



Adaptación de los bosques al cambio climático: Un enfoque basado en el análisis de los anillos de crecimiento



AGRICULTURA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL

inifap
Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Dr. Arian Correa Díaz
INIFAP CENID COMEF





Instituciones participantes



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA



Contenido

1. Cambio climático
2. Bosques y adaptación al CC
3. Dendrocronología y otras herramientas para el estudio del CC
4. Estudios de caso en México
5. Perspectivas
6. Conclusiones

Cambio climático vs Variabilidad natural

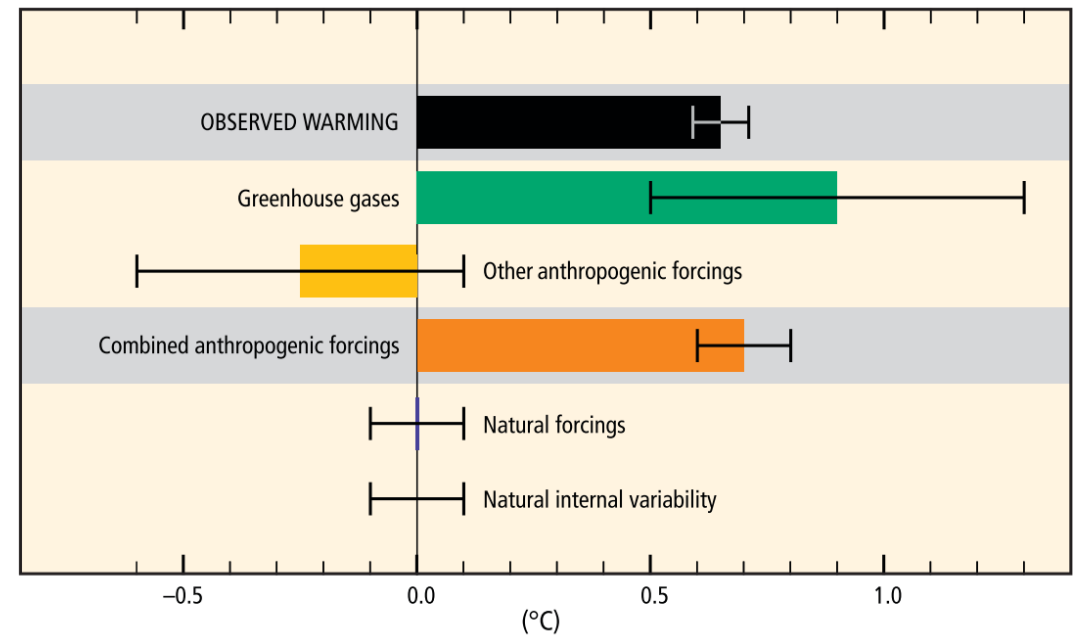
Efecto invernadero \neq Calentamiento global \neq Cambio climático



Variabilidad natural del clima \neq Cambio climático

- ✓ Actividad solar
- ✓ Actividad volcánica
- ✓ Ciclos naturales (Milankovith)
 - ✓ Tectónicas
- ✓ Fenómenos (El Niño)
- ✓ Actividades humanas
 - ✓ Emisión de GEI
 - ✓ Cambio de uso de suelo
 - ✓ Degradación de tierras
 - ✓ Contaminación
 - ✓ Otras

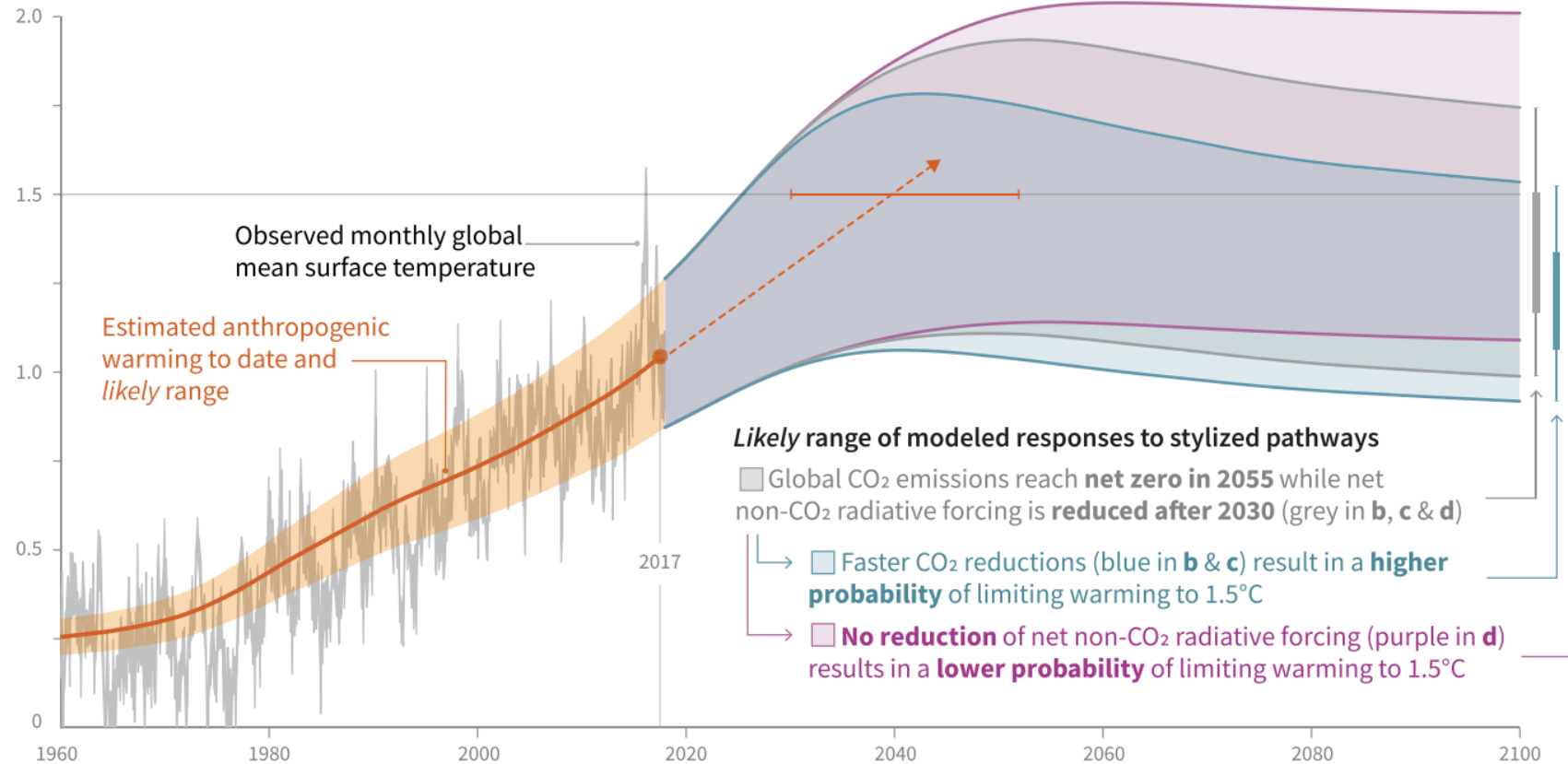
Contributions to observed surface temperature change over the period 1951–2010



IPCC, 2013

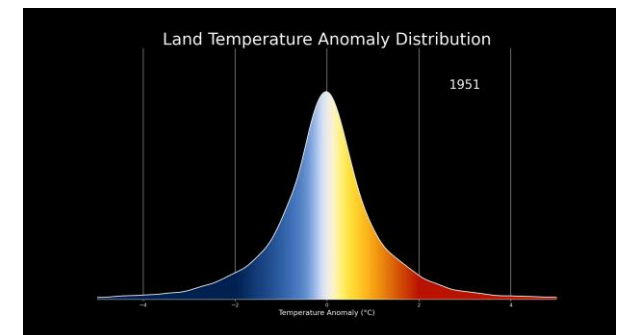
Temperatura

Global warming relative to 1850-1900 (°C)



Las actividades humanas son responsables del incremento de 1.0 °C

Es probable que este incremento alcance 1.5 °C entre 2030 y 2050



NASA, 2020

IPCC, 2018

Atmósfera y GEI (CO₂)



- 1 Temperatures and greenhouse gas concentrations decline during ice ages...
- 2 ...and rise rapidly during deglaciation.
- 3 Temperatures have been relatively warm and stable during the Holocene.

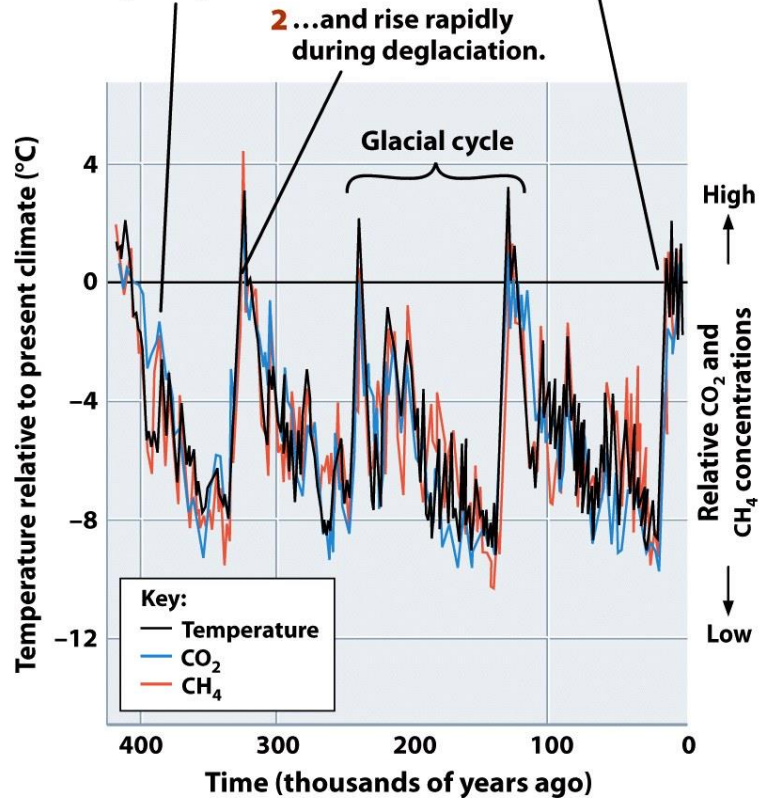
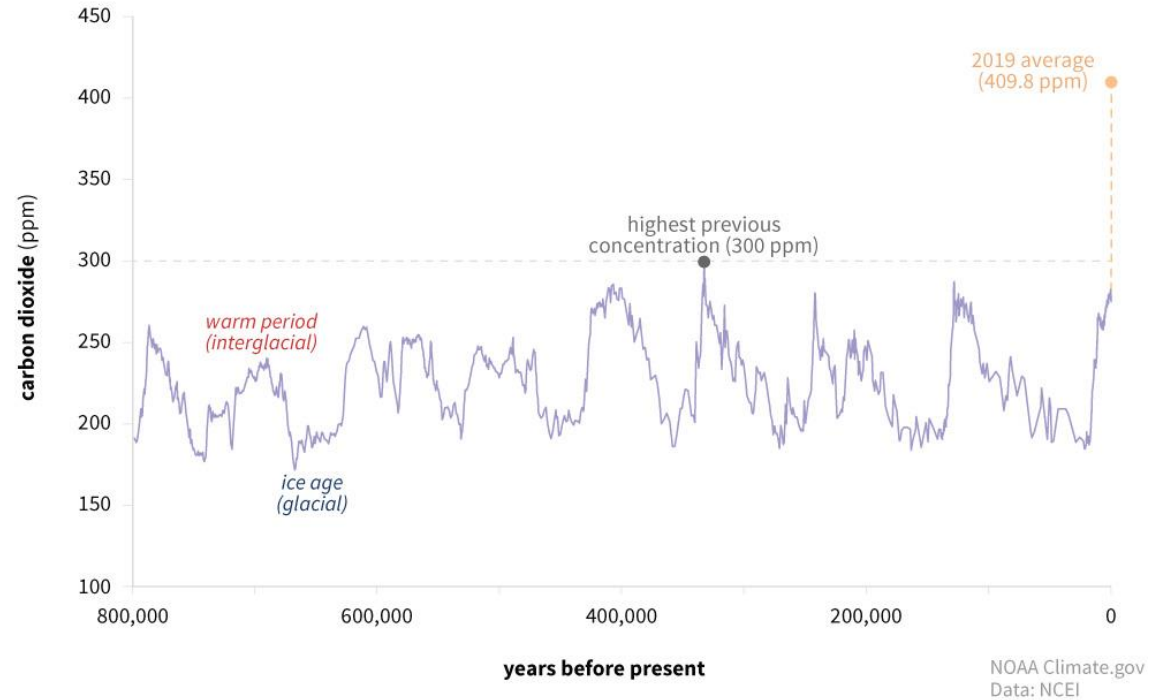
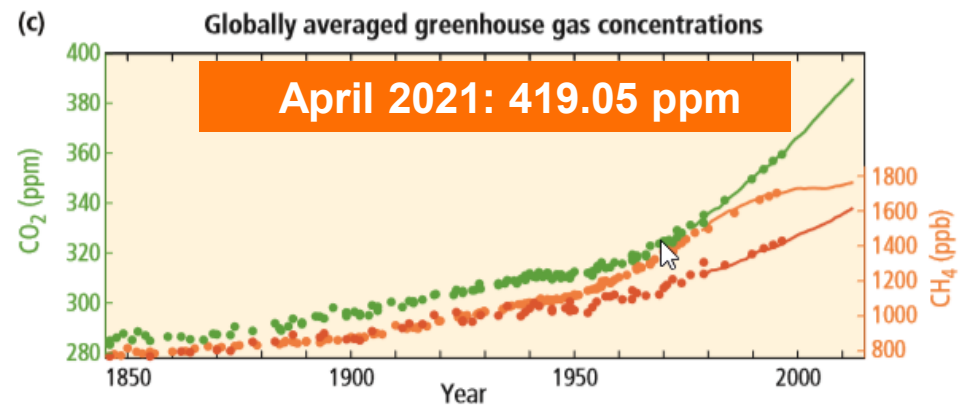


Figure 15.11
Understanding Earth, Sixth Edition
© 2010 W. H. Freeman and Company

CARBON DIOXIDE OVER 800,000 YEARS



NOAA Climate.gov
Data: NCEI

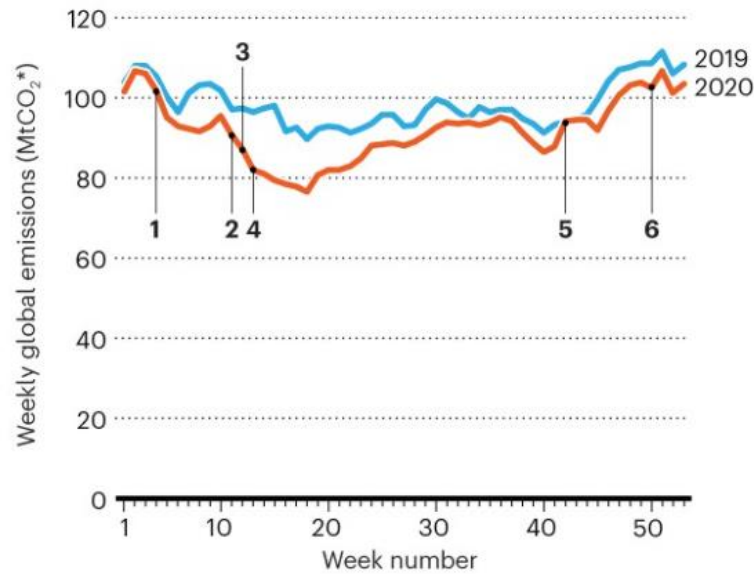


IPCC, 2013

CO₂ y COVID-19

EMISSIONS BOUNCE BACK

After a sharp drop early in the pandemic, global CO₂ emissions rose as worldwide economic activity recovered in 2020. This trend continued even though some countries put fresh restrictions in place as coronavirus infections soared.



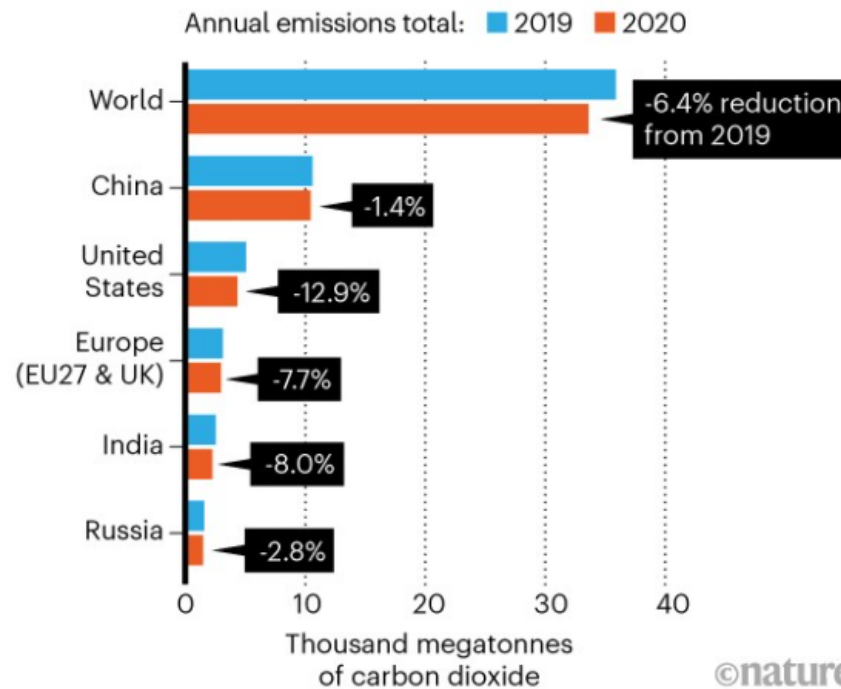
*Megatonnes carbon dioxide.

©nature

Source: Carbon Monitor programme/Nature analysis

CARBON CUTS

The COVID-19 pandemic took a bite out of CO₂ emissions in many countries, but trends varied. China saw a minor decrease because its economy recovered after outbreaks in early 2020. The United States tallied the largest reduction, driven by outbreaks lasting throughout the year.

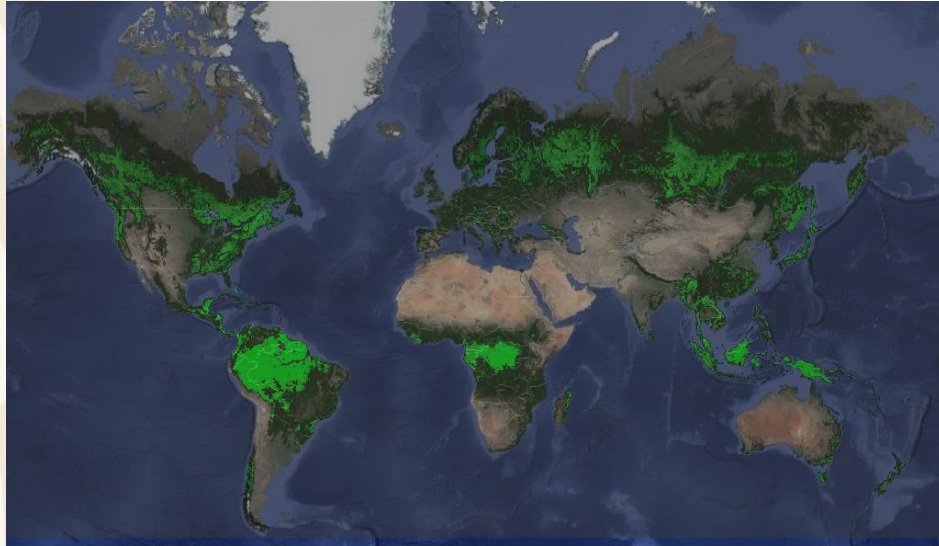


Source: Carbon Monitor programme/Nature analysis

©nature

- ✓ Se requieren reducciones de al menos 25% para ver un efecto tangible en las concentraciones de CO₂
- ✓ Reducción y captura

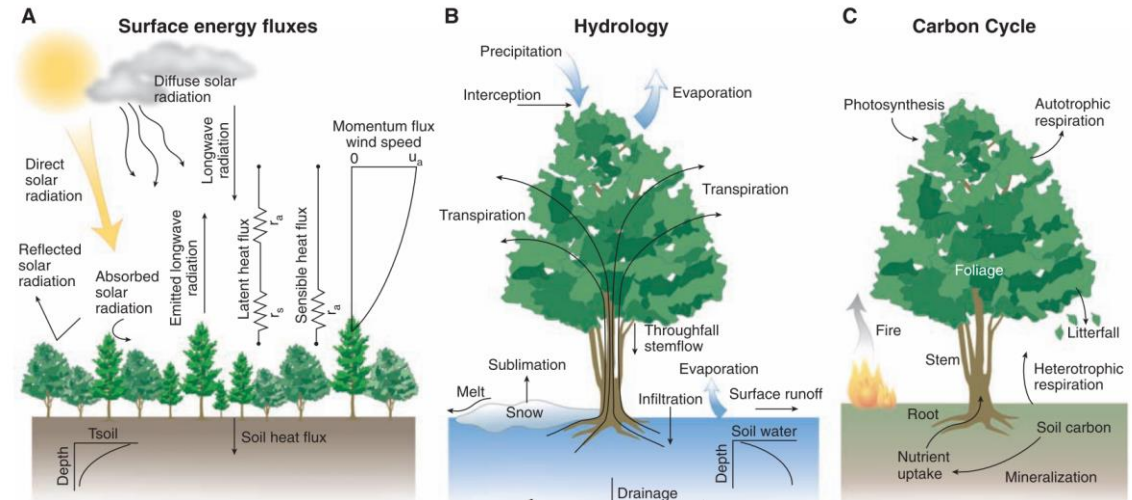
Bosques y cambio climático



Representan \approx 30% de la superficie Terrestre

Almacenan \approx 45% del carbono aéreo

Contribuyen \approx 50% de la producción primaria neta



Bonan, 2008

- ✓ Influyen en el clima a través de diversos procesos físicos, químicos y biológicos
- ✓ Complejas interacciones entre bosques/atmósfera pueden disminuir o amplificar el cambio climático
- ✓ Relación atmósfera – bosques – suelo

Bosques y cambio climático

Factores que modulan la respuesta de los bosques

- ✓ Humedad en el suelo
- ✓ Capital edáfico (e.g. reserva de nutrientes)
- ✓ Estructura y composición de los bosques (e.g. altura, bosques mixtos vs puros)
- ✓ Condiciones específicas del sitio (e.g. manejo)
- ✓ Edad del arbolado

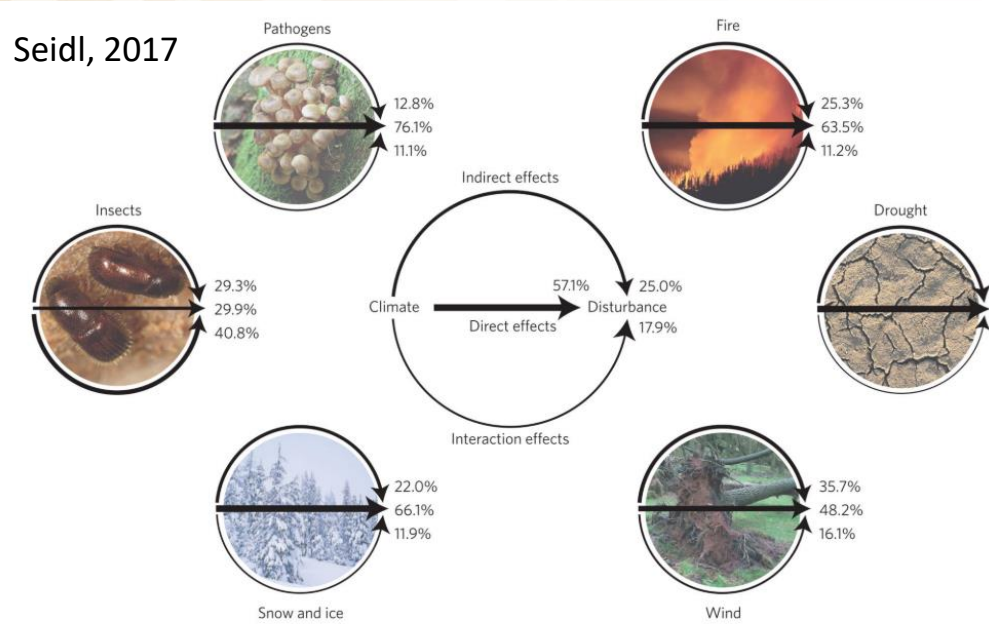


Figure 1. Distribution of evidence for direct, indirect and interaction effects of climate change on forest disturbance agents in the reviewed literature.

Incremento en los impactos por disturbios bajo cambio climático

PLANT SCIENCES

Tree growth acceleration and expansion of alpine forests: The synergistic effect of atmospheric and edaphic change

Lucas C. R. Silva,¹ Geng Sun,^{2*} Xia Zhu-Barker,³ Qianlong Liang,⁴ Ning Wu,² William R. Horwath³

2016 © The Authors. some rights reserved; exclusive license American Association for the Advancement of Science. Distributed under a Creative Commons Attribution NonCommercial License 4.0 (CC BY-NC). 10.1126/sciadv.1501302



Future productivity and carbon storage limited by terrestrial nutrient availability

William R. Wieder, Cory C. Cleveland, W. Kolby Smith & Katherine Todd-Brown

Nature Geoscience 8, 441–444 (2015) | Download Citation

ARTICLE

<https://doi.org/10.1038/n41467-019-12380-6> OPEN

Tree height explains mortality risk during an intense drought

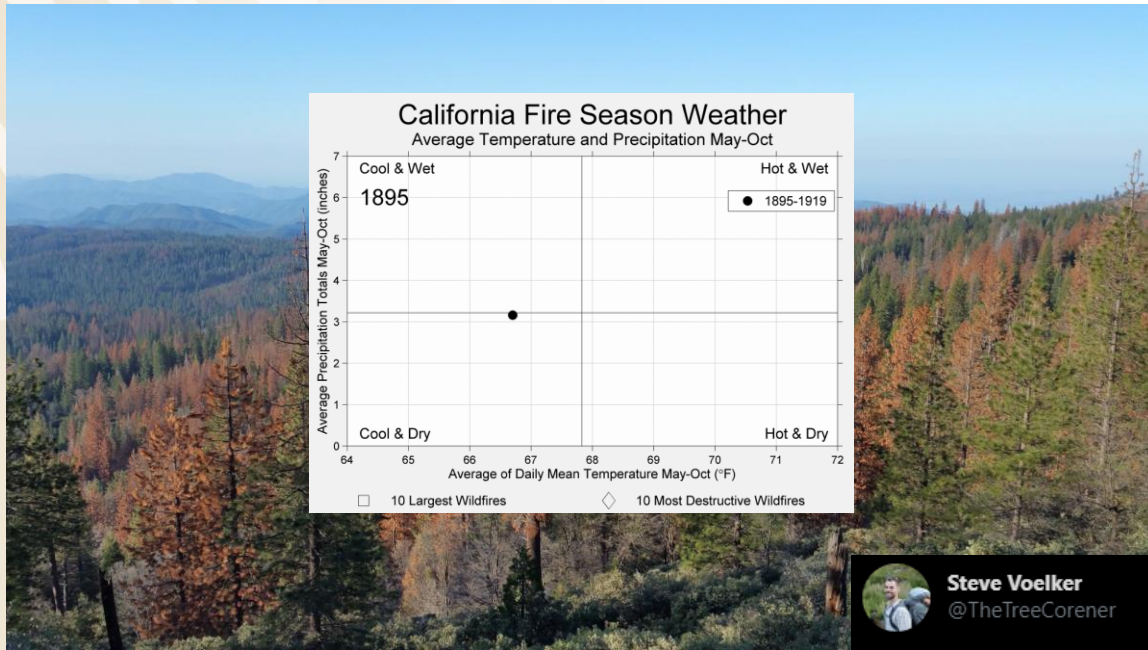
Atticus E.L. Stovall^{1,2*}, Herman Shugart² & Xi Yang²



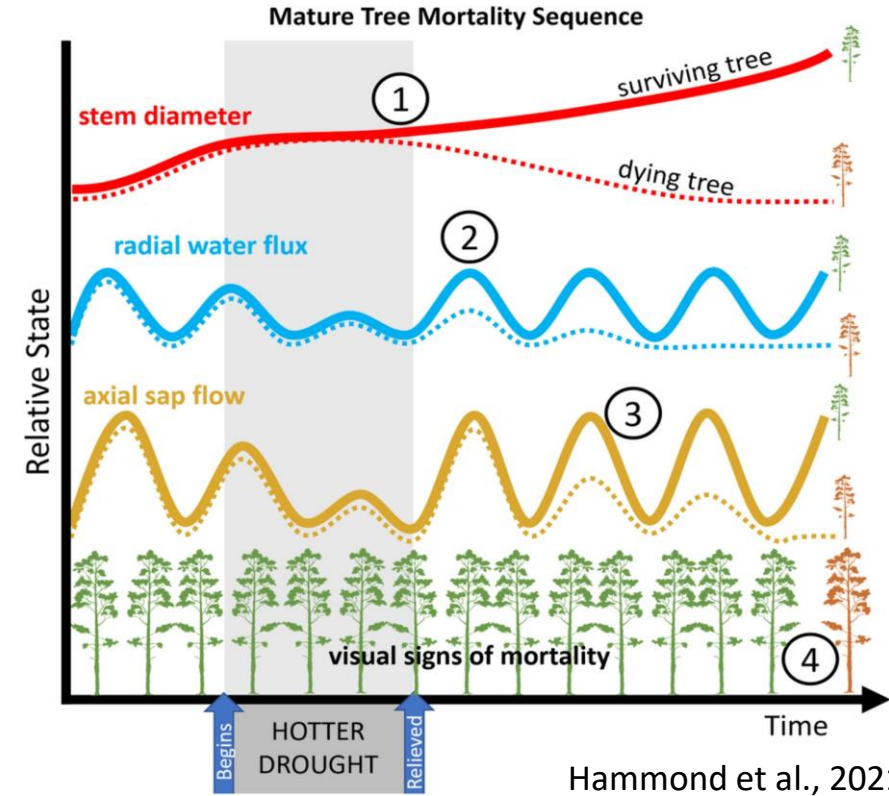
The greater resilience of mixed forests to drought mainly depends on their composition: Analysis along a climate gradient across Europe

M. Pardos^{a,b,*}, M. del Río^{a,b}, H. Pretzsch^c, H. Jactel^d, K. Bielak^e, F. Bravo^{b,f}, G. Brazaitis^g, E. Defossez^h, M. Engelⁱ, K. Godvod^g, K. Jacobs^j, L. Jansone^k, A. Jansons^k, X. Morin^l, A. Nothdurft^j, L. Oreti^m, Q. Ponette^j, M. Pachⁿ, J. Riofrío^{b,i}, R. Ruíz-Peinado^{a,b}, A. Tomao^m, E. Uhl^{c,o}, R. Calama^{a,b}

Resiliencia y sequías



- ✓ Periodo 2012-2017, 129 millones de arboles muertos en California
- ✓ Efecto asociado de brotes de plagas e incendios



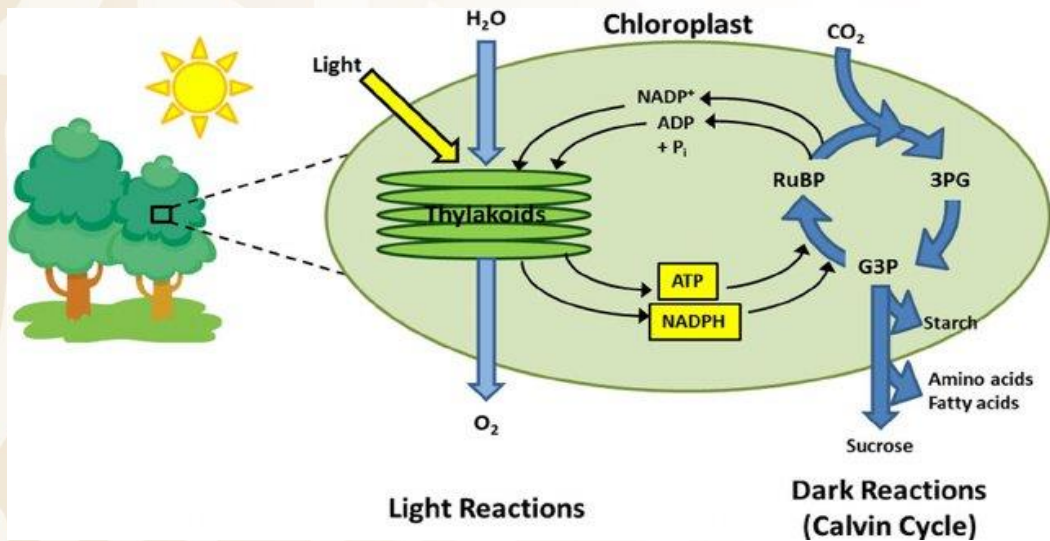
- ✓ Una menor resiliencia puede detonar la muerte masiva de arbolado, reduce el crecimiento y la captura de carbono

CO₂ y fotosíntesis

Photosynthesis



carbon dioxide + water \longrightarrow glucose + oxygen



Minteer y Rasmussem, 2014

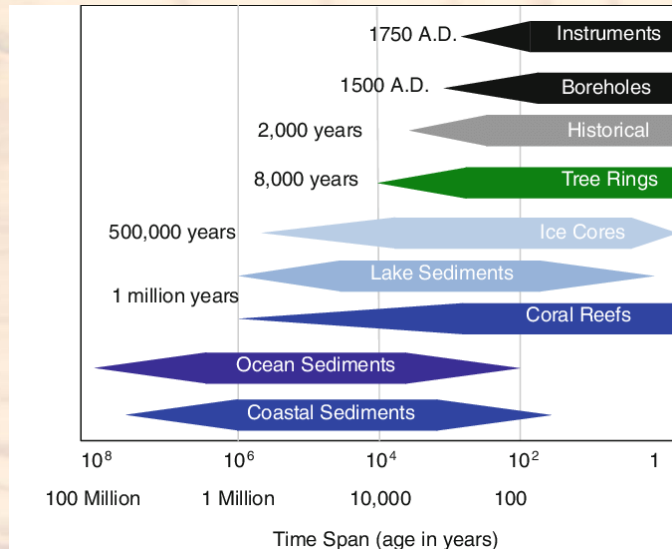
¿Cuál es la respuesta de los bosques ante aumento de CO₂ y temperatura?

Hipótesis de fertilización
¿Beneficio? ¿Enverdecimiento?

- Principales enfoques para evaluar los efectos de CO₂ en el sistema planta-suelo
- ✓ Dendrochronology
 - ✓ Natural CO₂ springs
 - ✓ Solar domes
 - ✓ Open top chambers
 - ✓ Free air carbon dioxide enrichment experiments (FACE)

¿Por qué los árboles nos ayudan al estudio del cambio climático?

- ✓ Los árboles registra los cambios en el ambiente
- ✓ Diversas especies forestales forman anillos anuales, en los que se registran eventos de clima y de su fisiología (dendrocronología)
 - ✓ Muchos árboles son más viejos que las estaciones meteorológicas
 - ✓ Precisión y exactitud

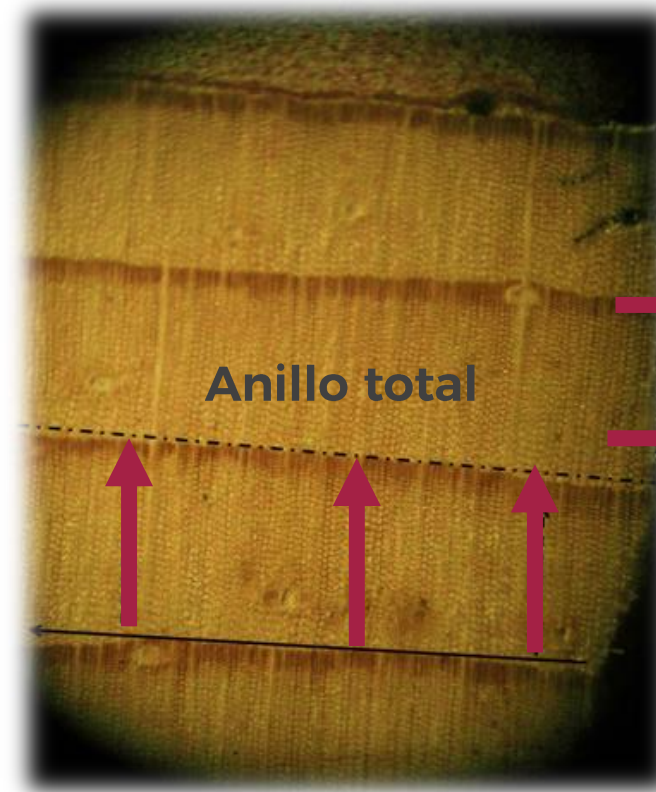


Dendrocronología

- ✓ Estudio de la secuencia cronológica de anillos de crecimiento anual
- ✓ Anchura, Densidad, Química, Estructura, etc.
- ✓ Subdisciplinas (dendroclimatología, dendropirocronología, dendroquímica, dendroecología)

AGGREGATE MODEL OF TREE GROWTH

$$R_t = f(G_t, C_t, D1_t, D2_t, E_t)$$



Madera tardía

Madera temprana

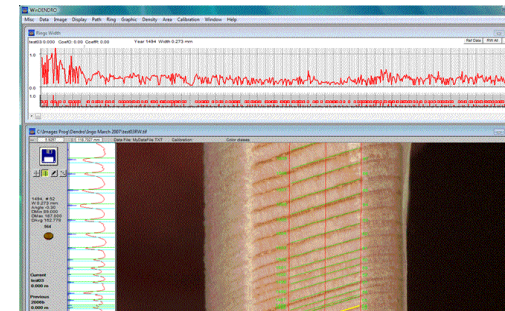
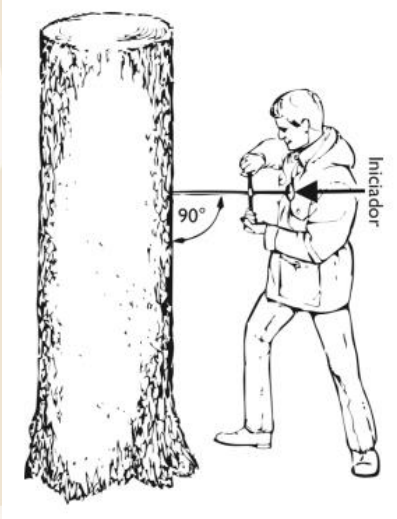
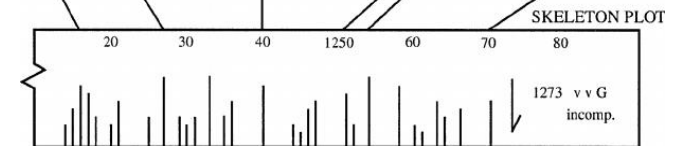
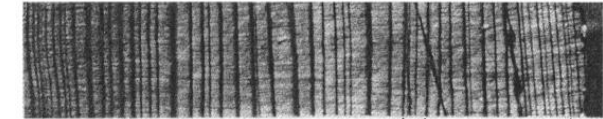
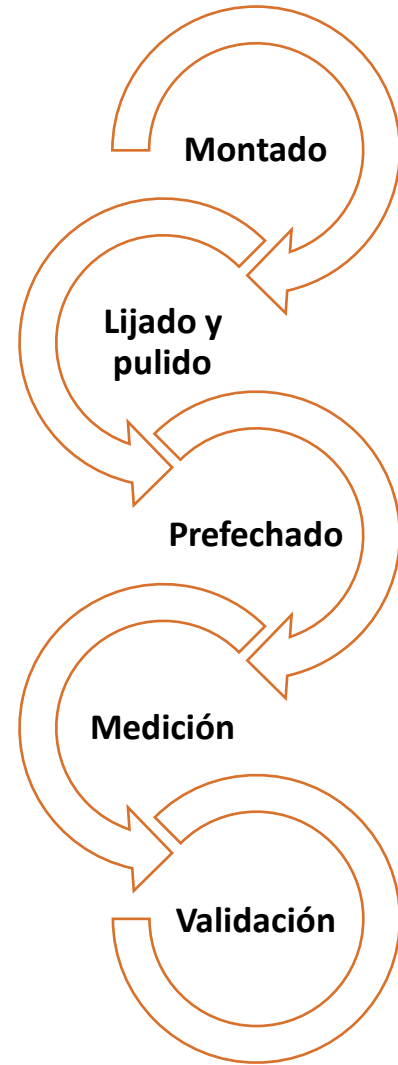
Información climática

Isótopos estables

Sensores remotos

Microdensidad de la madera

Muestreo en campo y procesamiento



```

PROGRAM COFECHA
Version 6.00P 15/12 The 07 Sep 2009
Copyright 2009 by Rick Bradley, University of Arizona. All rights reserved.
This program is distributed under the terms of the GNU General Public License
which can be found in the file 'COPYING' which is part of this software
distribution.

Before problems are identified each time series is transformed to enhance
contrast and to level the background. The following operations are assumed
to be performed:
1. Each year's total difference equals the series is log-transformed.
2. Each transformed series is then fitted against the natural log of age.
3. The fit is removed and the series is re-centered.
4. The series is then detrended.
5. The series is then standardized.

Maximum file name: 4096 bytes. For more information type:
[identify job] (up to 5 characters) -> COB

CROSS-DATED TREE-RING SERIES
-- Name of EXISTING INPUT file -> COB.DAT

Print 0 Mean --- COB.MAT
Columns: 1290 250 250 1290
Columns: 1818 1118 2238 1738 1258 1258 1738 1162 741 1218 861
Columns: 1818 1482 1842 1362 882 1362 1842 1362 1362 1362 1362
Columns: 1818 2258 1387 927 397 948 1172 1848 1278 1303 1257
Columns: 1818 2460 1082 262 275 258 1278 1848 1303 1257
Columns: 1818 1361 1793 1347 846 762 1252 1848 937 942 2595
Columns: 1818 1361 1793 1347 846 762 1252 1848 937 942 2595

Maximum file name: 4096 bytes. For more information type:
[identify job] (up to 5 characters) -> COB

CROSS-DATED TREE-RING SERIES
-- Name of EXISTING INPUT file -> COB.DAT

Print 0 Mean --- COB.MAT
Columns: 1290 250 250 1290
Columns: 1818 1118 2238 1738 1258 1258 1738 1162 741 1218 861
Columns: 1818 1482 1842 1362 882 1362 1842 1362 1362 1362 1362
Columns: 1818 2258 1387 927 397 948 1172 1848 1278 1303 1257
Columns: 1818 2460 1082 262 275 258 1278 1848 1303 1257
Columns: 1818 1361 1793 1347 846 762 1252 1848 937 942 2595
Columns: 1818 1361 1793 1347 846 762 1252 1848 937 942 2595

Maximum file name: 4096 bytes. For more information type:
[identify job] (up to 5 characters) -> COB

CROSS-DATED TREE-RING SERIES
-- Name of EXISTING INPUT file -> COB.DAT

Print 0 Mean --- COB.MAT
Columns: 1290 250 250 1290
Columns: 1818 1118 2238 1738 1258 1258 1738 1162 741 1218 861
Columns: 1818 1482 1842 1362 882 1362 1842 1362 1362 1362 1362
Columns: 1818 2258 1387 927 397 948 1172 1848 1278 1303 1257
Columns: 1818 2460 1082 262 275 258 1278 1848 1303 1257
Columns: 1818 1361 1793 1347 846 762 1252 1848 937 942 2595
Columns: 1818 1361 1793 1347 846 762 1252 1848 937 942 2595

Maximum file name: 4096 bytes. For more information type:
[identify job] (up to 5 characters) -> COB

CROSS-DATED TREE-RING SERIES
-- Name of EXISTING INPUT file -> COB.DAT

Print 0 Mean --- COB.MAT
Columns: 1290 250 250 1290
Columns: 1818 1118 2238 1738 1258 1258 1738 1162 741 1218 861
Columns: 1818 1482 1842 1362 882 1362 1842 1362 1362 1362 1362
Columns: 1818 2258 1387 927 397 948 1172 1848 1278 1303 1257
Columns: 1818 2460 1082 262 275 258 1278 1848 1303 1257
Columns: 1818 1361 1793 1347 846 762 1252 1848 937 942 2595
Columns: 1818 1361 1793 1347 846 762 1252 1848 937 942 2595

Maximum file name: 4096 bytes. For more information type:
[identify job] (up to 5 characters) -> COB

CROSS-DATED TREE-RING SERIES
-- Name of EXISTING INPUT file -> COB.DAT

Print 0 Mean --- COB.MAT
Columns: 1290 250 250 1290
Columns: 1818 1118 2238 1738 1258 1258 1738 1162 741 1218 861
Columns: 1818 1482 1842 1362 882 1362 1842 1362 1362 1362 1362
Columns: 1818 2258 1387 927 397 948 1172 1848 1278 1303 1257
Columns: 1818 2460 1082 262 275 258 1278 1848 1303 1257
Columns: 1818 1361 1793 1347 846 762 1252 1848 937 942 2595
Columns: 1818 1361 1793 1347 846 762 1252 1848 937 942 2595

Maximum file name: 4096 bytes. For more information type:
[identify job] (up to 5 characters) -> COB

CROSS-DATED TREE-RING SERIES
-- Name of EXISTING INPUT file -> COB.DAT

Print 0 Mean --- COB.MAT
Columns: 1290 250 250 1290
Columns: 1818 1118 2238 1738 1258 1258 1738 1162 741 1218 861
Columns: 1818 1482 1842 1362 882 1362 1842 1362 1362 1362 1362
Columns: 1818 2258 1387 927 397 948 1172 1848 1278 1303 1257
Columns: 1818 2460 1082 262 275 258 1278 1848 1303 1257
Columns: 1818 1361 1793 1347 846 762 1252 1848 937 942 2595
Columns: 1818 1361 1793 1347 846 762 1252 1848 937 942 2595

Maximum file name: 4096 bytes. For more information type:
[identify job] (up to 5 characters) -> COB
  
```

Isótopos estables

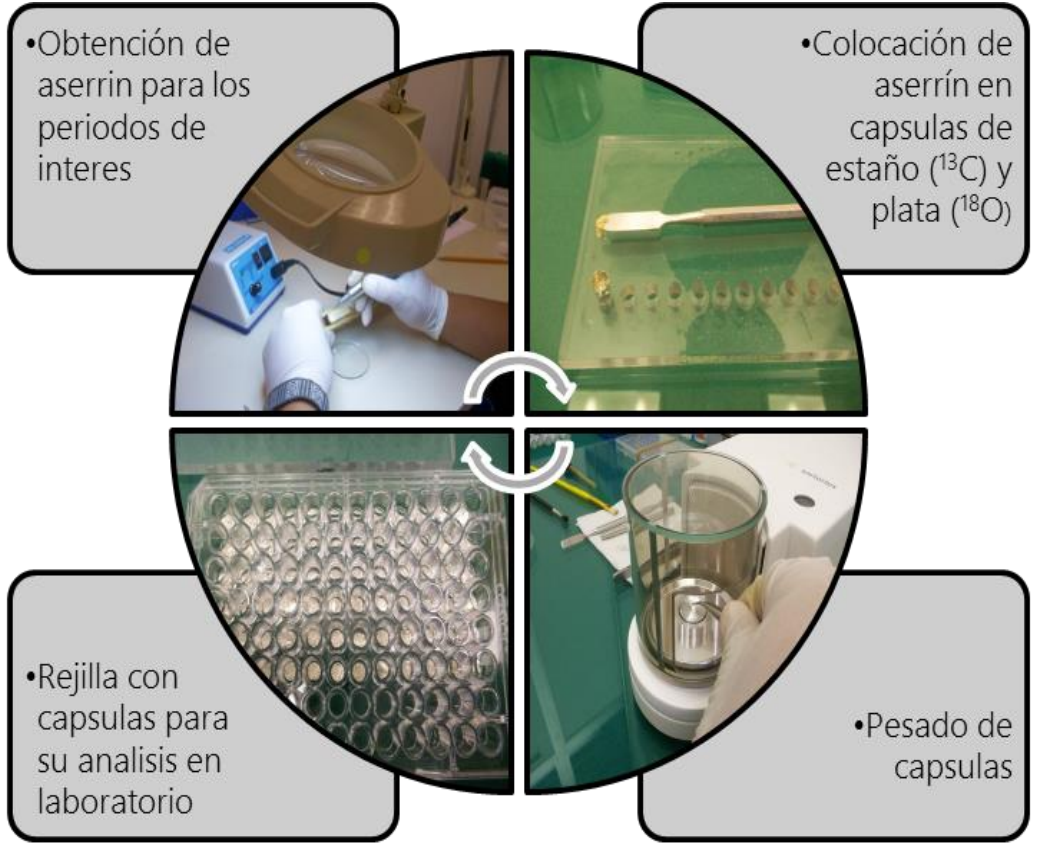
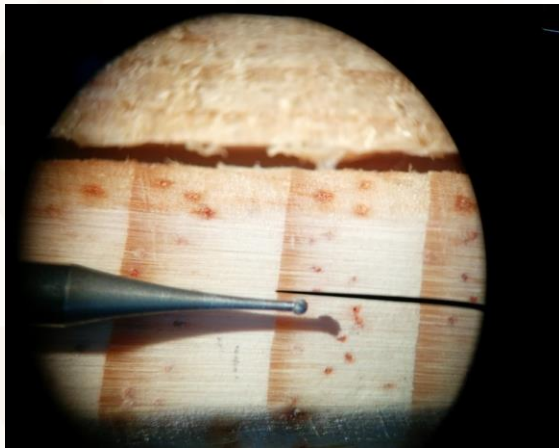
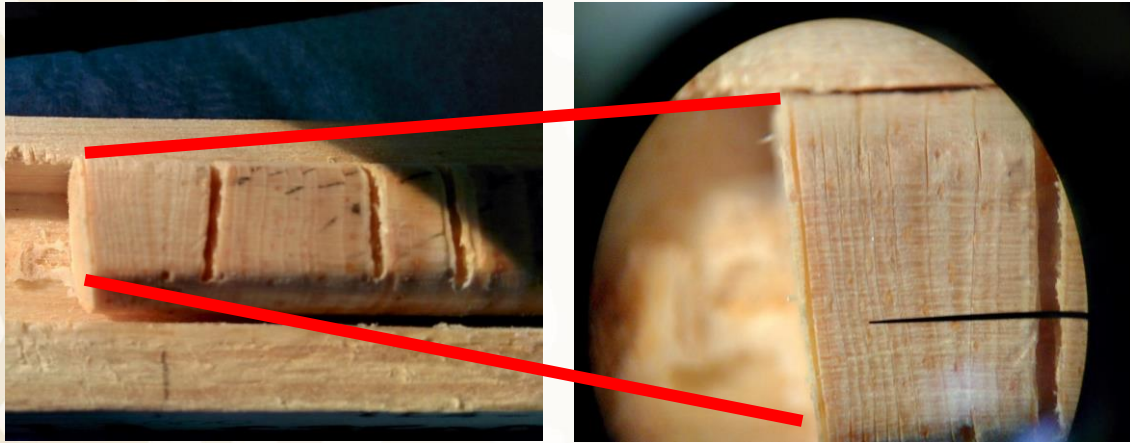
Element	Isotope	mass	Mass difference	Abundance (%)
Hydrogen	^1H	1.007825		99.985
	^2H	2.014102	+1.006277	0.015
Carbon	^{12}C	12.0		98.890
	^{13}C	13.003355	+1.003355	1.110
Nitrogen	^{14}N	14.003074		99.634
	^{15}N	15.000109	+0.997035	0.366
Oxygen	^{16}O	15.994915		99.762
	^{17}O	16.999132	+1.004217	0.038
	^{18}O	17.999161	+2.004246	0.200

- ✓ $\delta^{13}\text{C}$ esta relacionado con procesos difusivos (conductancia estomática) y fotosíntesis
- ✓ $\delta^{18}\text{O}$ registra la fuente de agua, además de señales de temperatura y transpiración
- ✓ Dendrofisiología y eficiencia de uso de agua intrínseca



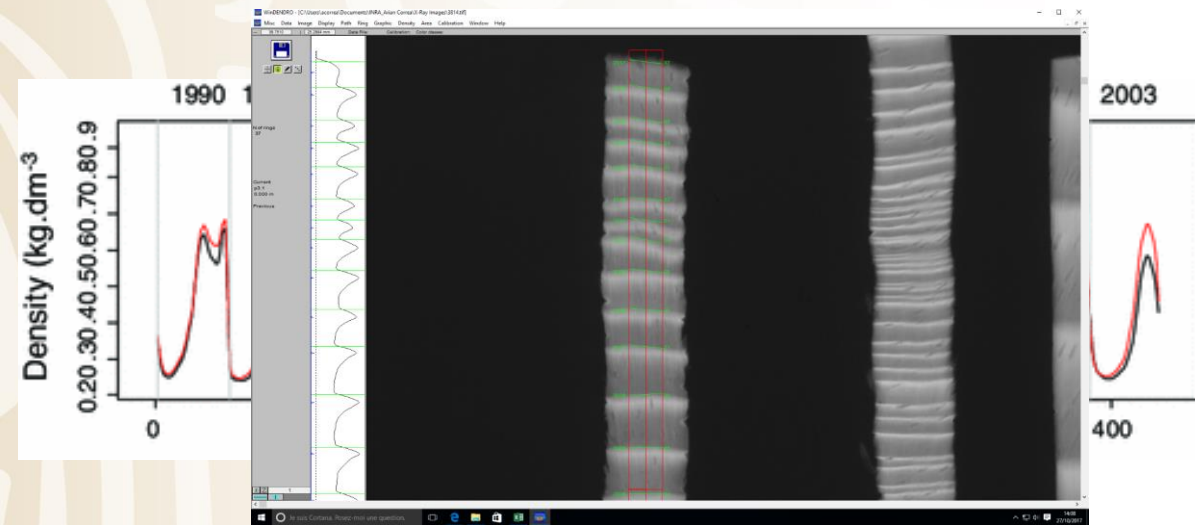
$$i\text{WUE} = A/g_s * 1.6 = (\text{Ca} - \text{Ci}) / 1.6$$

Procesamiento

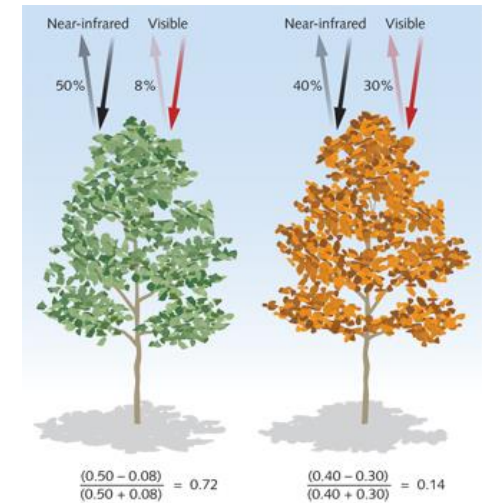
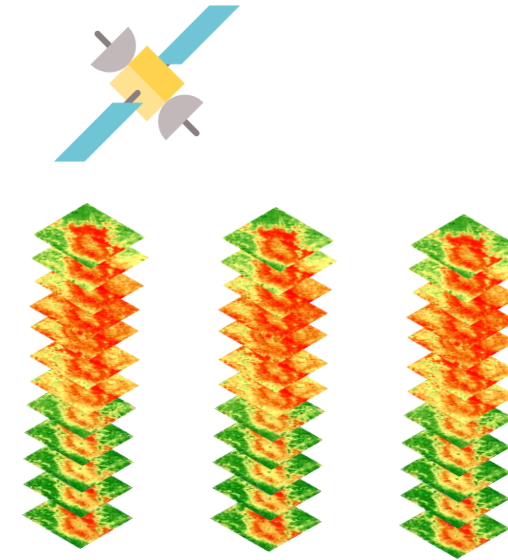


Densidad de la madera

Información de sensores remotos

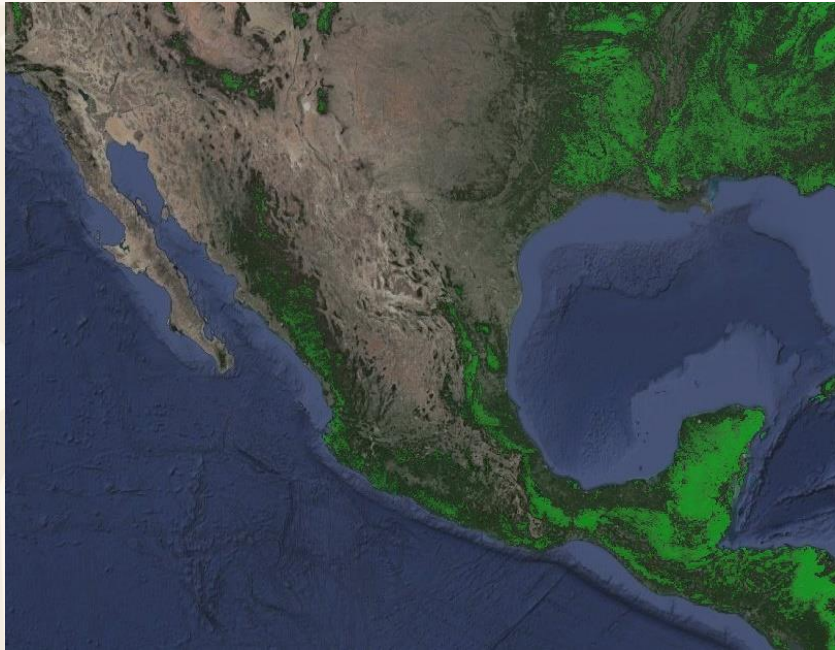


- ✓ La densidad mínima (MID) está relacionada con una alta conductividad hidráulica y mayor riesgo de cavitación
- ✓ La densidad máxima (MXD) está relacionada con una alta inversión de carbono



- ✓ El índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI), cociente entre las bandas del Infrarrojo cercano (NIR) y roja (R), es un indicador de la actividad fotosintética del dosel

México es forestal



- ✓ Superficie forestal del país: 137.8 millones de ha (70% del país)
- ✓ Zona de convergencia de dos zonas biogeográficas (Neártica y Neotropical)
- ✓ Limite de distribución de especies forestales

Superficie forestal de México				
Ecosistema	Superficie forestal (ha)		Total	
	Vegetación primaria	Vegetación secundaria	ha	%
Bosques	20,663,676	13,536,751	34,200,426	24.8
Selvas	10,167,721	19,858,784	30,026,505	21.8
Manglar	842,975	96,660	939,636	0.7
Otras asociaciones	533,828	6,332	540,160	0.4
Matorral xerófilo	50,816,909	5,488,101	56,305,010	40.8
Otras áreas forestales	11,488,048	4,345,353	15,833,401	11.5
Total	94,513,157	43,331,980	137,845,138	100



CONAFOR, 2018

Zonas de estudio



Bosques templados del norte de México



Bosques de alta montaña



Bosques de galería

¿Cómo responden los bosques a eventos extremos?

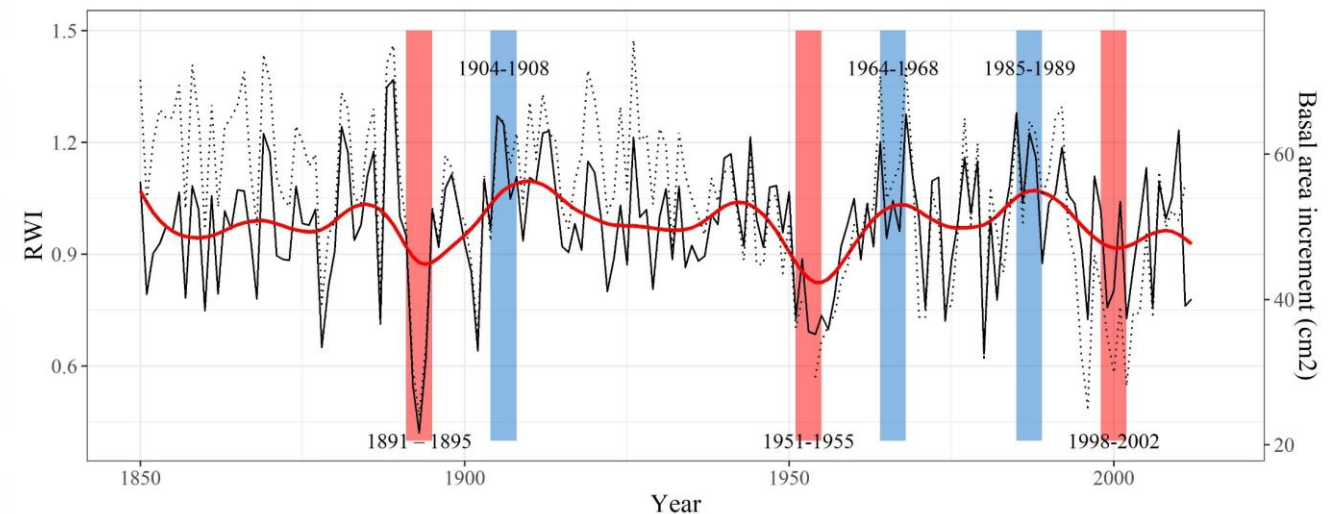


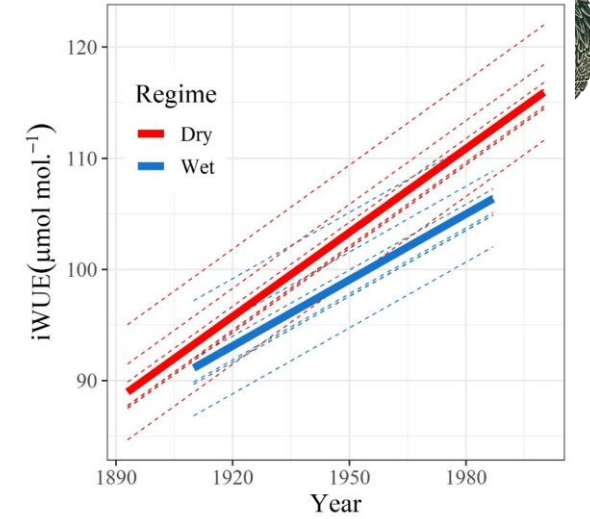
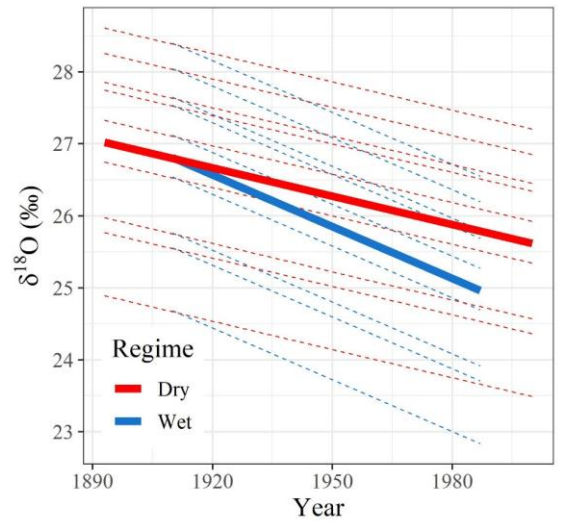
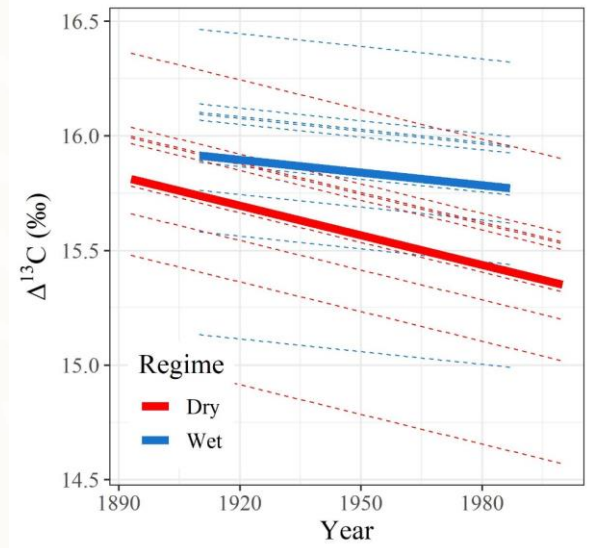
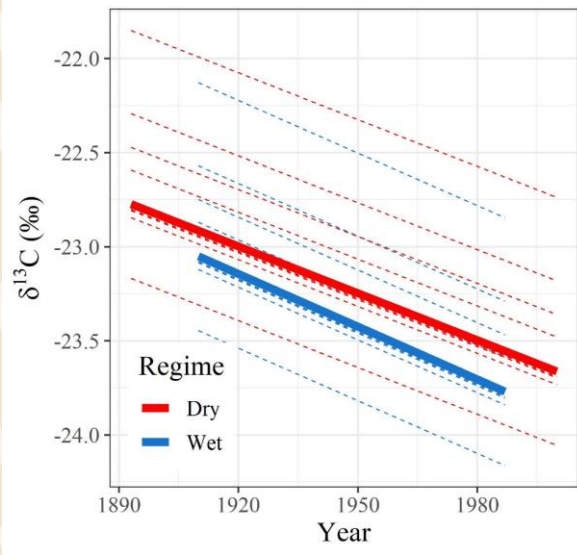
Castruita-Esparza et al., 2019

Tres eventos húmedos y tres eventos secos en el último siglo
Pseudotsuga menziesii

Disminución en hasta el 50% de productividad en sequías extremas
(legado 10 años)

Aumento del 17% en eventos húmedos (legado 5 años)



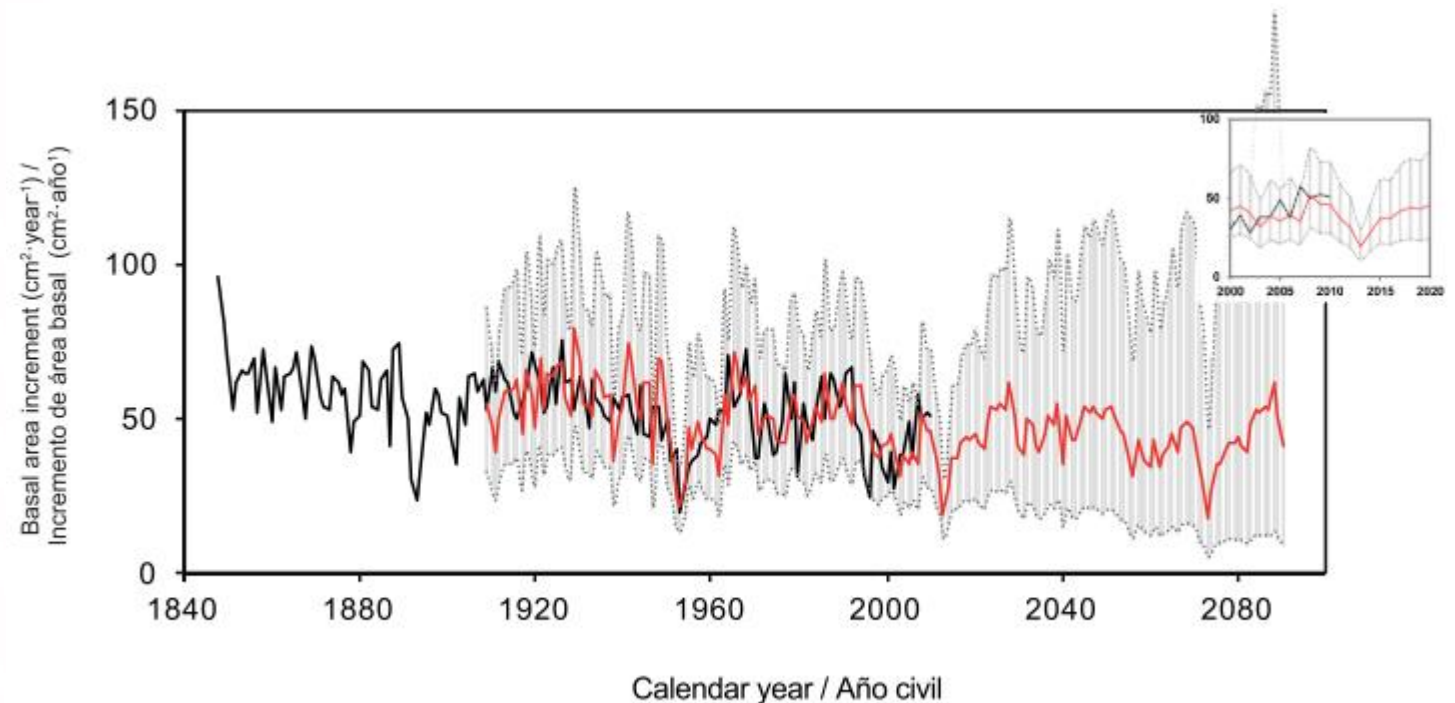
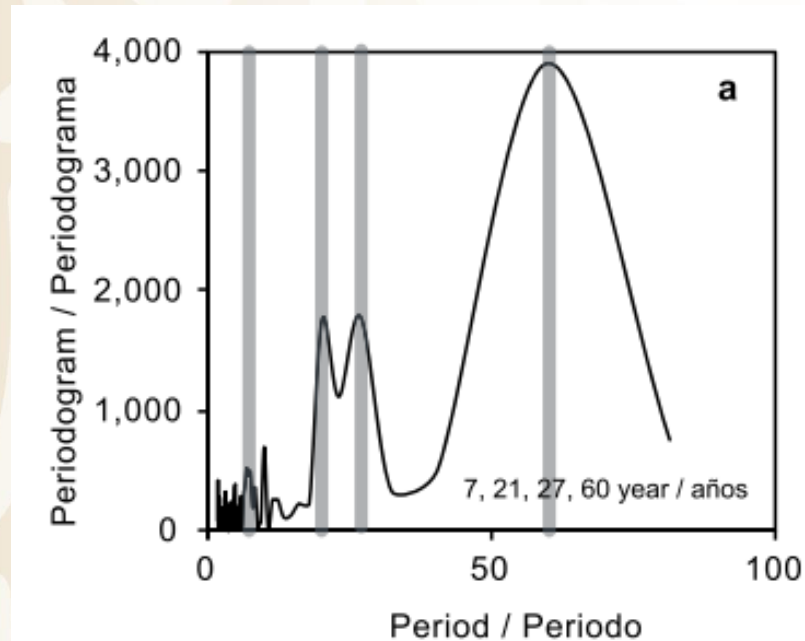


Castruita-Esparza et al., 2019

- ✓ Composición de $\delta^{13}\text{C}$ más diluida en el tiempo
- ✓ Árboles discriminan menos CO_2 en eventos secos
- ✓ Composición de $\delta^{18}\text{O}$ más ligera
- ✓ Eficiencia de uso de agua ha incrementado en el tiempo

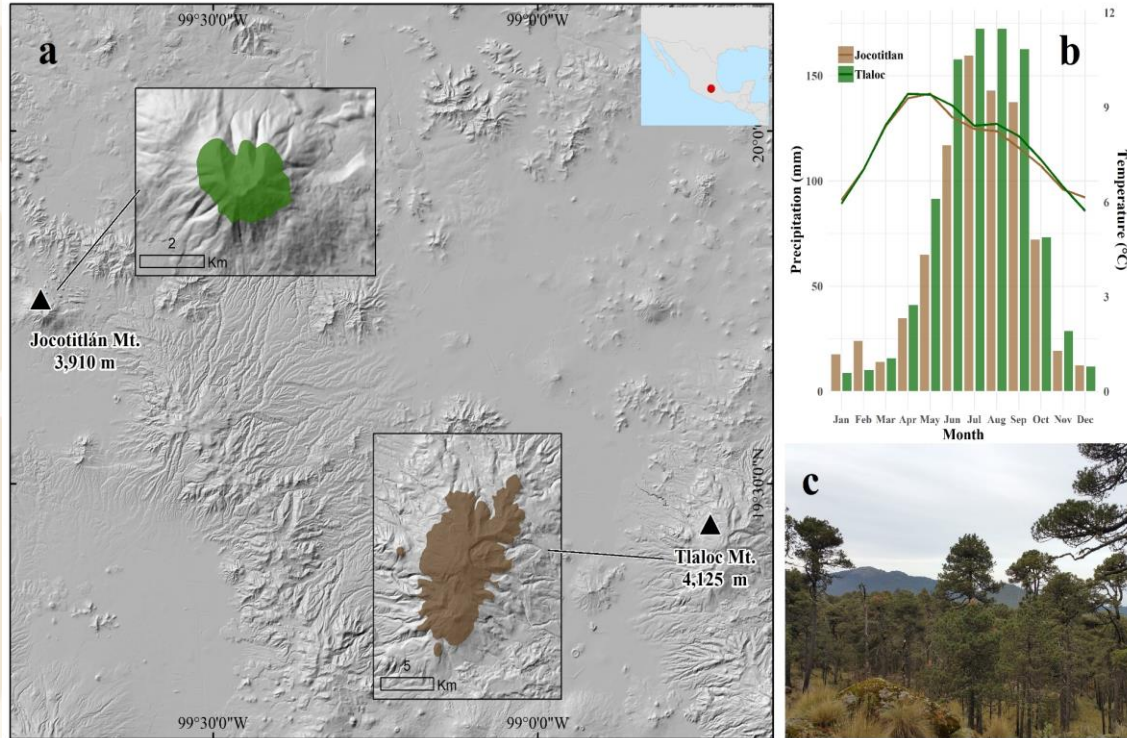


- ✓ Métodos estadísticos de series de tiempo (ARIMA)
- ✓ Correlación de IAB con precipitación de Enero a Julio
- ✓ Periodicidades de 7, 21, 27 y 60 años en los ritmos de crecimiento



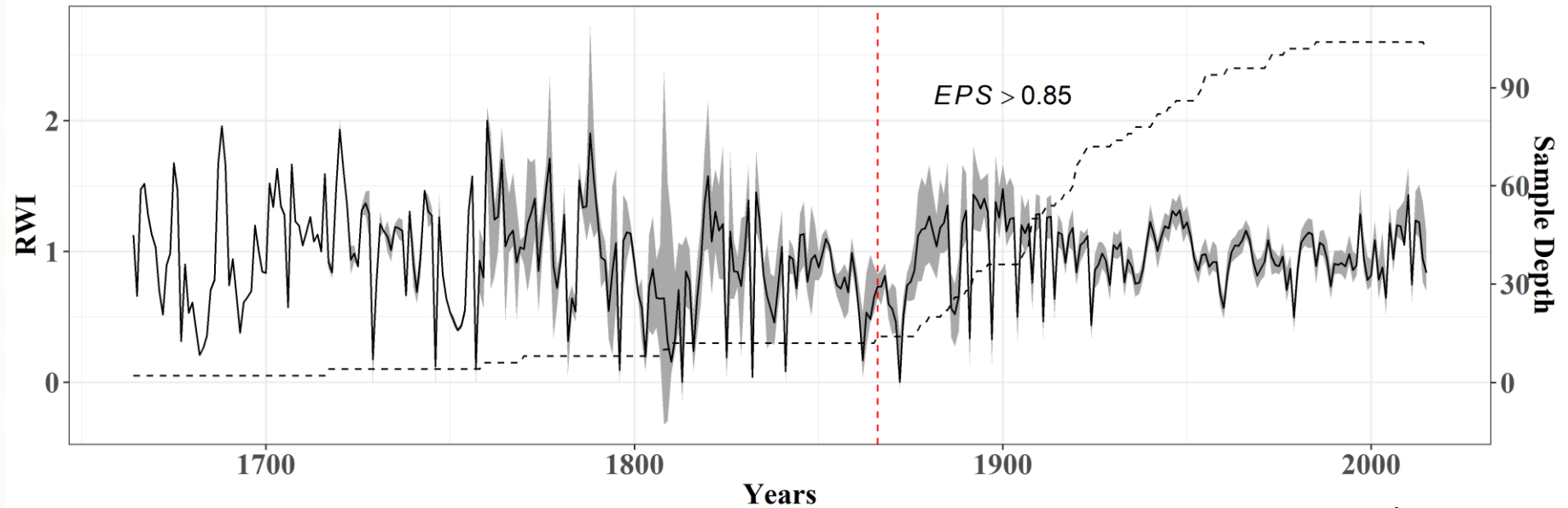
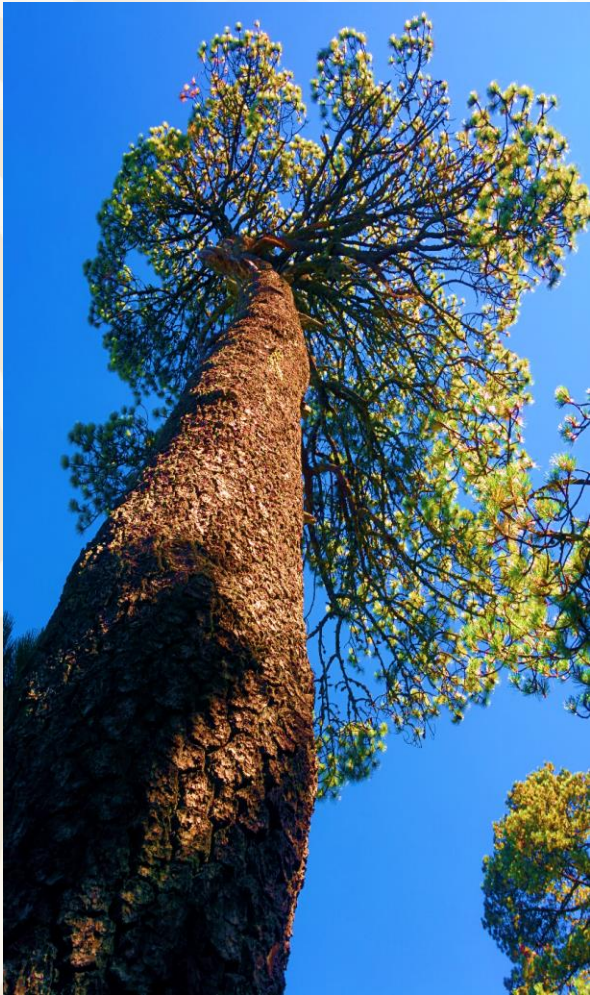
Castruita-Esparza et al., 2016

Bosques de alta montaña



- ✓ Altamente vulnerables a cambio climático
- ✓ Crecimiento limitado por temperatura
- ✓ Gradiente de elevación (3500 a 3900 msnm)
- ✓ *Pinus hartwegii* Lindl.

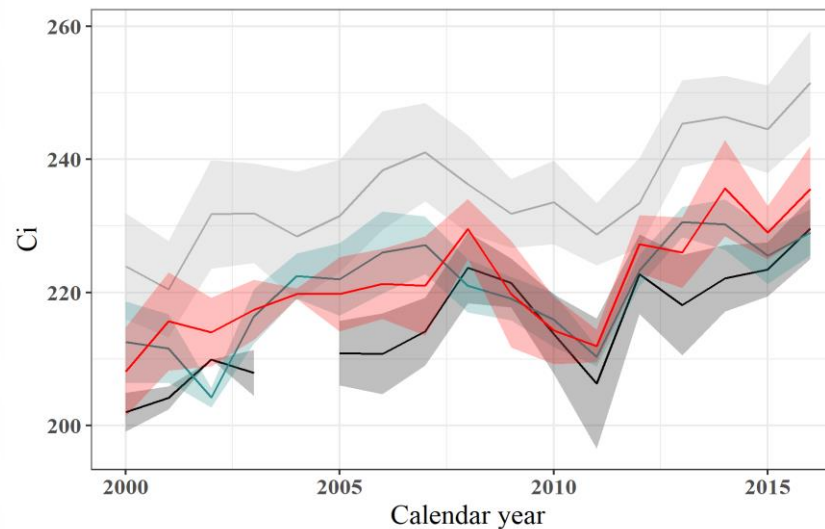
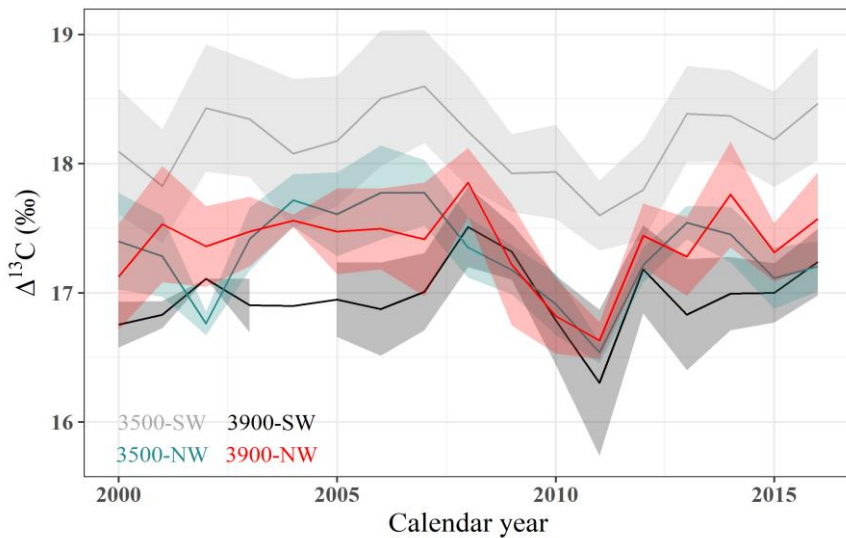
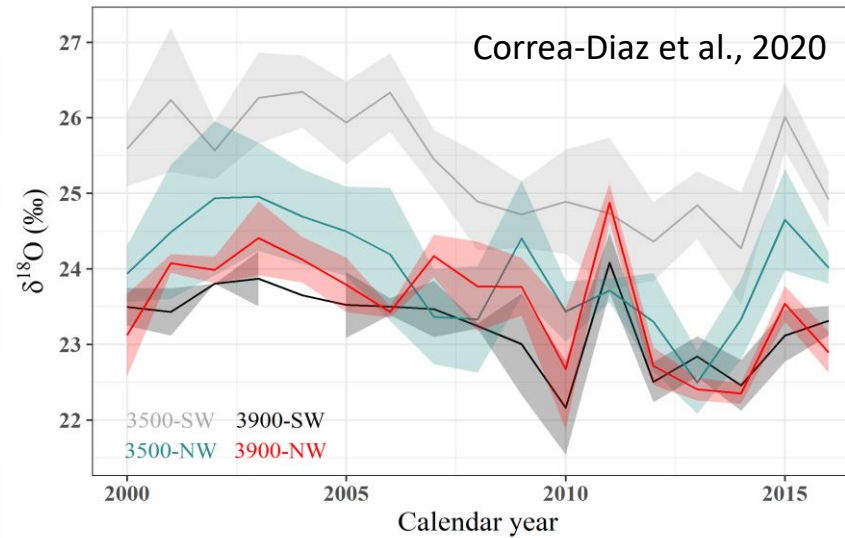
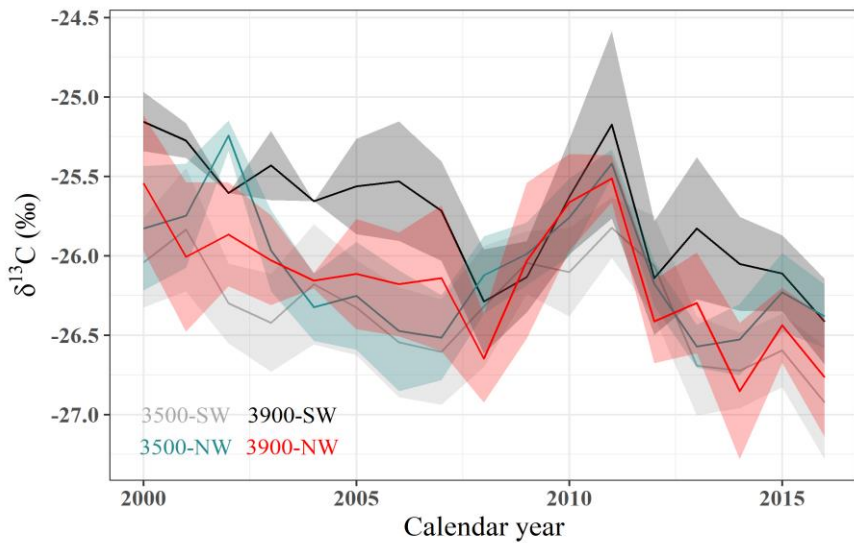




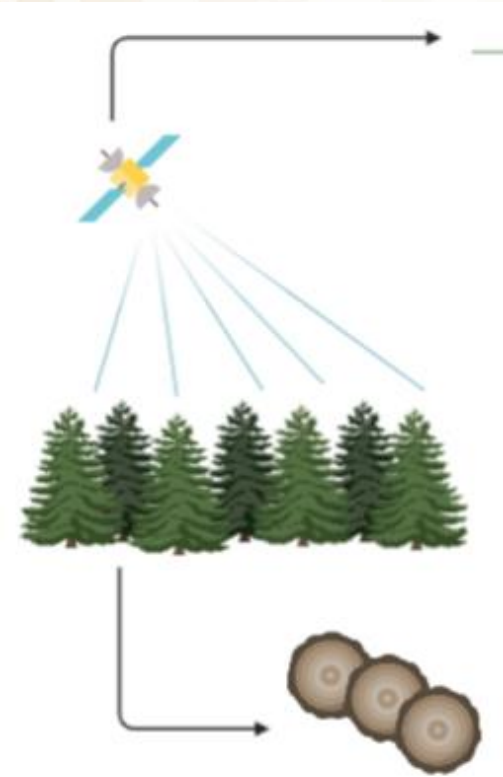
Correa-Diaz et al., 2019

- ✓ Cronología *P. hartwegii* de 1664 a 2016 (1866 a 2016)
- ✓ Periodo Septiembre-Octubre previo (Temperatura) y Mayo (Temperatura y NFFD)
- ✓ Reducción en ritmo de crecimiento en arbolado maduro a partir de 1950
- ✓ Respuesta diferencial con arbolado joven (estímulo en partes bajas)

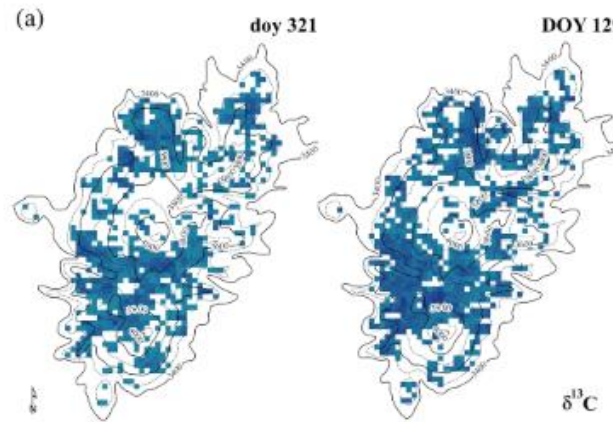
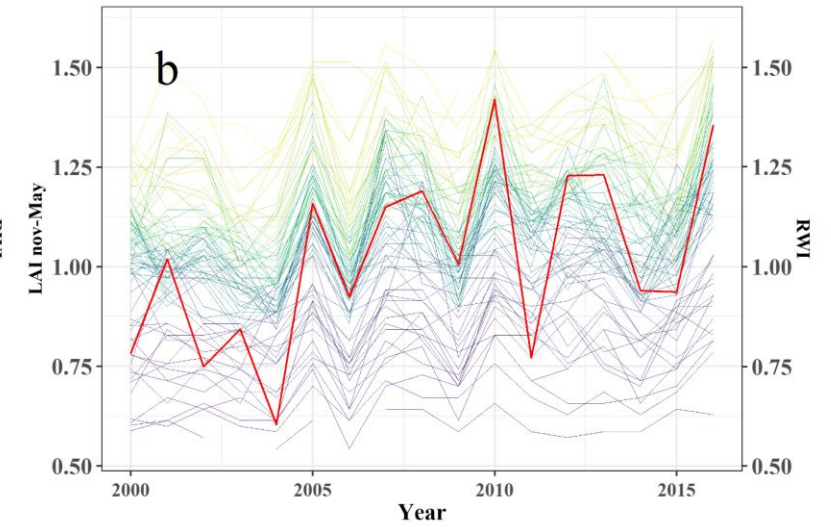
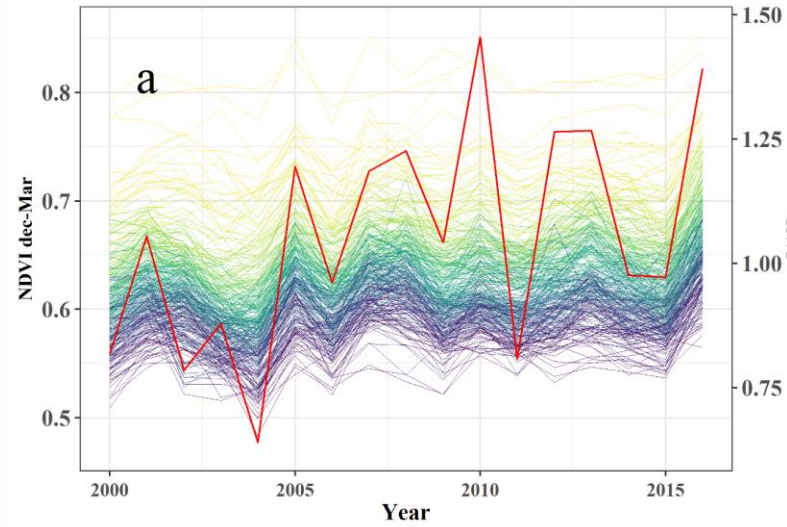
Adaptaciones a lo largo de gradiente altitudinal



- ✓ Respuesta activa del bosque
- ✓ Efecto de sequía en el año 2011
- ✓ Efecto diferencial por rangos de elevación

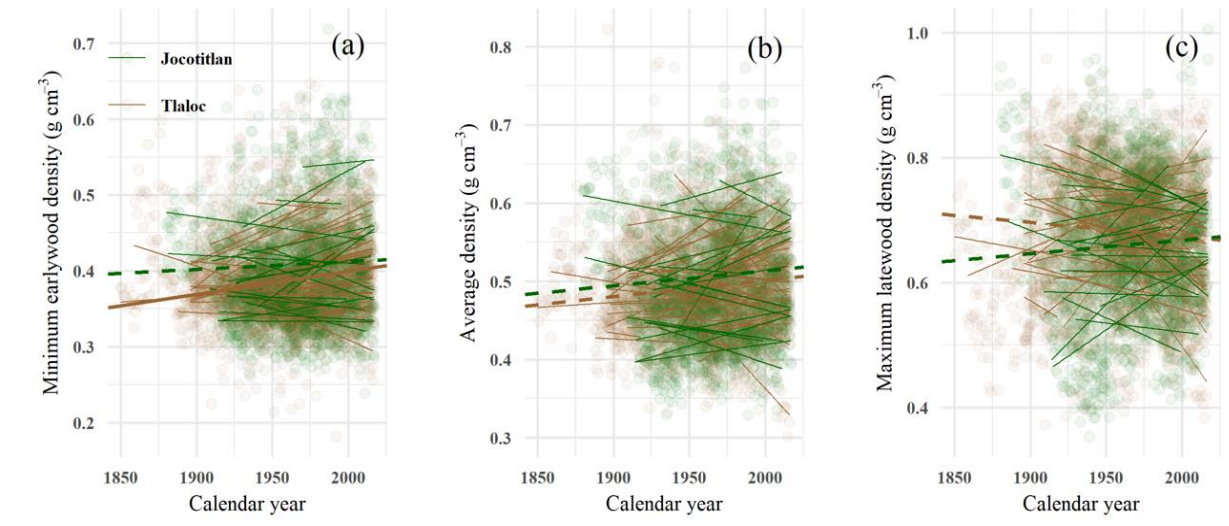
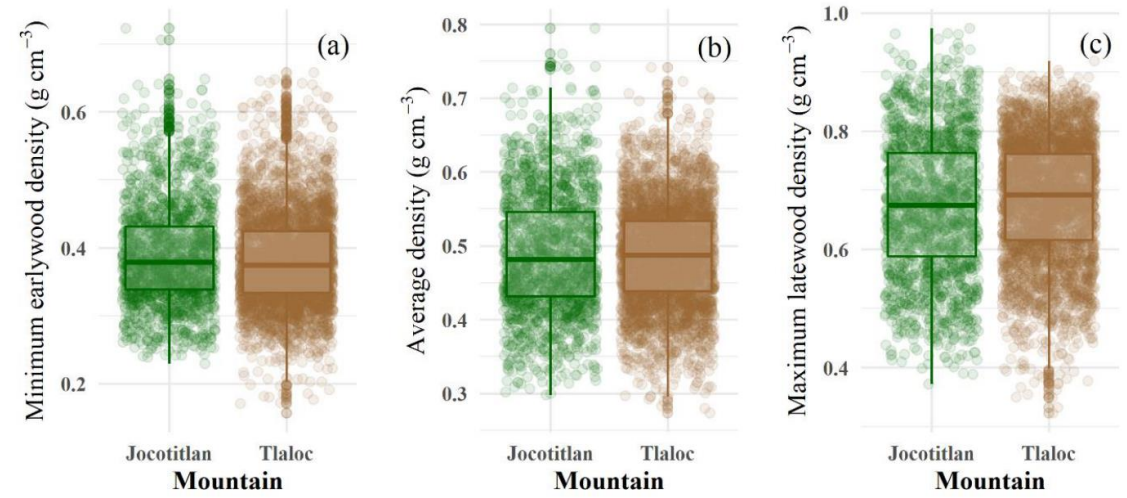
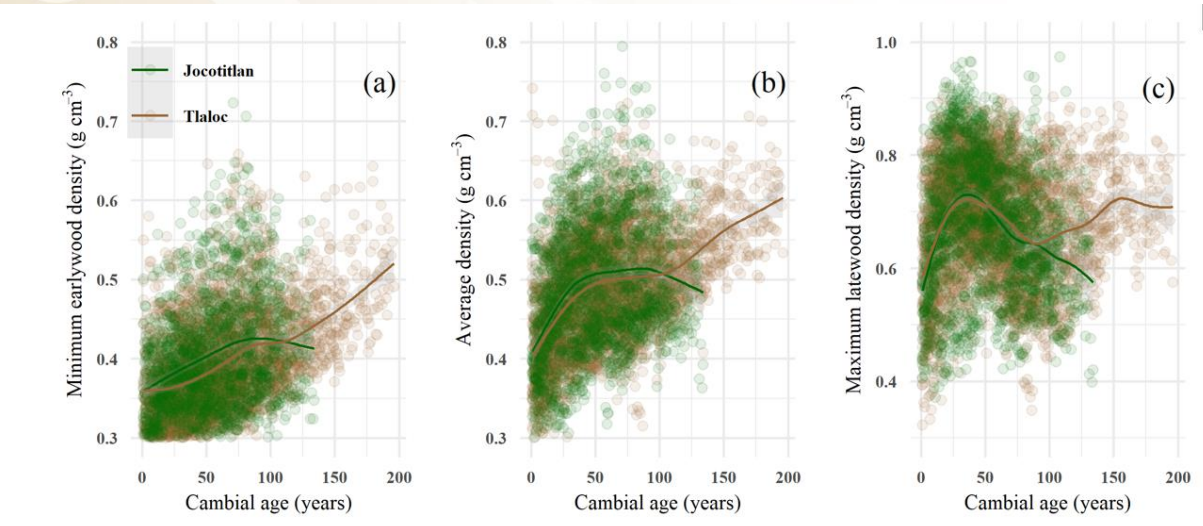


Correa-Diaz et al., 2019



- ✓ Relación entre NDVI y Índice de Ancho de Anillo (RWI)
- ✓ Relación entre NDVI y composición de isótopos estables

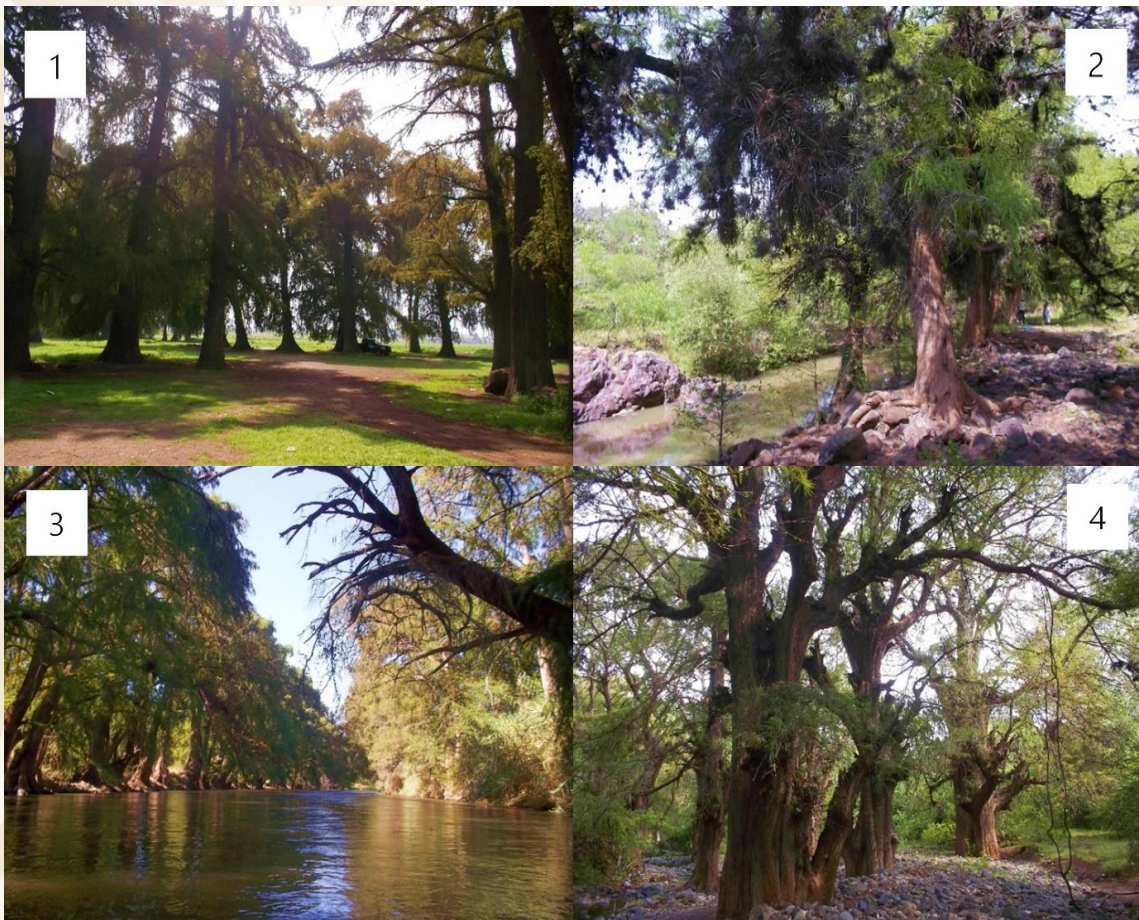
Variaciones en la densidad de la madera



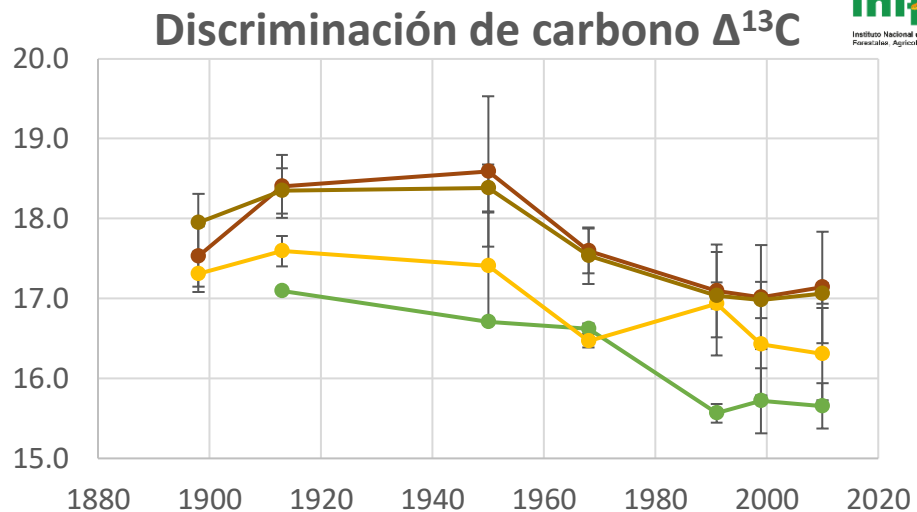
- ✓ Efecto de edad cambial en densidad
- ✓ Anillos más densos después de 1950 (MID y AVE)
- ✓ Anillos menos densos después de 1950 (MXD)

Correa-Díaz et al., 2020

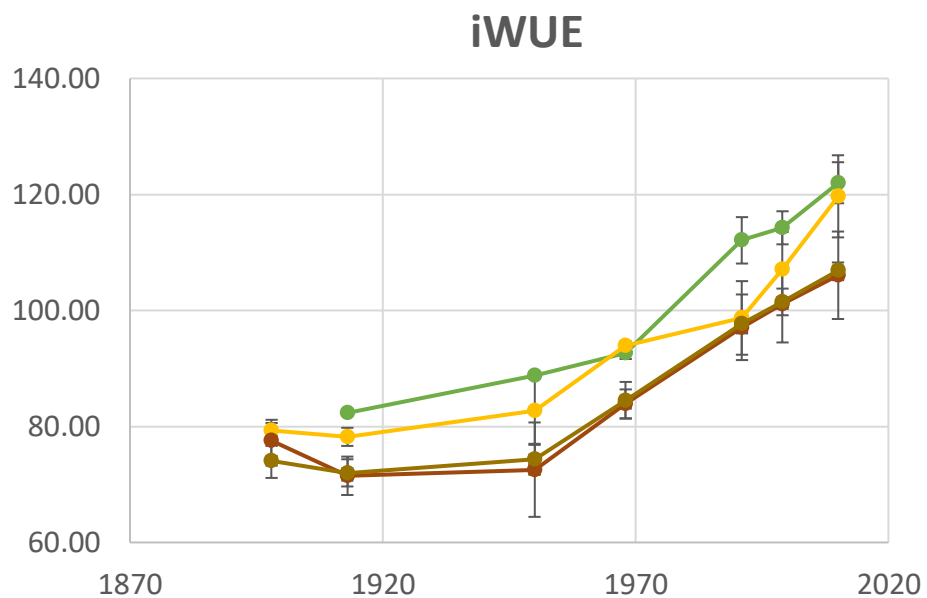
Ecosistemas riparios



Correa-Díaz et al., 2018



inifap
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias



Cambio climático

Bosques y adaptación

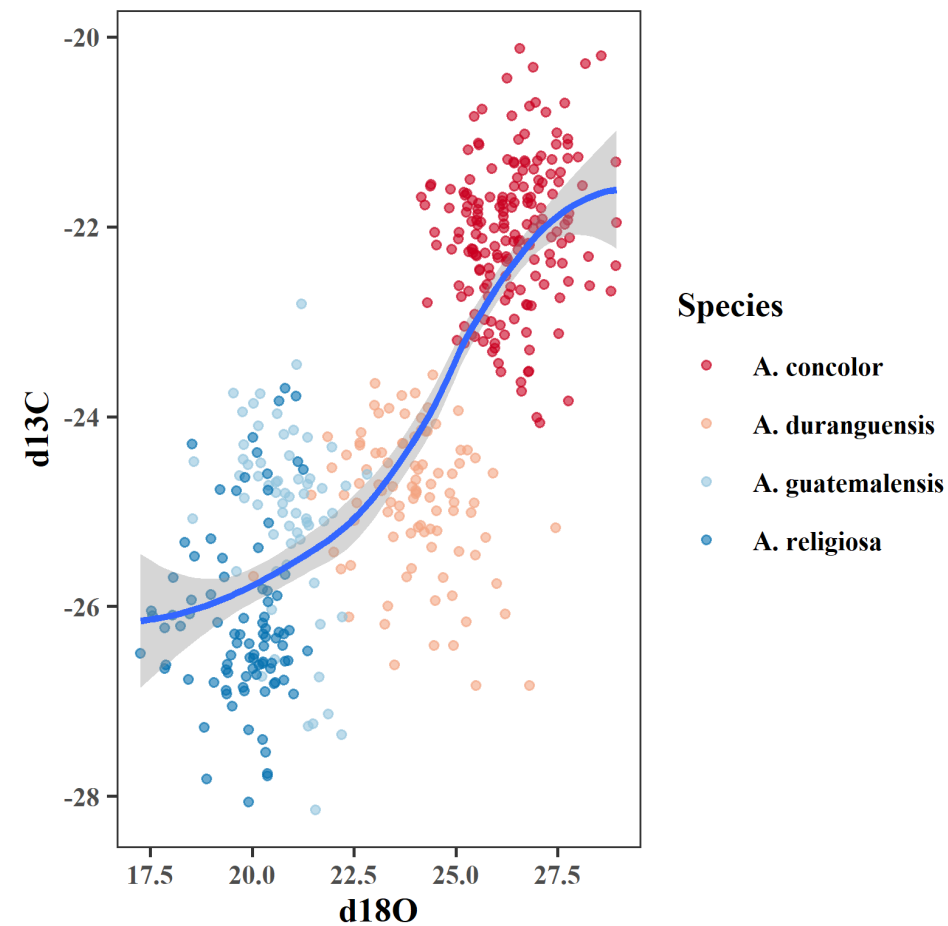
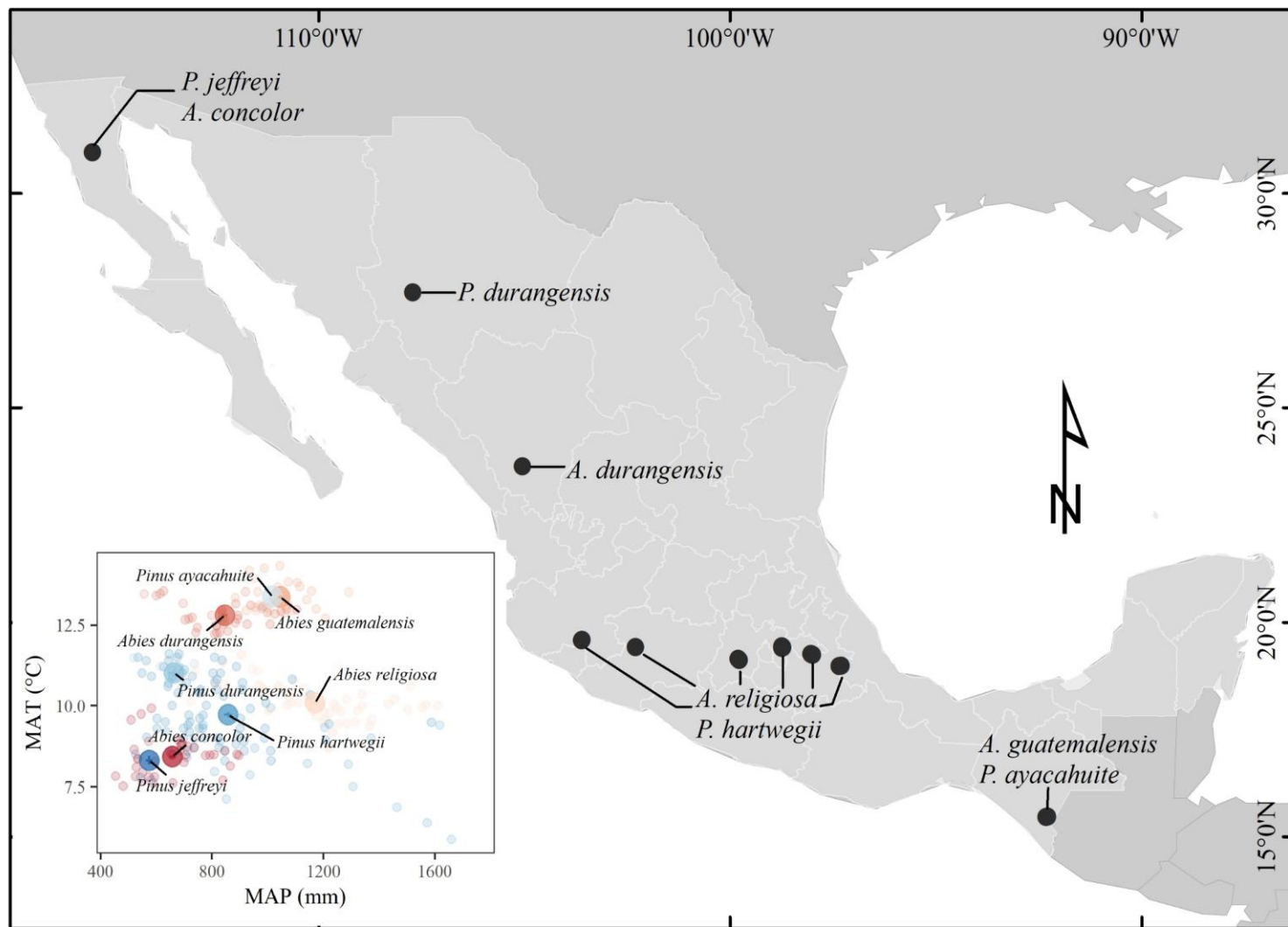
Dendrocronología y otras herramientas

Estudios de caso en México

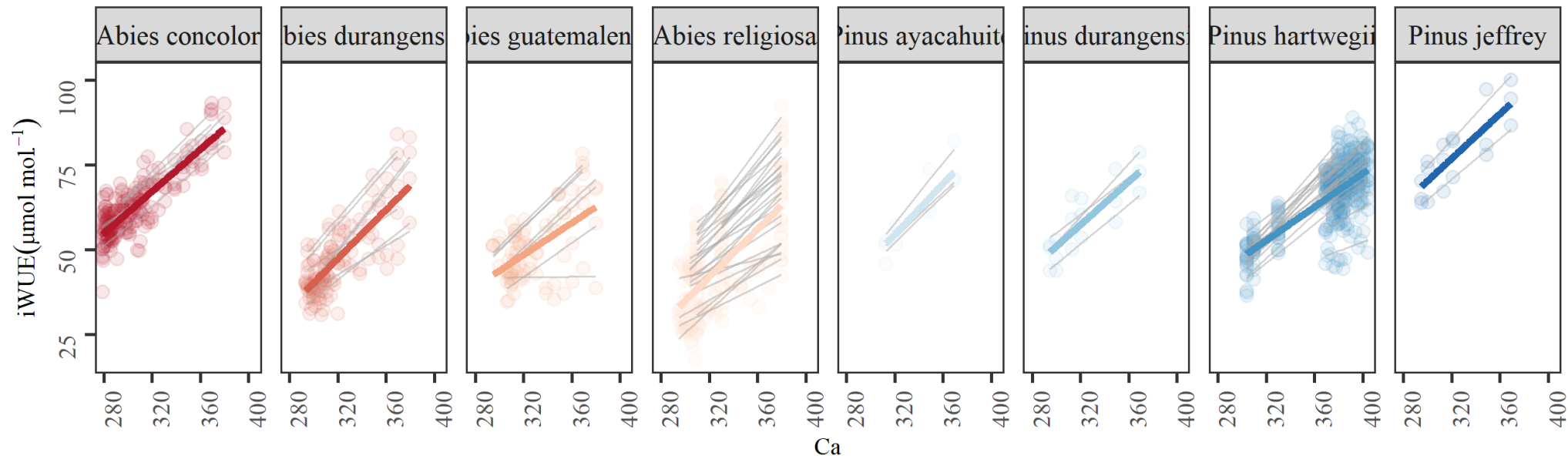
Perspectivas

Conclusiones

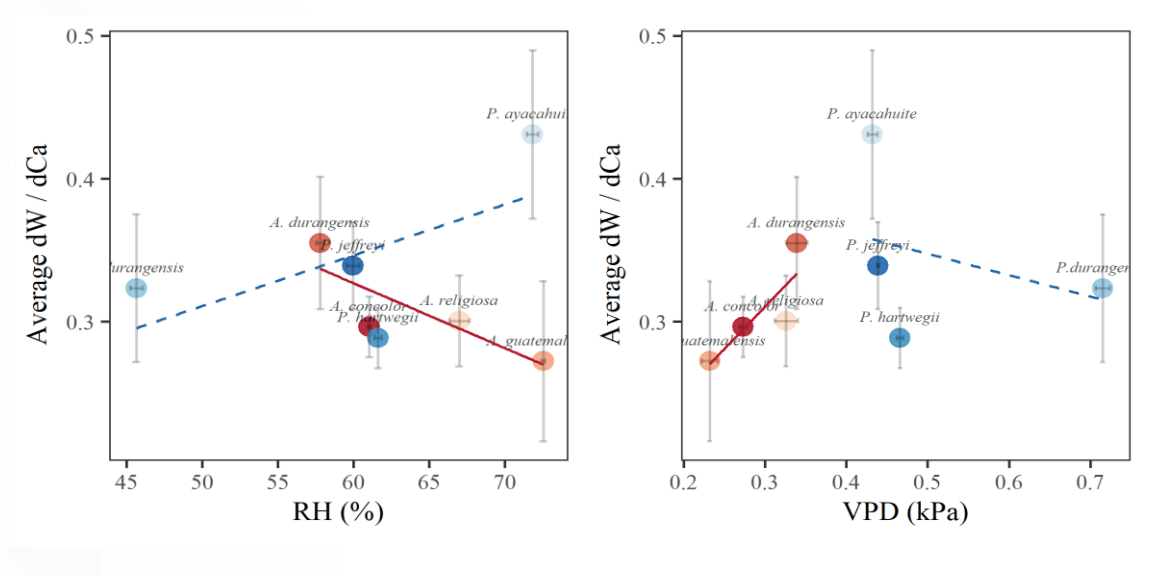
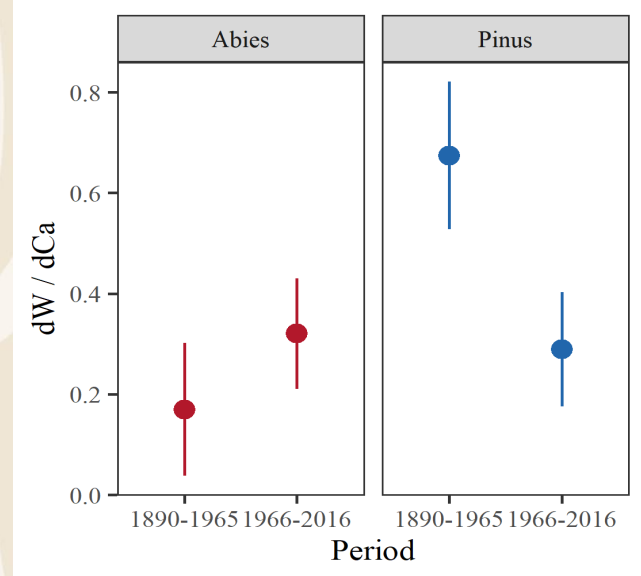
Análisis a nivel transecto nacional (*Abies* vs *Pinus*)



Correa-Diaz et al., *in progress*

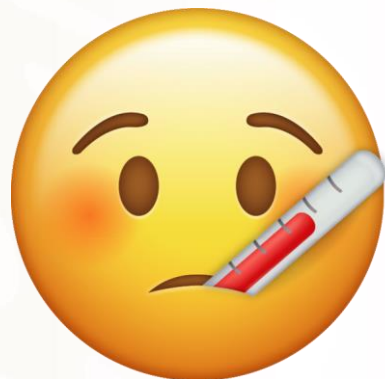


Correa-Diaz et al., *in progress*

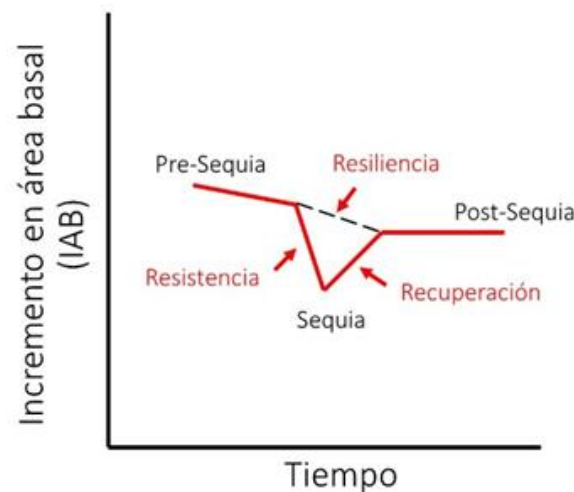


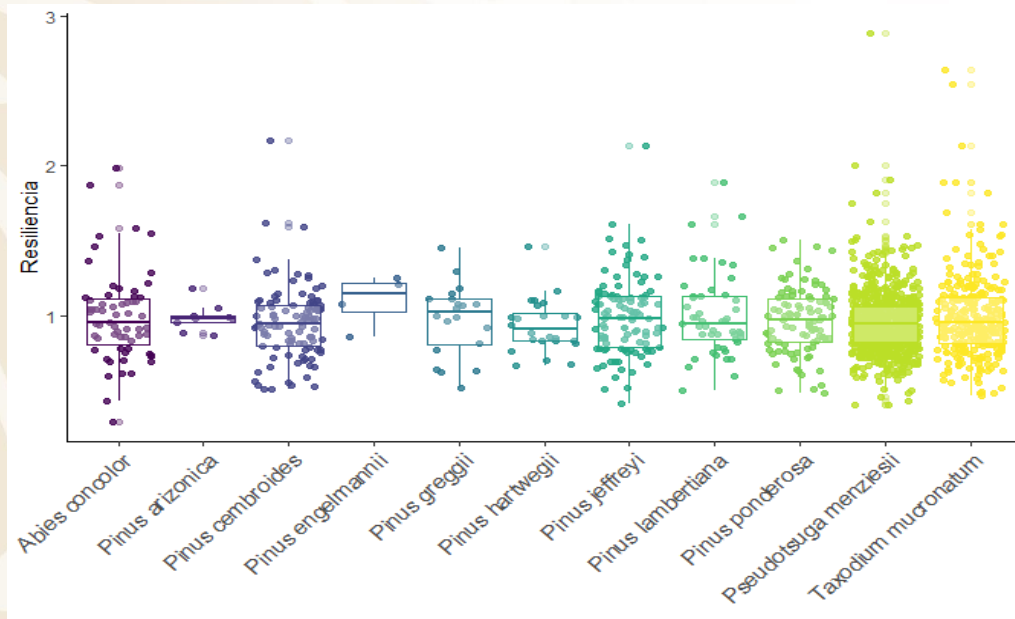
- ✓ Límites de adaptación fisiológica
- ✓ Género *Abies* más sensitivo
- ✓ Humedad relativa y DPV regulan la respuesta

Sequías + Resiliencia + Bosques



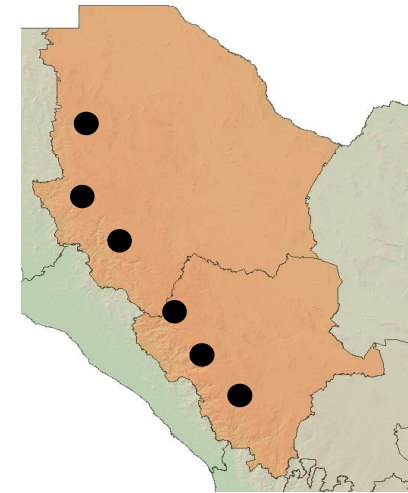
- ✓ Respuesta proactiva del sector forestal
- ✓ Proyecto ETABOS (Evaluación temporal de la adaptación de los bosques templados a sequías)
- ✓ Bosques resilientes, Indicadores de Alerta, Estrategias de manejo que reduzcan la vulnerabilidad





Estudio piloto

- *Chihuahua
- *Durango



- ✓ ¿Qué tan resilientes son los bosques templados en México ante eventos de sequía?
- ✓ ¿Podemos localizar bosques vulnerables?
- ✓ ¿Hasta qué punto la adaptación fisiológica de los árboles puede resistir la intensidad de las sequías?
- ✓ ¿Qué herramientas nos permitirían mejorar la resistencia de los bosques ante sequías?

Conclusiones



- ✓ El cambio climático es una de las principales amenazas a ecosistemas naturales (bosques)
- ✓ No todos los bosques responden igual frente al cambio climático
- ✓ Respuesta activa a nivel fisiológico en México:
↓ Discriminación 13C y ↑ iWUE
- ✓ Diferente respuesta a nivel Género
- ✓ Género *Abies* más sensitivo a la variación climática
- ✓ La dendrocronología junto el uso de otras herramientas nos permite un análisis retrospectivo a diferentes escalas espacio-temporales
- ✓ Efecto de las sequías en la resiliencia de los bosques
- ✓ Importancia de contar con indicadores de alerta temprana
- ✓ Respuesta proactiva del sector forestal

¡GRACIAS!

correa.arian@inifap.gob.mx

- ✓ Dr. Armando Gómez Guerrero (CP)
- ✓ Dr. José Villanueva Díaz (INIFAP)
- ✓ Dr. Luis Castruita Esparza (UACH)
- ✓ Dr. Jesús Vargas Hernández (CP)
- ✓ Dr. William Horwath (UC Davis)
- ✓ Dr. Lucas Silva (U Oregon)
- ✓ Dr. Philippe Rozenberg (INRA)
- ✓ Dr. Martha Elva Ramírez Guzmán (CP)
- ✓ Dr. Javier Suárez Espinosa (CP)
- ✓ Dr. Alejandro Velázquez Martínez (CP)



AGRICULTURA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL

inifap
Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

