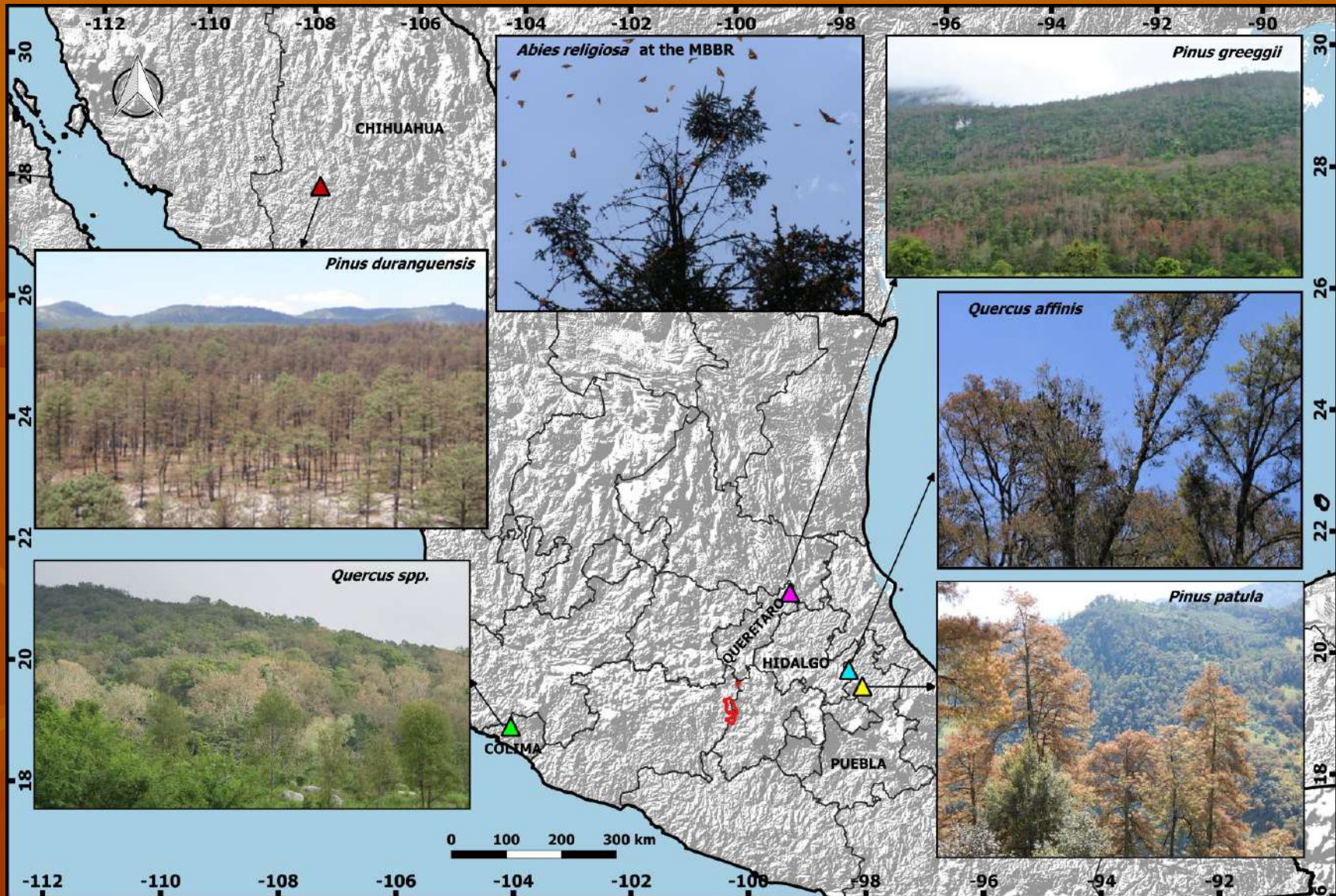
Altitudinal assisted migration of Mexican pines  
as an adaptation to climate changeD. CASTELLANOS-ACUÑA,<sup>1</sup> R. LINDIG-CISNEROS,<sup>2,3</sup> AND C. SÁENZ-ROMERO<sup>1,4,†</sup>

# Recent evidence of Mexican temperate forest decline and the need for ex situ conservation, assisted migration, and translocation of species ensembles as adaptive management to face projected climatic change impacts in a megadiverse country<sup>1</sup>

Cuauhtémoc Sáenz-Romero, Eduardo Mendoza-Maya, Erika Gómez-Pineda, Arnulfo Blanco-García, Angel R. Endara-Agramont, Roberto Lindig-Cisneros, Javier López-Upton, Oscar Trejo-Ramírez, Christian Wehenkel, David Cibrián-Tovar, Celestino Flores-López, Abel Plascencia-González, and J. Jesús Vargas-Hernández



# Declinación forestal reciente



Agentes: (a) En *Abies religiosa*: sequía. (b) *Pinus greggii*: *Dendroctonus frontalis*. (c) *Quercus affinis*: defoliador *Andricus quercuslaurinus*. (d) *Pinus patula*: needle cast *Lophodermium sp.* y *Ocoaxo sp.* (e) *Quercus spp.*: *Phytophthora cinnamomic* (f) *Pinus duranguensis*: avispa defoliadora *Neodiprion autumnalis*

# *Abies religiosa*, Santuario El Rosario



# Santuario El Rosario



# *Pinus pseudostrobus*, Meseta Purépecha, Michoacán



Lopez-Toledo *et al.* 2017. New Forests





# *Picea engelmannii* Dixie National Forest, Utah



# Dixie National Forest, Utah



# Nevado de Colima





***Pinus edulis*, Jemez Mts.**

**Oct. 2002, después de 2 años de sequía**

Allen et al 2015. Ecosphere.  
Fotos cortesía de Craig Allen,  
U.S. Geological Survey, Los Alamos, NM

***Pinus edulis* muertos, conversión a bosque de *Juniperus***

**Jemez Mts.      May 2004**

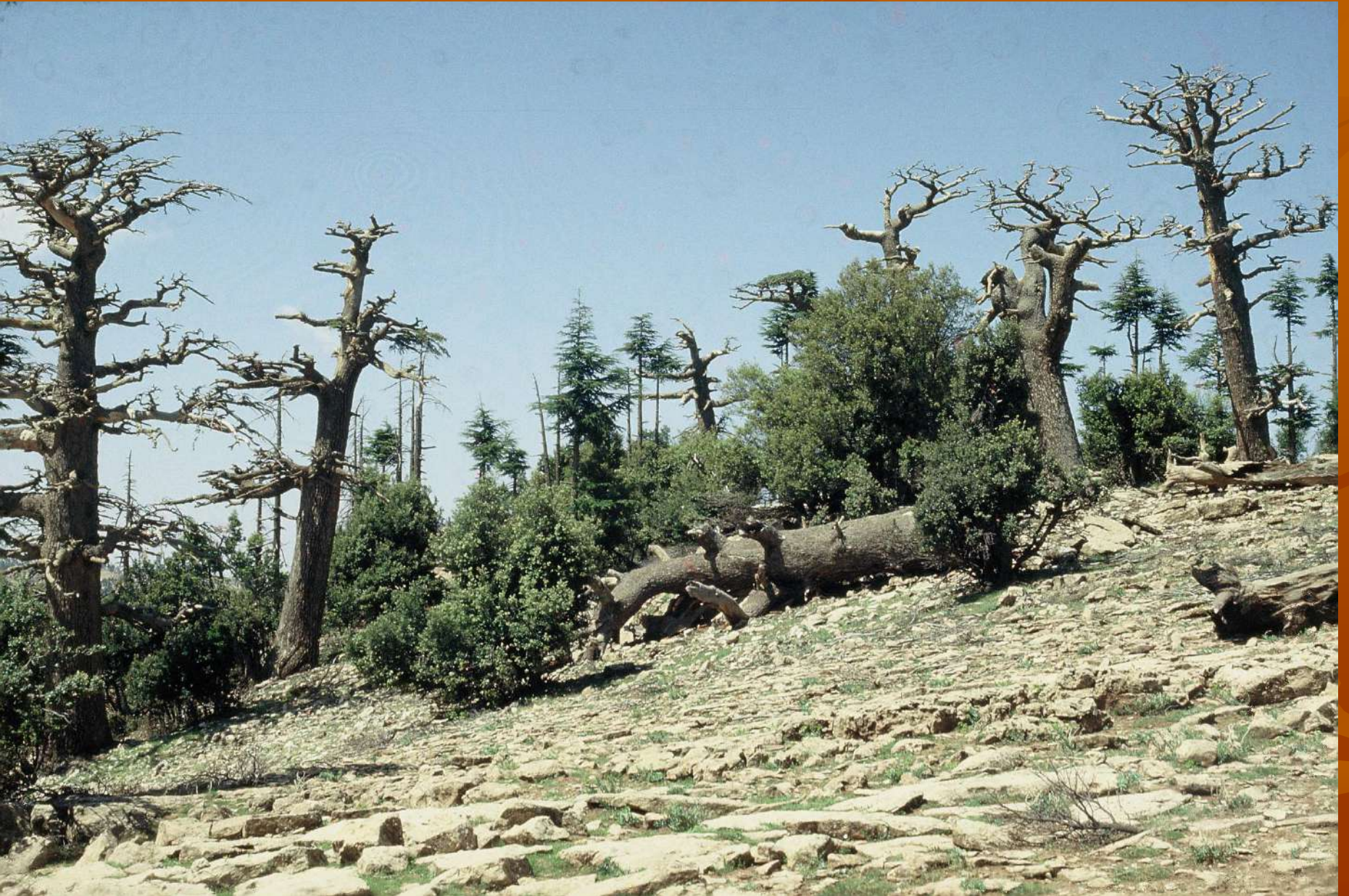


# Declinación *Austrocedrus chilensi*, al sur de Bariloche, Patagonia, Argentina



Foto cortesía Dr. A. Borovics, Director, Forest Research Institute, Sárvár ,  
Hungría

# *Cedrus atlantica*, límite xérico, Marruecos





# Declinación *Larix sibirica*, Mongolia

precipitation reduced to 250-300 mm from approx 400 mm



Foto cortesía Dr. A. Borovics, Director, Forest Research Institute, Sárvár , Hungría

# Declinación de *Picea abies*, Szentgotthard, Oeste de Hungría, cerca de la frontera con Austria

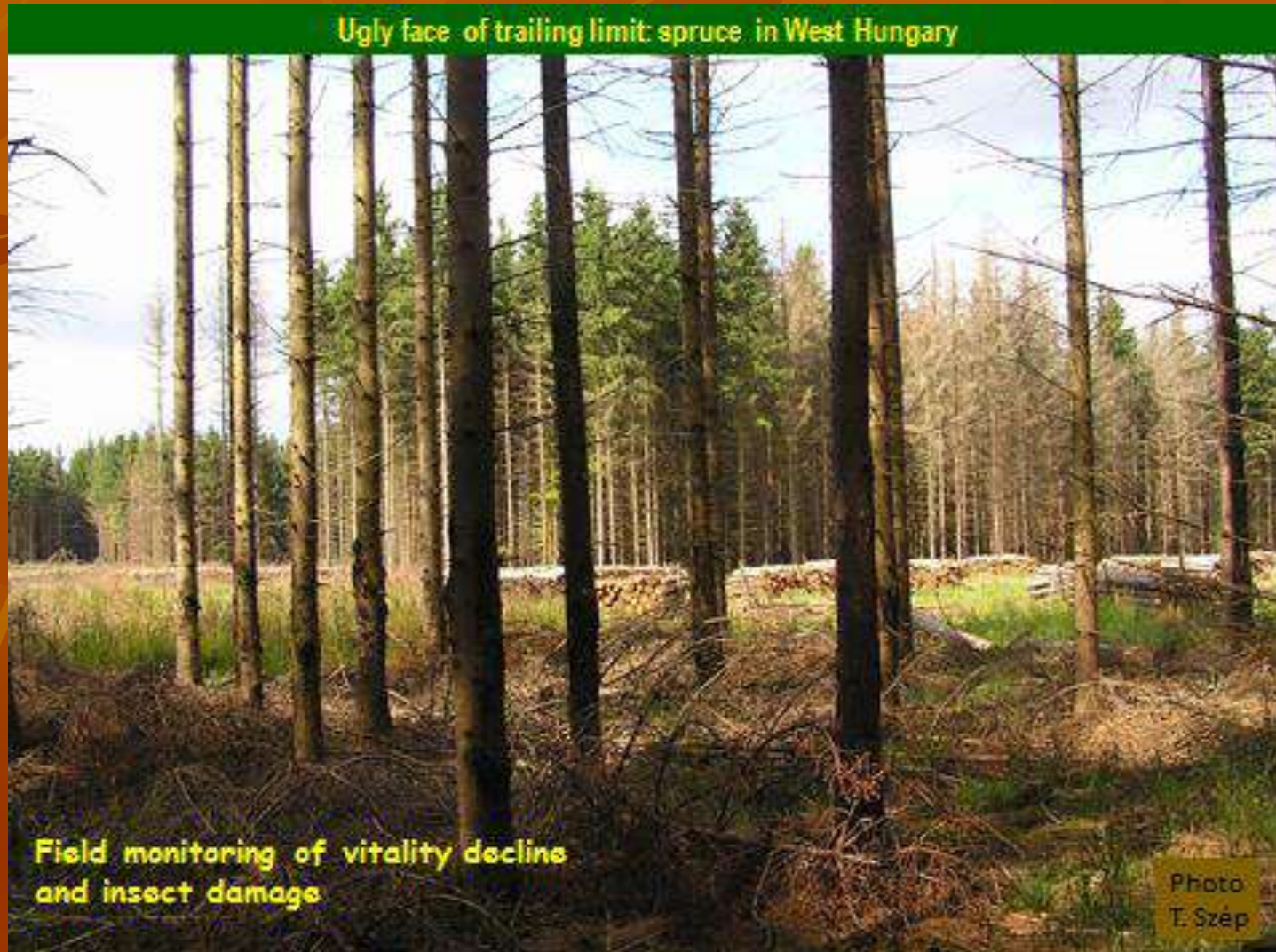



Foto cortesía de Csaba Mátyás, Univ. of West Hungary, Sopron, Hungary

## Reproductive investment of *Pinus pseudostrobus* along an altitudinal gradient in Western Mexico: implications of climate change

Leonel Lopez-Toledo<sup>1</sup>  · Margarita Heredia-Hernández<sup>1</sup> · Dante Castellanos-Acuña<sup>2,3</sup> · Arnulfo Blanco-García<sup>4</sup> · Cuauhtémoc Saénz-Romero<sup>2</sup>

Reducción  
eficiencia  
producción de  
semilla, *Pinus  
pseudostrobus*,  
Meseta  
Purépecha,  
Mich.



2700 m,  
Límite  
altitudinal  
medio-  
superior  
Eficiencia:  
70 %



2300 m,  
Límite  
altitudinal  
inferior  
Eficiencia:  
6 %



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

Cuauhtémoc Sáenz Romero<sup>1</sup>

2015. Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente 15(30):91-110.

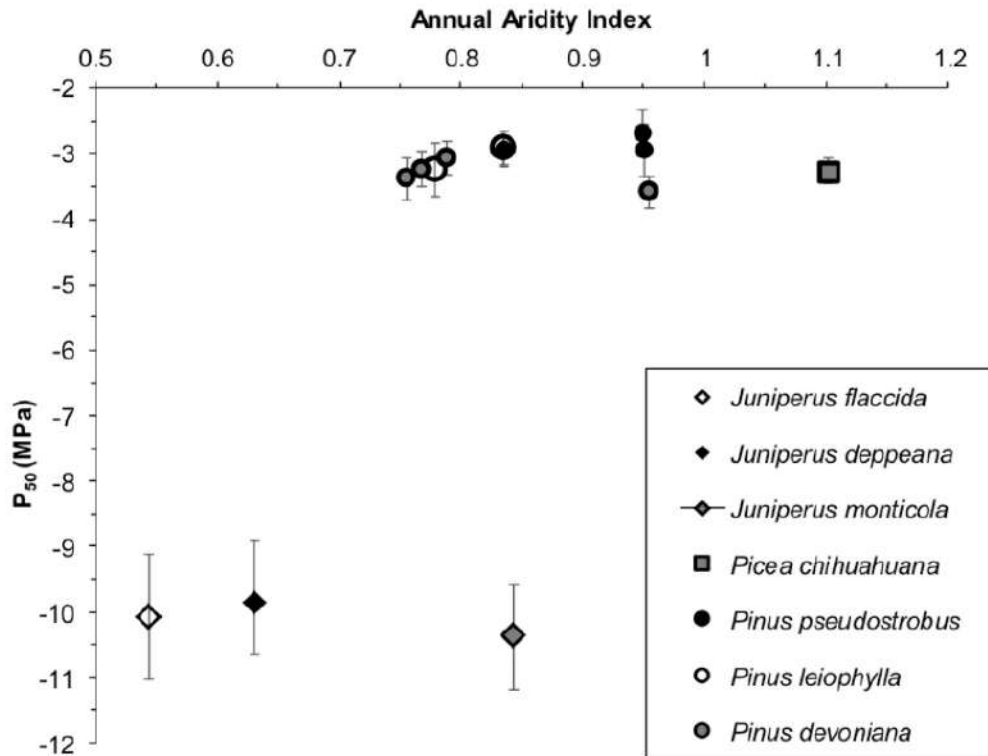


**Sabanización**

## Mexican conifers differ in their capacity to face climate change

C. Sáenz-Romero<sup>1,2</sup>, M. Larter<sup>2</sup>, N. González-Muñoz<sup>2</sup>, C. Wehenkel<sup>3</sup>, A. Blanco-García<sup>4</sup>, D. Castellanos-Acuña<sup>1,5</sup>, R. Burrett<sup>2</sup> and S. Delzon<sup>2</sup>

# Simplificación del bosque



**Figure 2.** Xylem pressure inducing 50% loss of hydraulic conductivity ( $P_{50}$ ) in MPa.

$P_{50}$  is plotted against the Annual Aridity Index median per species and per population (larger values indicate colder and more humid; smaller values indicate warmer and drier environments). Vertical bars represent 95% confidence intervals.

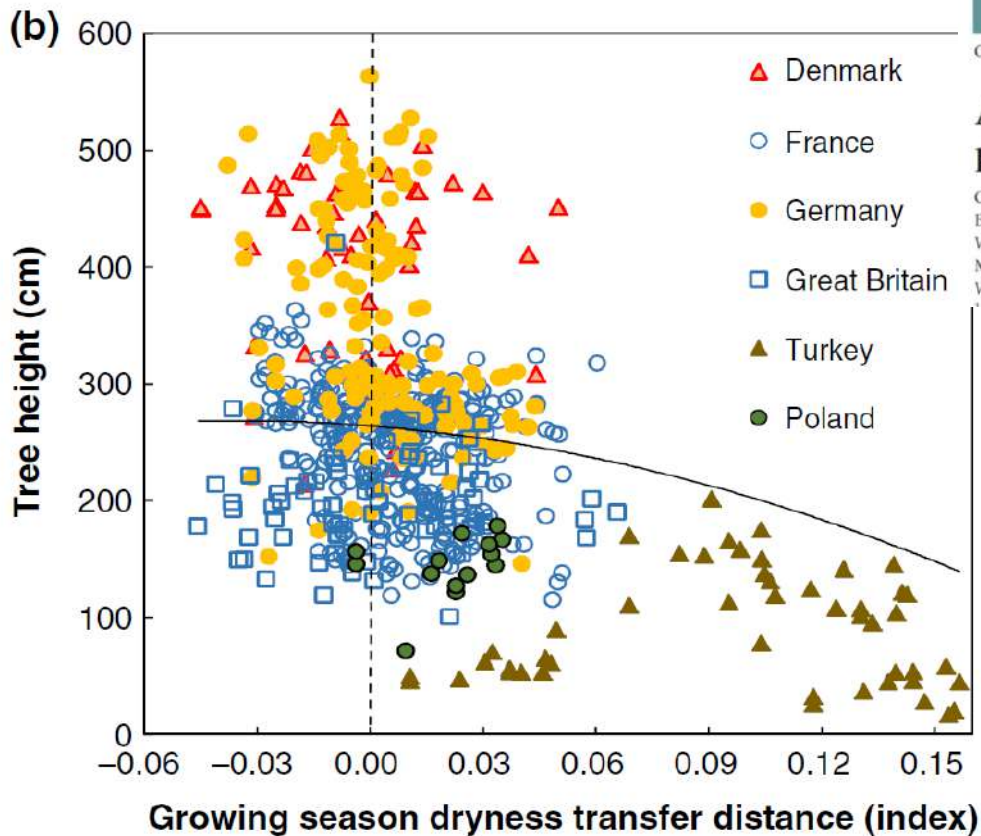


*Pinus edulis* muertos, conversión a bosque de *Juniperus*  
Jemez Mts. May 2004



## Adaptive and plastic responses of *Quercus petraea* populations to climate across Europe

CUAUHTÉMOC SÁENZ-ROMERO<sup>1,2\*</sup>, JEAN-BAPTISTE LAMY<sup>3\*</sup>, ALEXIS DUCOUSO<sup>1</sup>, BRIGITTE MUSCH<sup>4</sup>, FRANÇOIS EHRENMANN<sup>1</sup>, SYLVAIN DELZON<sup>1</sup>, STEPHEN CAVERS<sup>5</sup>, WLADYSLAW CHALUPKA<sup>6</sup>, SAID DAĞDAĞ<sup>7</sup>, JON KEHLET HANSEN<sup>8</sup>, STEVE J. LEE<sup>9</sup>, MIRKO LIESEBACH<sup>10</sup>, HANS-MARTIN RAU<sup>11</sup>, ACHILLEAS PSOMAS<sup>12</sup>, VOLKER SCHNECK<sup>13</sup>, WILFRIED STEINER<sup>11</sup>, NIKLAUS E. ZIMMERMANN<sup>12</sup> and ANTOINE KREMER<sup>14</sup>

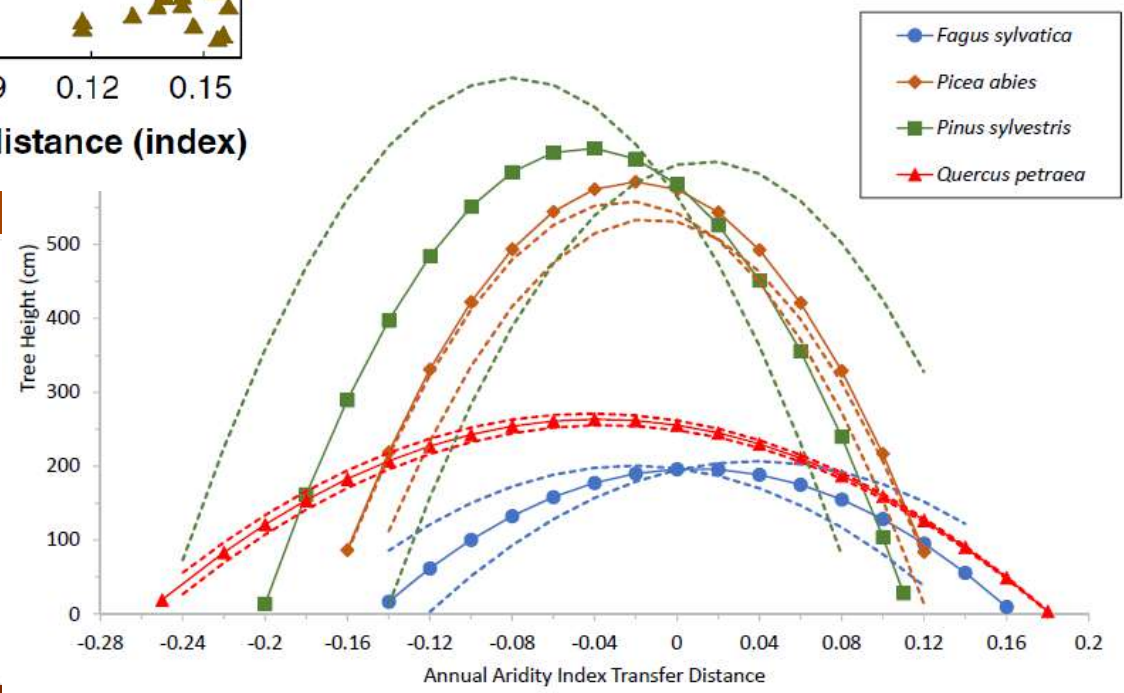


# El imperio de los encinos caducifolios

PeerJ (2019) 7:e6213  
<http://doi.org/10.7717/peerj.6213>

## Common garden comparisons confirm inherited differences in sensitivity to climate change between forest tree species

Cuauhtémoc Sáenz-Romero<sup>1</sup>, Antoine Kremer<sup>2</sup>, László Nagy<sup>3</sup>, Éva Újvári-Jármay<sup>3</sup>, Alexis Ducousso<sup>2</sup>, Anikó Kóczán-Horváth<sup>4</sup>, Jon Kehlet Hansen<sup>5</sup> and Csaba Mátyás<sup>4</sup>



**Financiamiento: Monarch Butterfly Fund; Fondo Mex. para la Conserv. de la Naturaleza. Fondo CONACyT Ciencia Básica**

**Comisión For. de América del Norte  
Coord. Inv. Científica, UMSNH**

**Colaboradores (entre otros):  
Francisco Ramírez, Ejido La Mesa, EdoMex  
Leonel López-Toledo, Philippe Lobit, Juan  
Manuel Ortega-Rodríguez, UMSNH. Oscar  
Trejo-Ramírez, SEMARNAT.**



**Aglaen Carbajal**

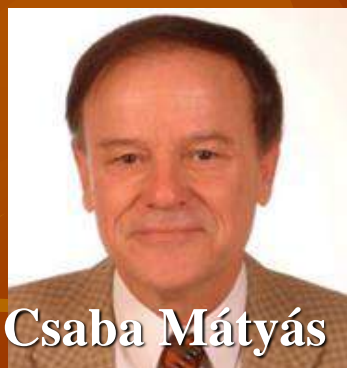


**Dante Castellanos**

**Marisol Ortiz**



**Arnulfo Blanco**



**Csaba Mátyás**



**Gerald Rehfeldt**



**Roberto Lindig**



**Cecilia Zamora**

**Ana Laura Cruzado**

**Esmeralda Navarro**

**Erika Gómez**