



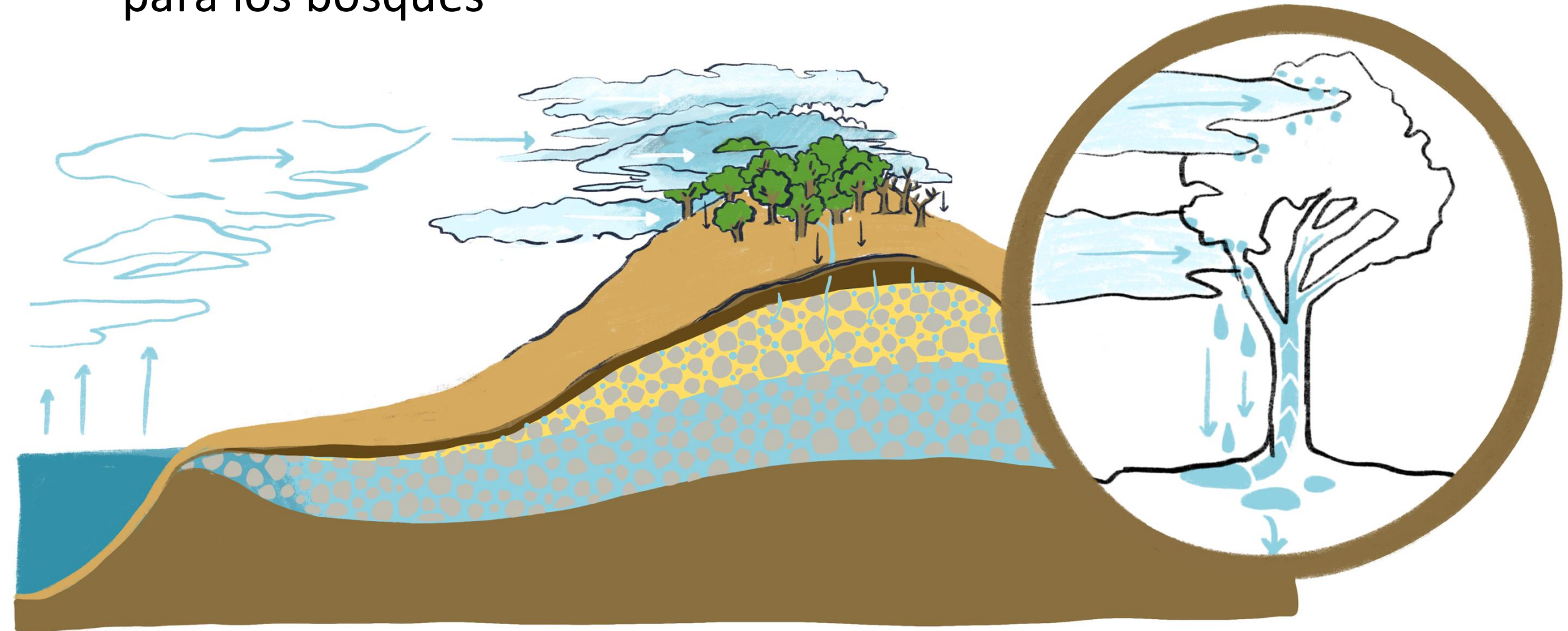
# **Semi-arid coastal basins as indicators of climate crisis adaptation (SACBAD)**

## **Objetivo 2**

# **Rol de la niebla costera en el funcionamiento de los bosques en la región semiárida**



Se ha reconocido que la **formación de niebla** en las cuencas costeras semiáridas constituye una importante fuente de agua para los bosques



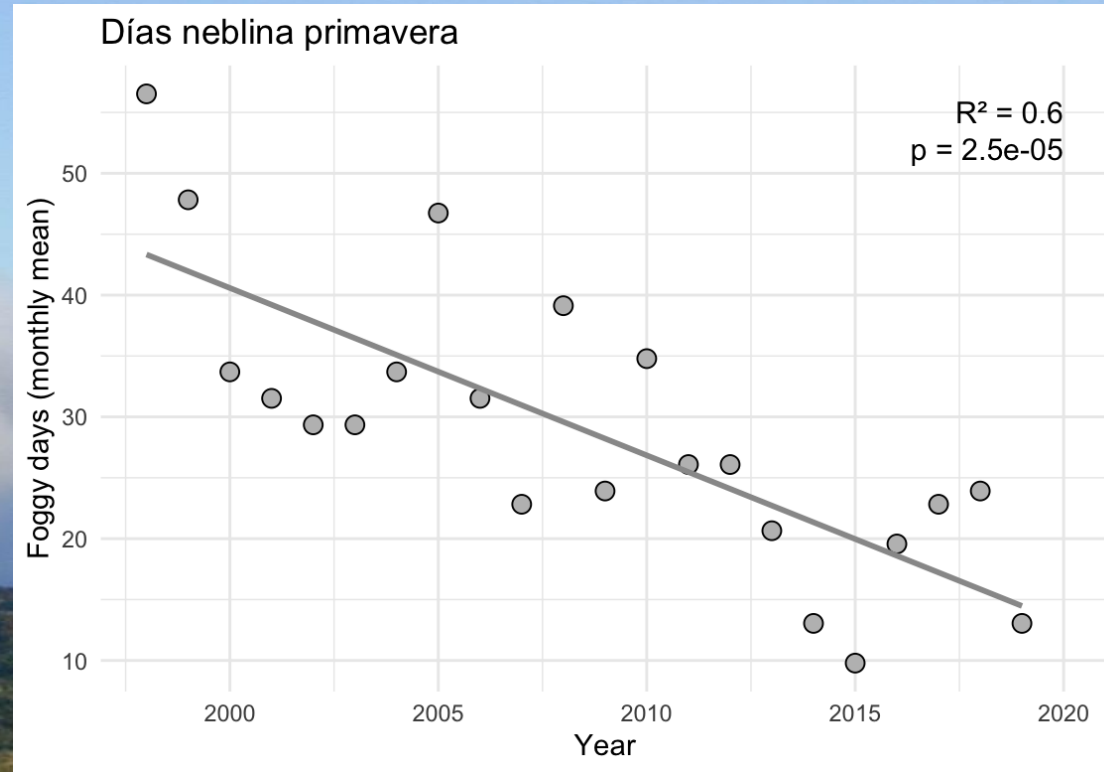


- Bosques de tipo Mediterráneo & relictos de bosques de tipo valdiviano
- Hot-spots de biodiversidad
  - Biota endémica y rica en especies
  - Alto impacto de actividades humanas

**Si la intercepción de la niebla es relevante para el mantenimiento de los bosques, podría funcionar como amortiguador del estrés por sequía.**



# Pero...



¿En qué medida puede la niebla amortiguar los efectos de la sequía y evitar que los bosques superen puntos de inflexión críticos?



# Aproximaciones (escala local)

- Determinamos factores relacionados con el uso y fuentes de agua del bosque
  - ¿Qué factores controlan el patrón del movimiento de agua de los árboles?
  - ¿Cuándo, donde y cuánta agua usa el bosque?



# Aproximaciones (escala de paisaje)

- Evaluamos la resiliencia de los bosques:
  - ¿Cómo respondieron estos bosques a las condiciones de extrema sequía de 2019?
  - ¿Muestran los bosques indicios de una posible transición hacia un estado ecosistémico alternativo (e.g. matorral) provocado por las sequías?

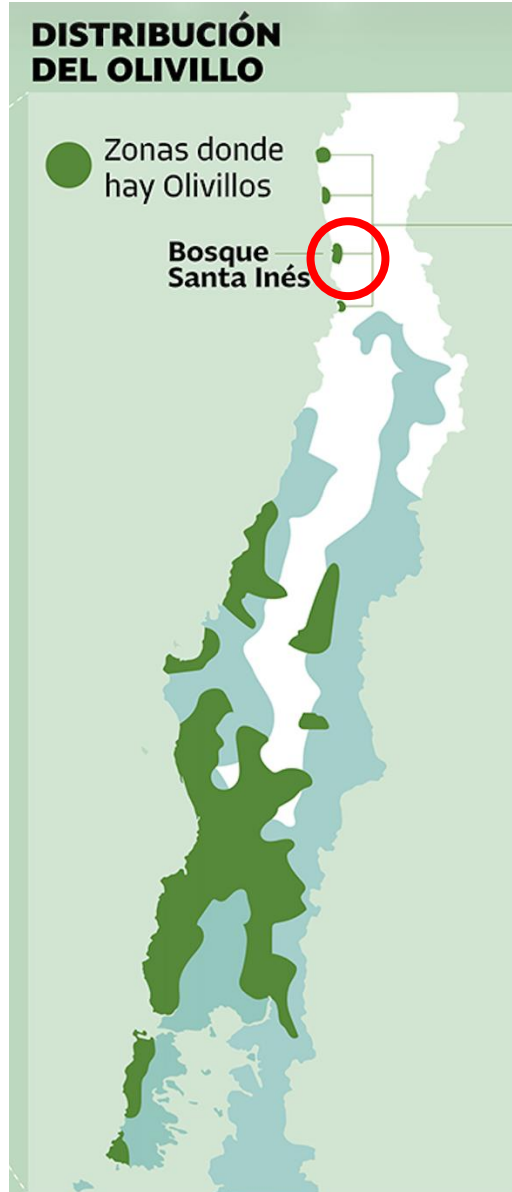
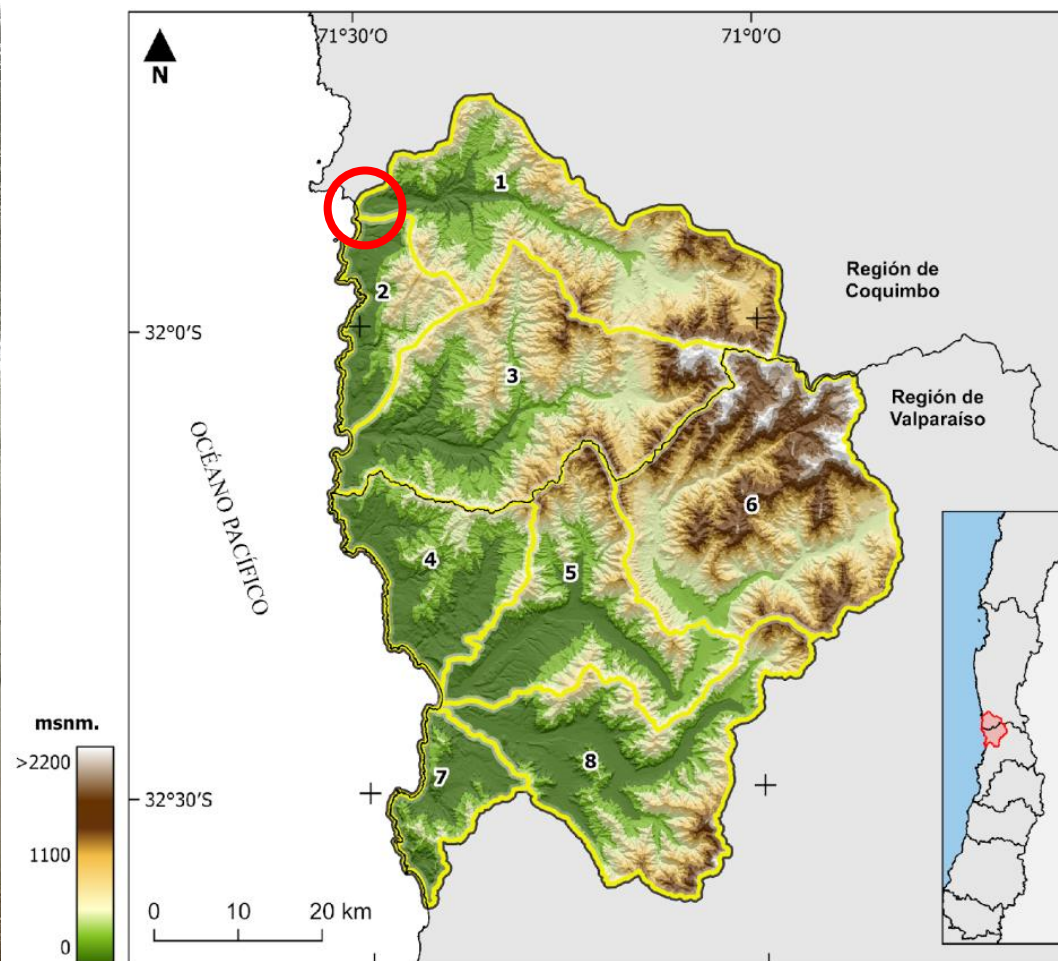
The background image shows a misty landscape. In the foreground, there is a field of purple flowers. Behind the flowers, a line of large, leafy trees stands. The background is hazy and white, suggesting a misty or foggy day. The text is overlaid on this scene.

# Aproximación local

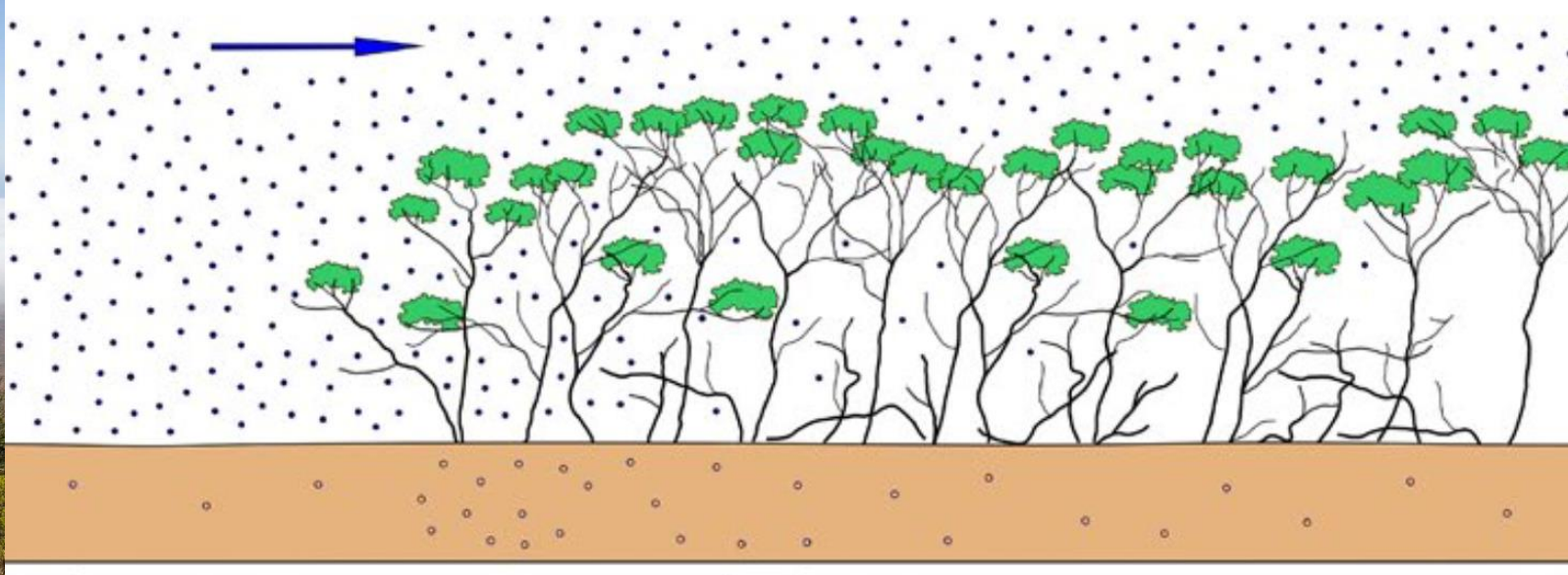
Bosque de Santa Inés

Aurora Gaxiola, Álvaro G. Gutiérrez, Víctor García,  
Ignacio Núñez-Hidalgo, Sebastián Vicuña & Adrian  
Rocha

# Bosque de Santa Inés



Olivillo costero: *Aextoxicon punctatum* (olivillo), *Cryptocarya alba* (peumo), *Myrceugenia correifolia* (petrillo), *Citronella mucronata* (naranjillo).



Fog droplets

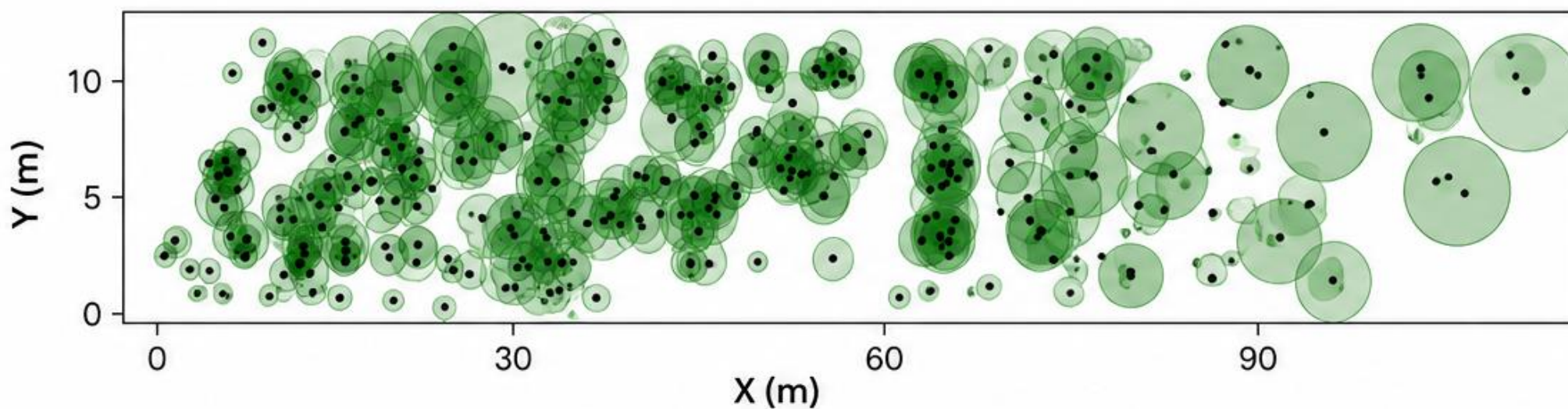


Soil moisture

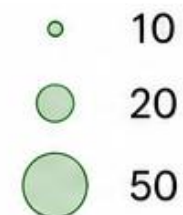
Del Val et al. 2006;  
Macek et al. 2015

La densidad disminuye y el tamaño de los árboles aumenta hacia el interior del bosque

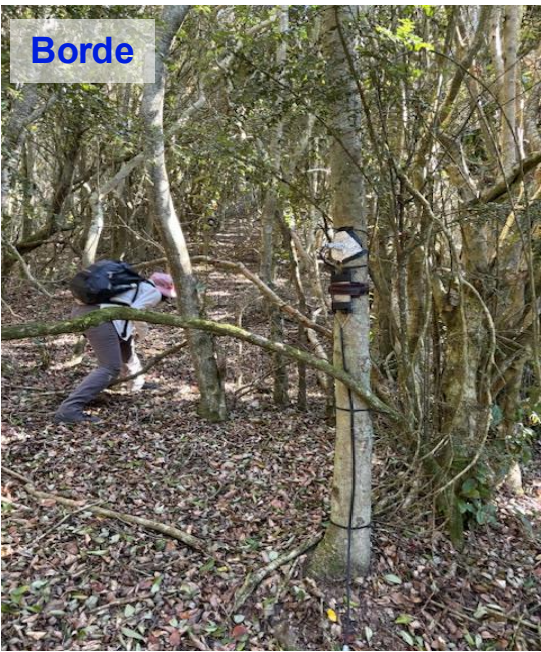
BORDE  INTERIOR



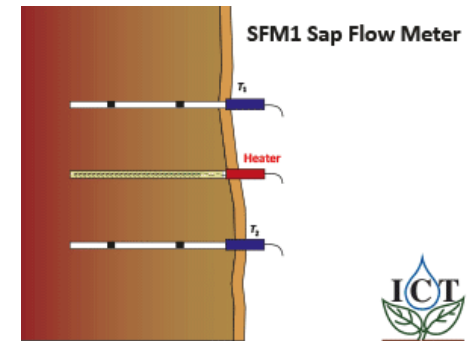
Cada círculo representa un árbol en función del diámetro a la altura del pecho (cm)



Borde



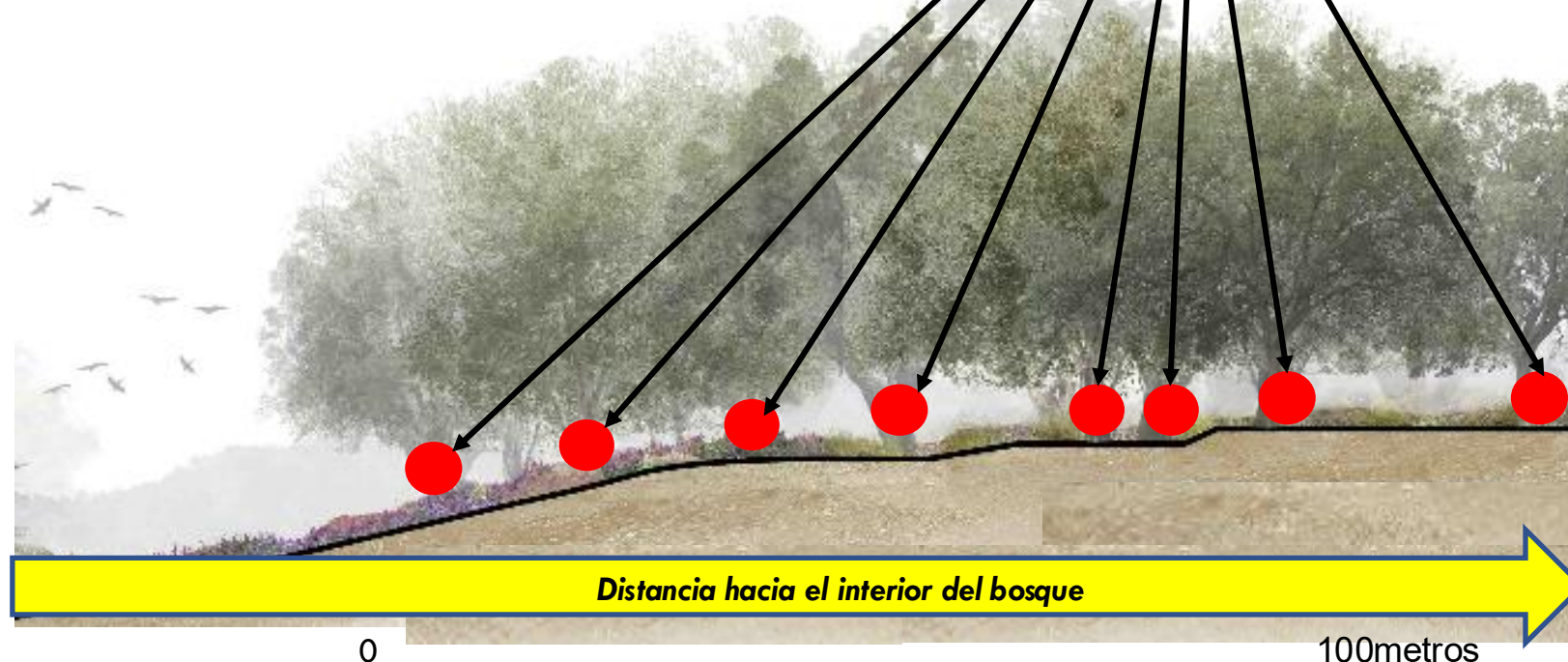
Monitoreamos los flujos de agua,  
microclima, suelo de los arboles a lo largo  
del gradiente



[Click Here For More Information](#)



Interior

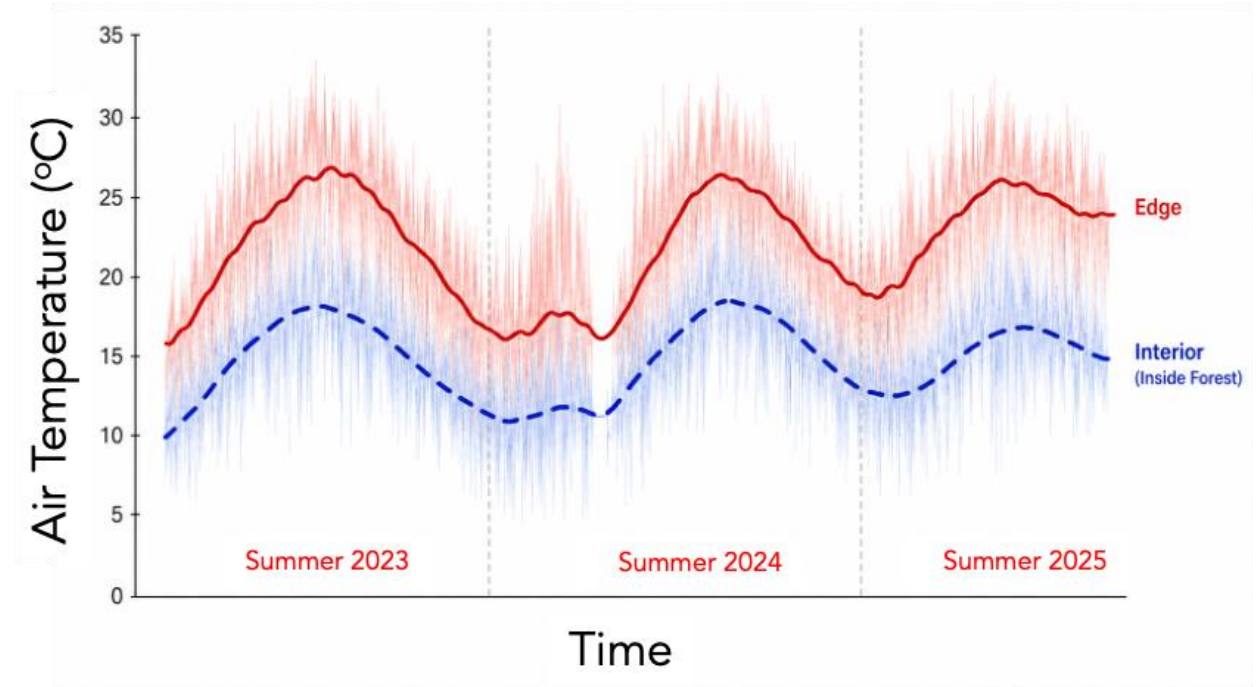
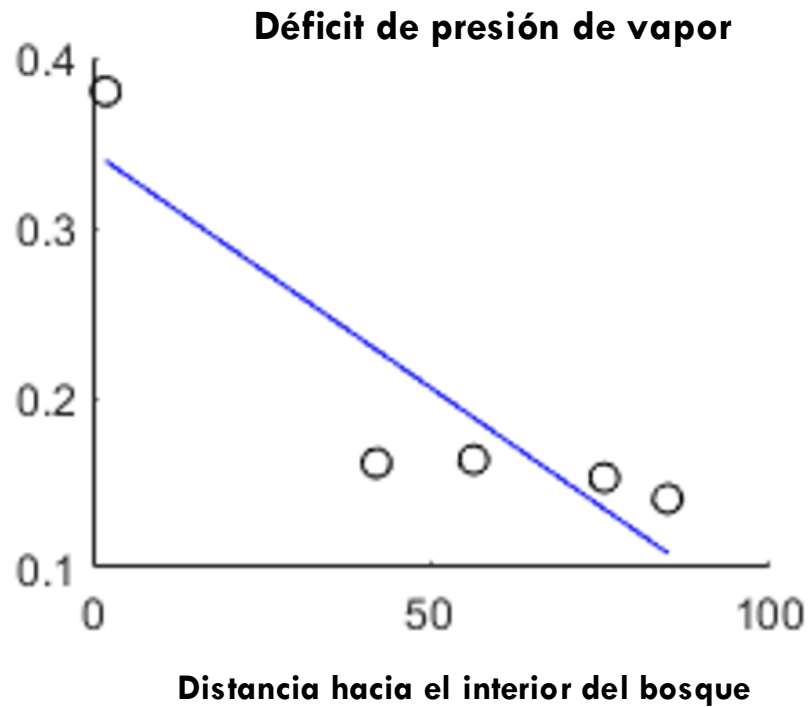




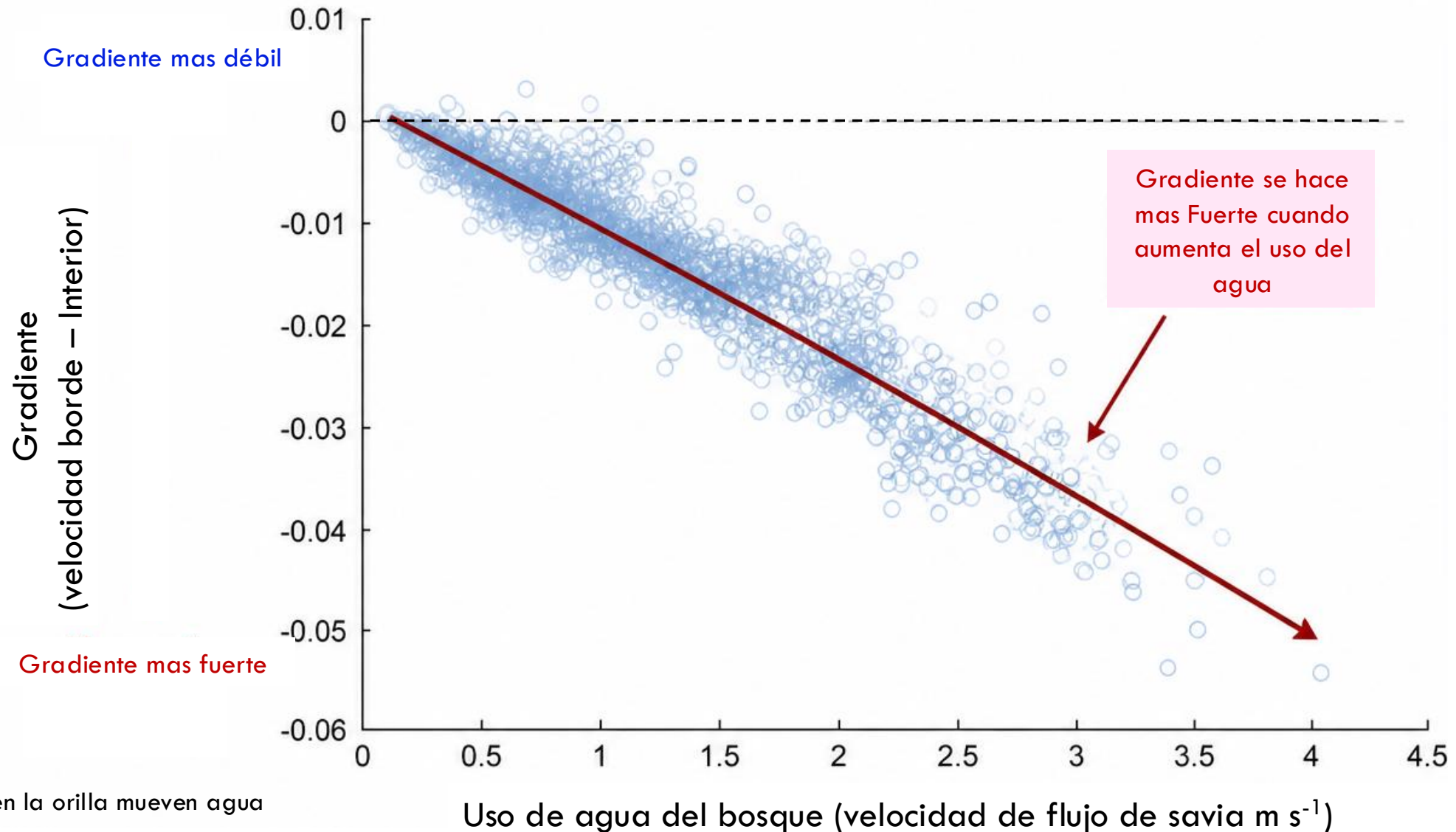
## Monitoreo del bosque de Santa Inés



Las variables ambientales cambian desde el centro del fragmento hacia el borde



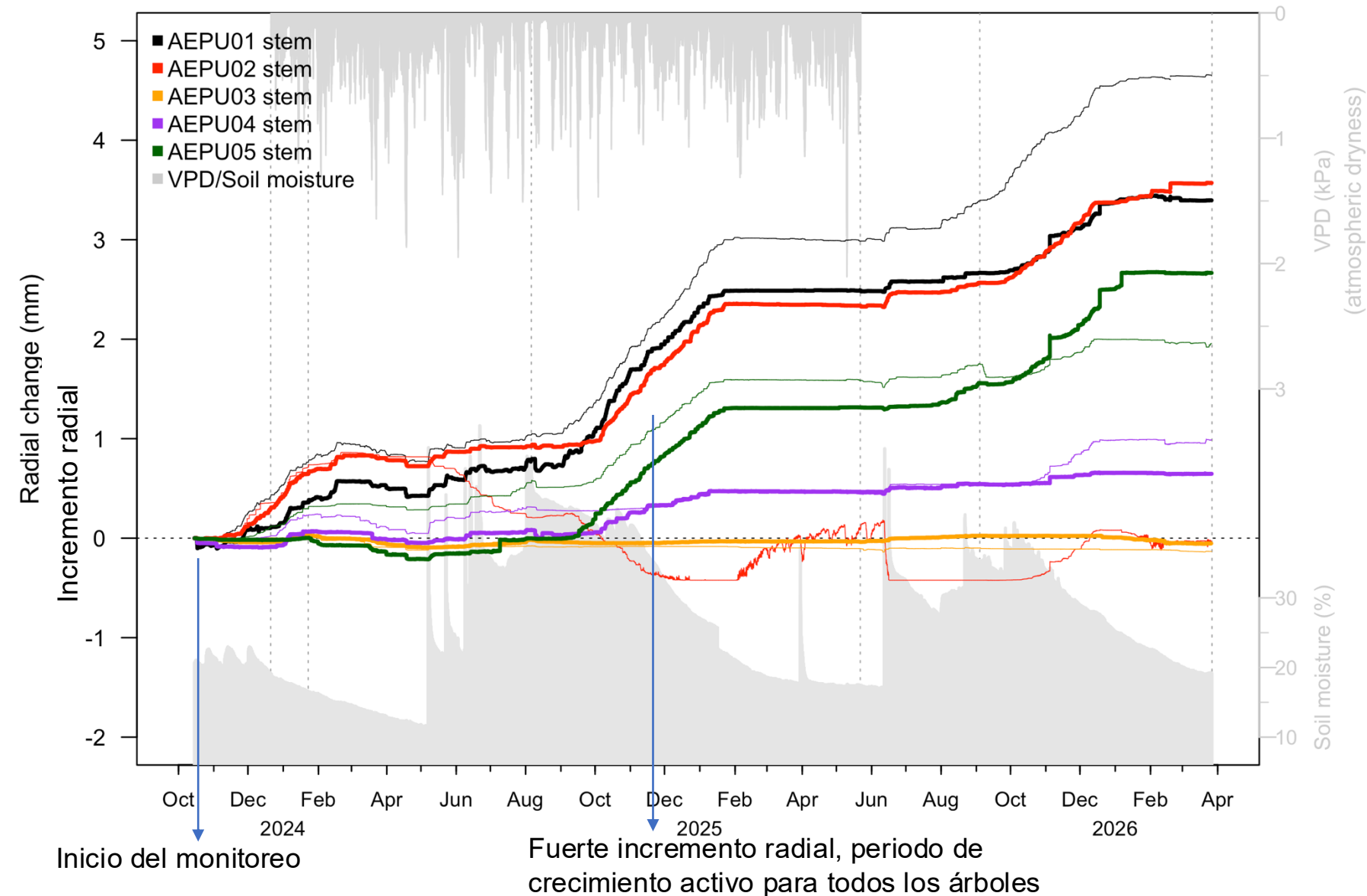
Cuando el flujo de savia es bajo hay poca diferencia entre el interior y el borde del bosque:  
diferencias espaciales son amplificadas cuando la transpiración es mayor



Los árboles en la orilla mueven agua más rápido, pero mueven menos agua

# Árboles expresan su tasa máxima de crecimiento radial durante primavera

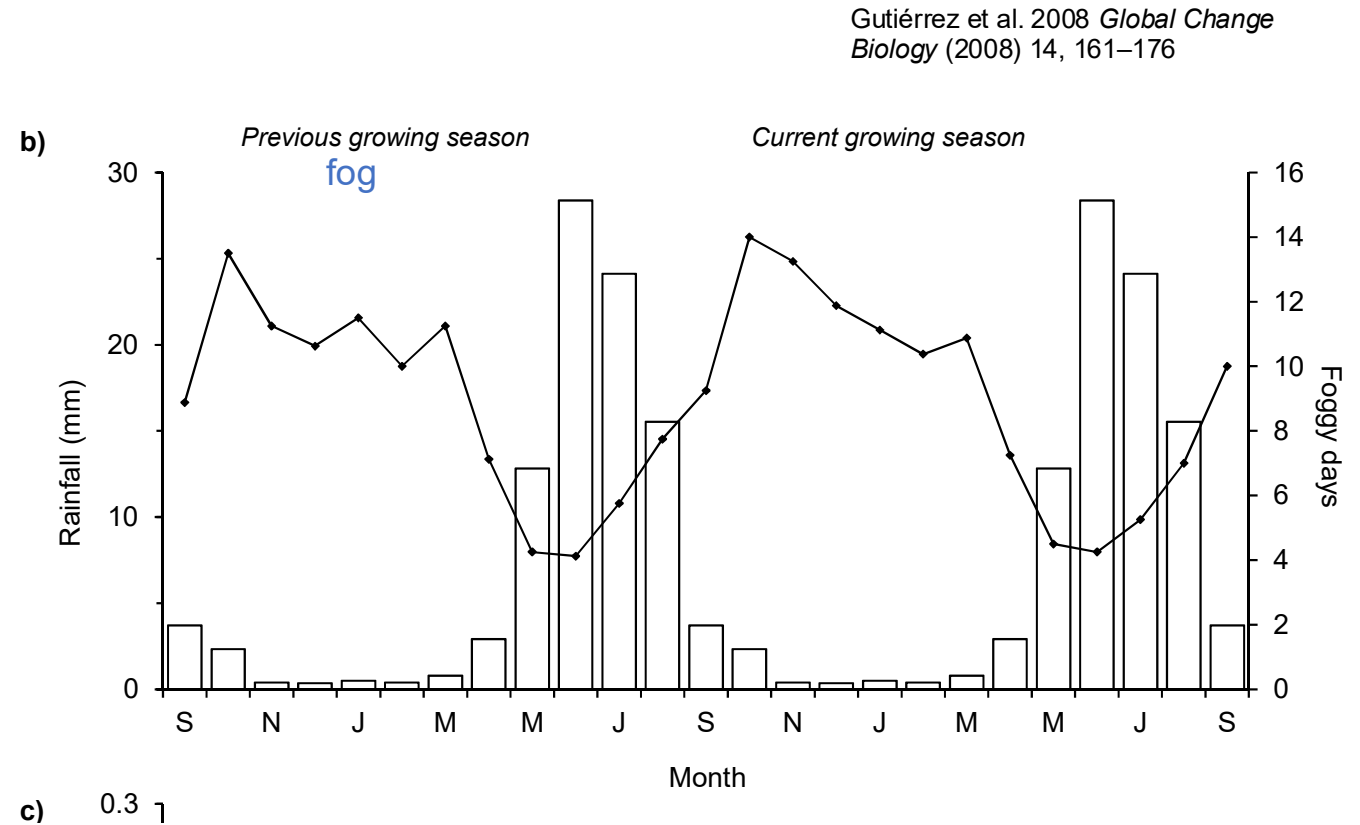
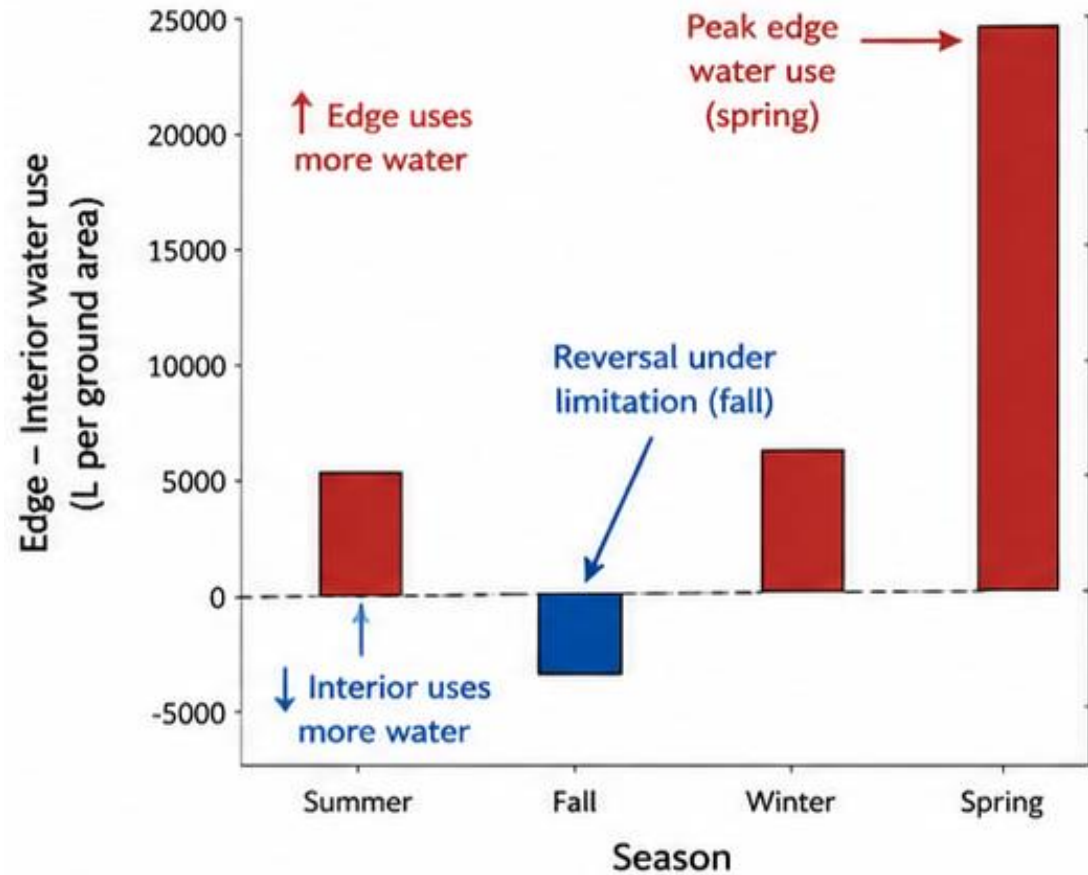
*Aextoxicon punctatum* @CL\_STI



Invierno / inicio de primavera: el flujo de agua aumenta antes de que el crecimiento sea evidente: hidratación del xilema, formación de hojas y activación fotosintética.

Fin de verano / otoño: el flujo disminuye con el cierre de la temporada seca (aporte de neblina), coincidiendo con el fin del crecimiento en febrero.

Los árboles cerca del borde utilizan mucha más agua que los del interior y particularmente durante primavera.



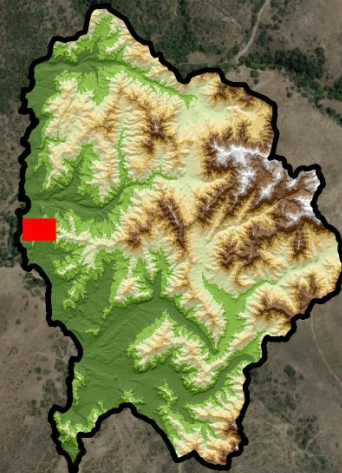
# Conclusiones de la aproximación local

- El bosque de Santa Inés mantiene actividad durante el año gracias a la combinación entre agua del suelo y aporte de niebla, lo que ayuda a amortiguar la sequía estacional.
- Las diferencias entre interior y borde se hacen más evidentes cuando aumenta la transpiración, mostrando que el microambiente del fragmento regula cuánto y qué tan rápido los árboles mueven agua.
- Los modelos simples que asumen una relación directa entre transpiración y crecimiento pueden subestimar la capacidad del bosque para mantenerse bajo condiciones de sequía.

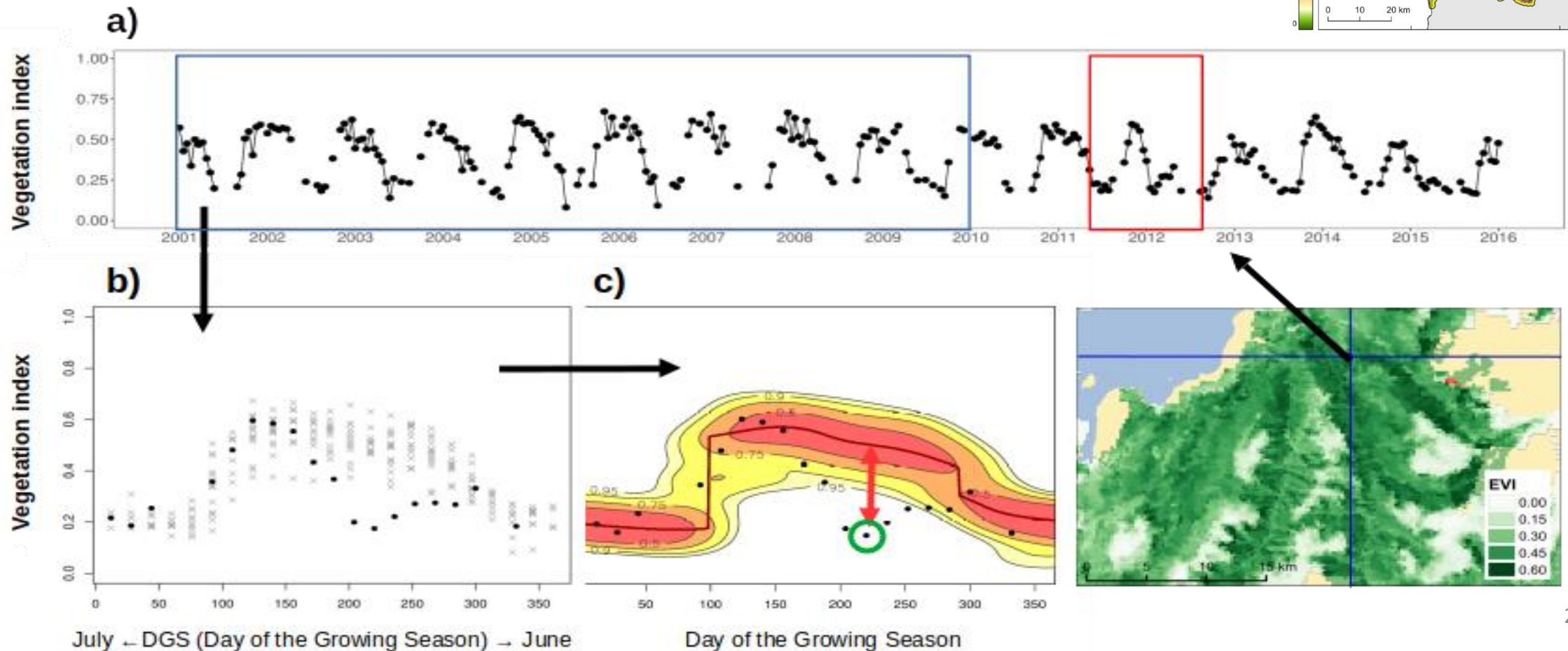
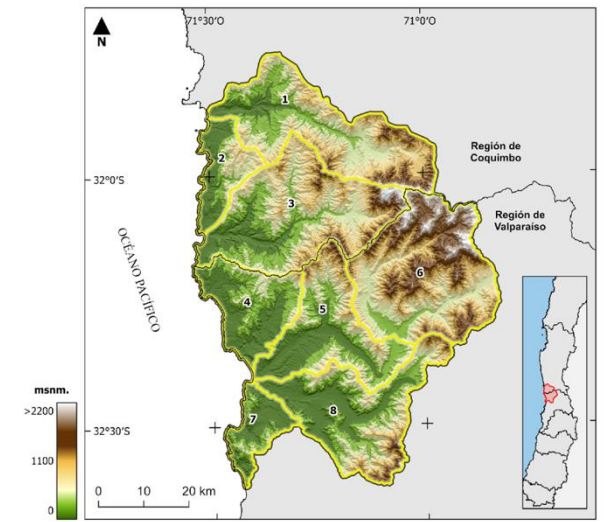
An aerial photograph of a mountainous landscape. A large area is outlined in green, and several smaller areas within this boundary are outlined in red. The terrain is rugged with varying shades of brown and green.

# Aproximación a escala de paisaje

Alvaro G. Gutiérrez, Aurora Gaxiola,  
Roberto Chávez, Ignacio Nuñez-  
Hidalgo, Pedro Zuñiga, Martín Pérez-  
Evans, Camilo del Río



# Métodos: análisis fenológico

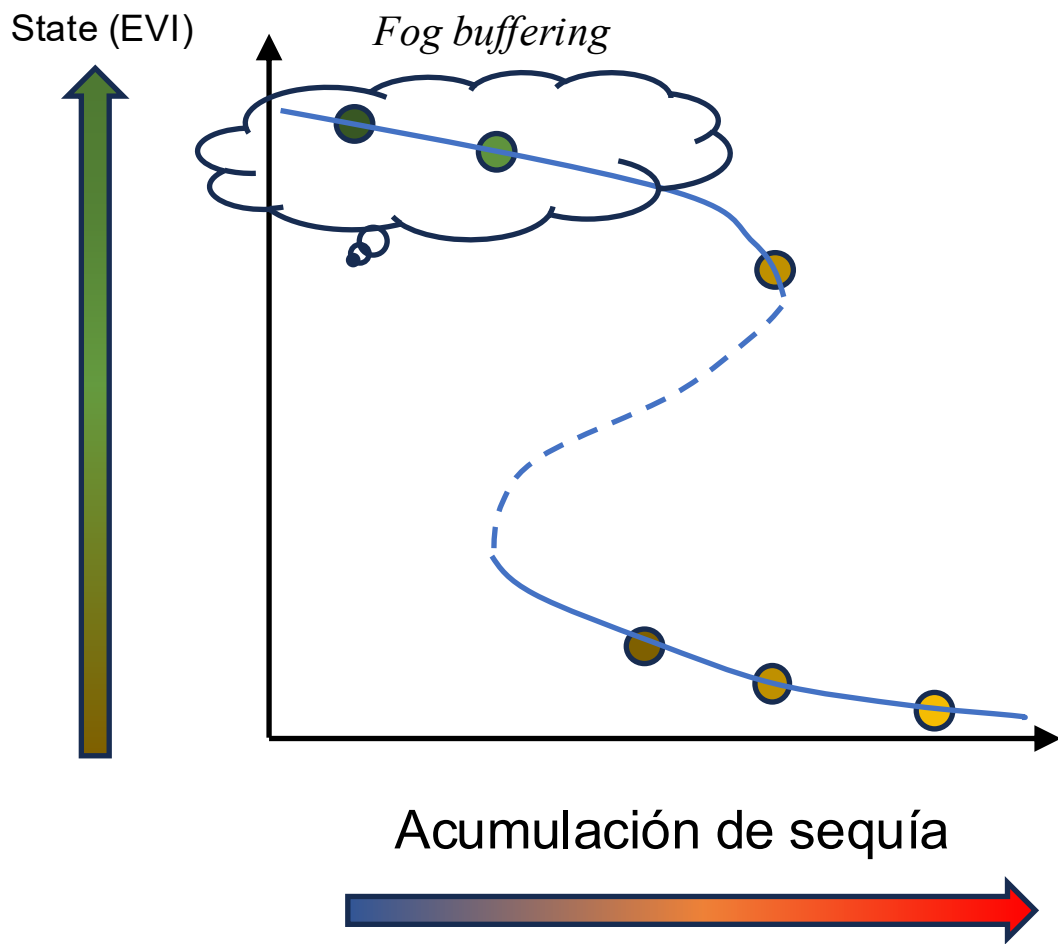


# Métodos: análisis de resiliencia ecológica

| Metric                                | Formulation                                                           |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| First order autocorrelation lag (AR1) | $\rho_1 = \frac{E[(z_t - \mu)(z_{t+1} - \mu)]}{\sigma_z^2}$           |
| <u>Varianza</u> (Var)                 | $SD = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (z_i - \mu)^2$ $CV = \frac{SD}{\mu}$ |
| Restoring Rate $\lambda$              | $x_{t+1} = a + p x_t + \varepsilon_t$ $\lambda = p - 1$               |

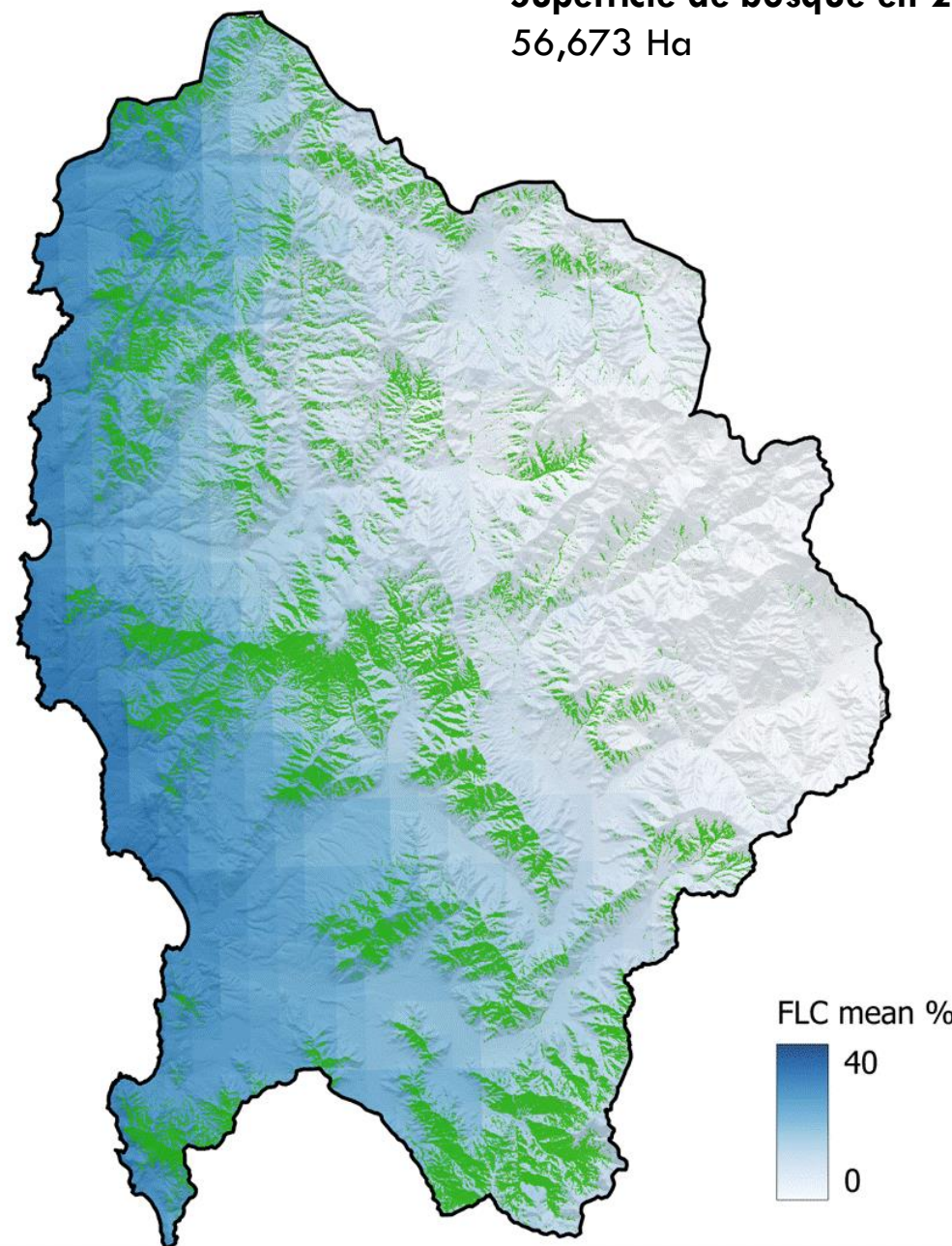
- Combinamos múltiples índices derivados de datos satelitales, contrastando el periodo anterior a 2010 con los años de megasequía posteriores.
- Análisis de series de tiempo.
- Las señales de alerta temprana y los indicadores de desaceleración crítica se calcularon utilizando ventanas móviles de 15 años.

Scheffer et al. 2012. PNAS; Dakos et al. 2012. PloS One  
Boers 2021. Nat Clim Change; Boettner & Boers. 2022. Phys Rev Res  
Bathiany et al. 2025. Surveys in Geophysics

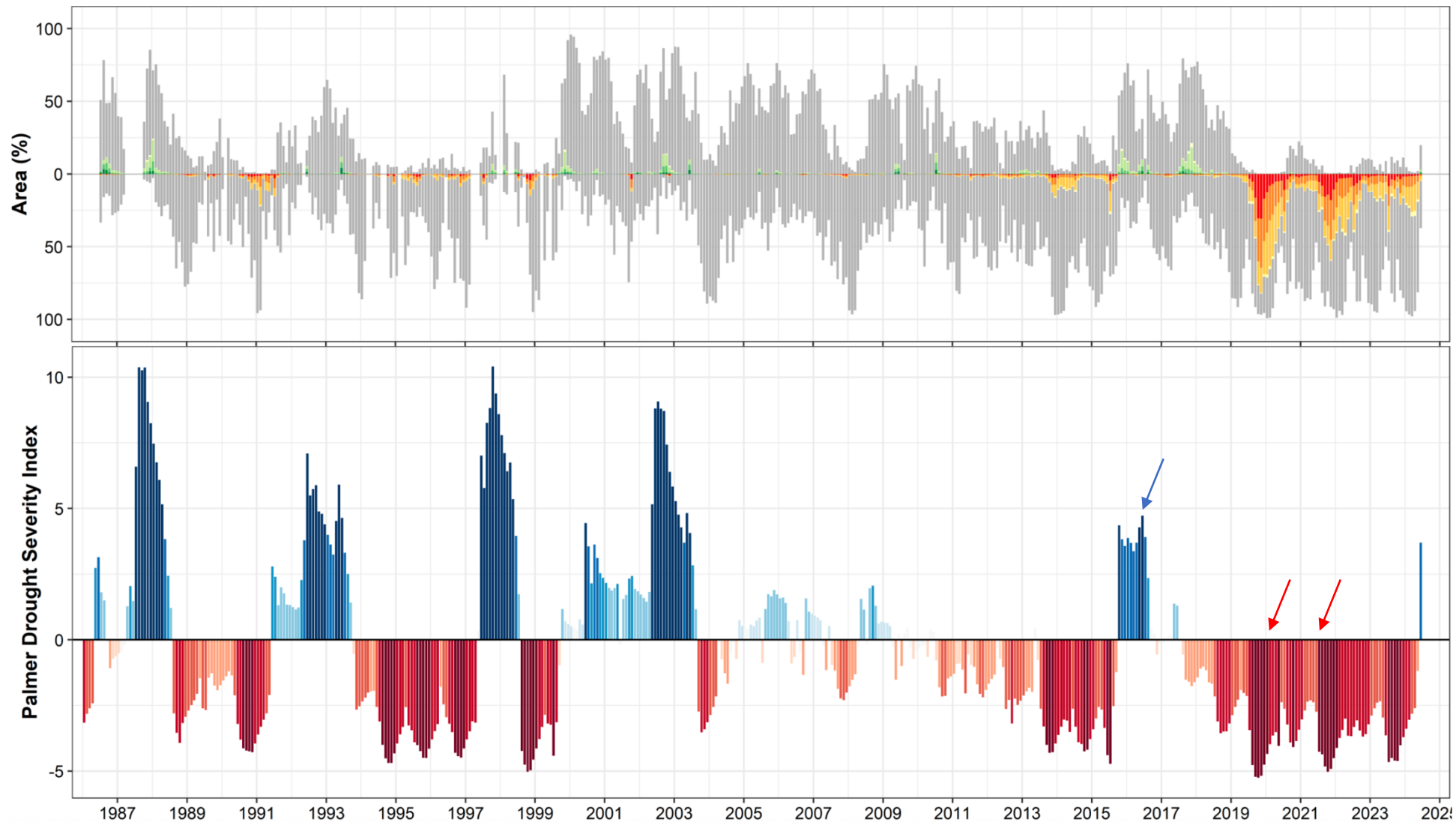


**01**  
**Enero**

**Superficie de bosque en 2010**  
56,673 Ha



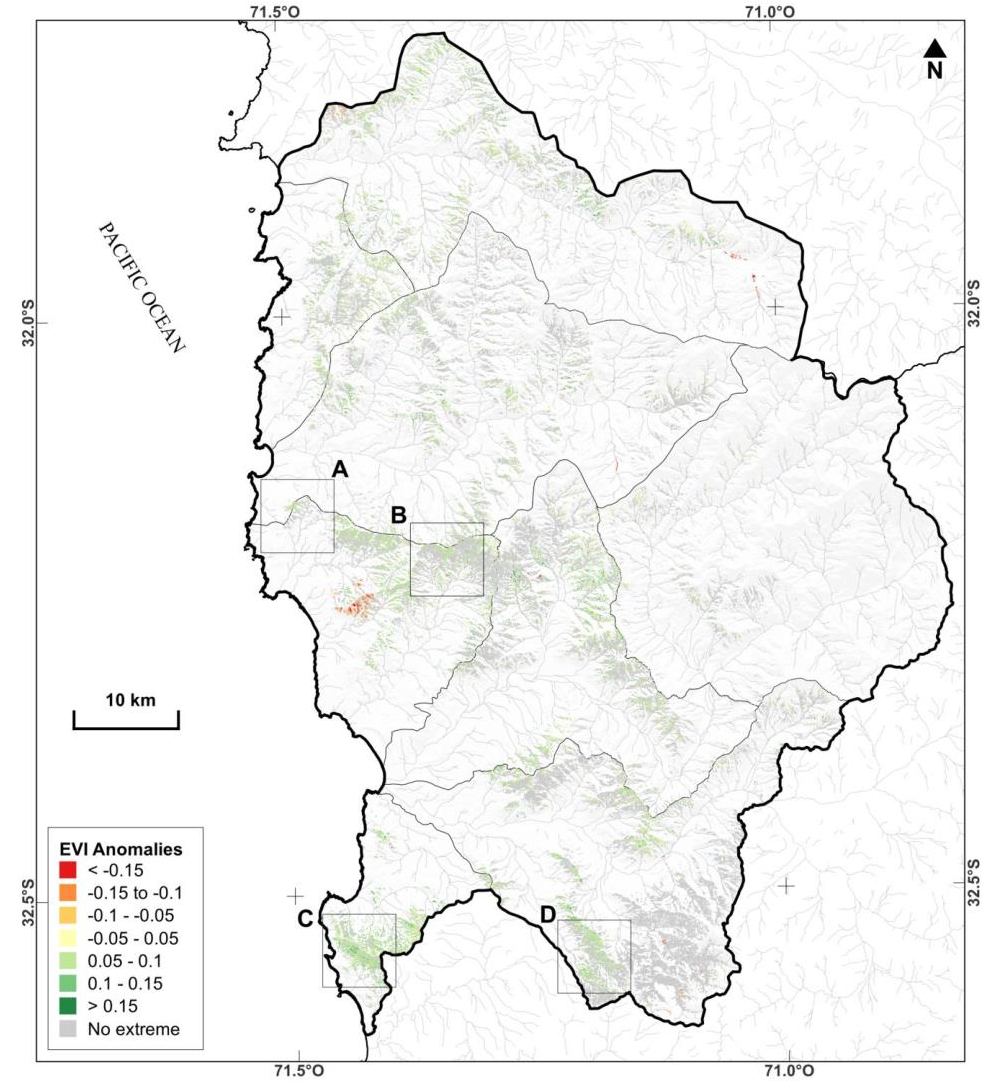
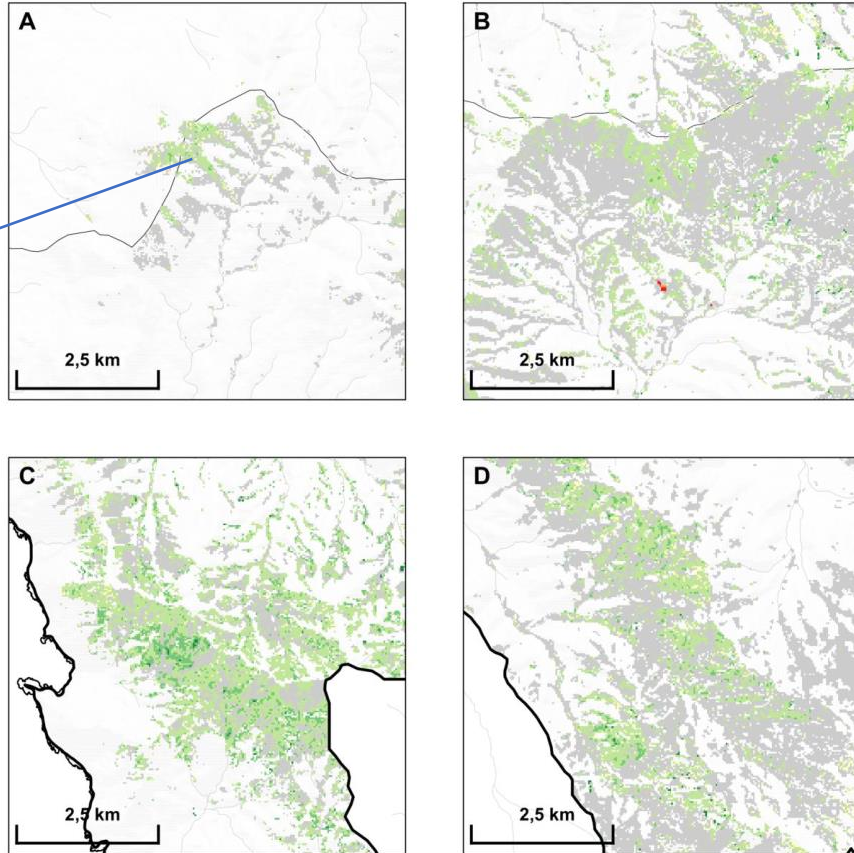
La sequía de 2019 provocó efectos fenológicos generalizados, que afectaron al **82% de los bosques**



# Año lluvioso

## Noviembre 2017

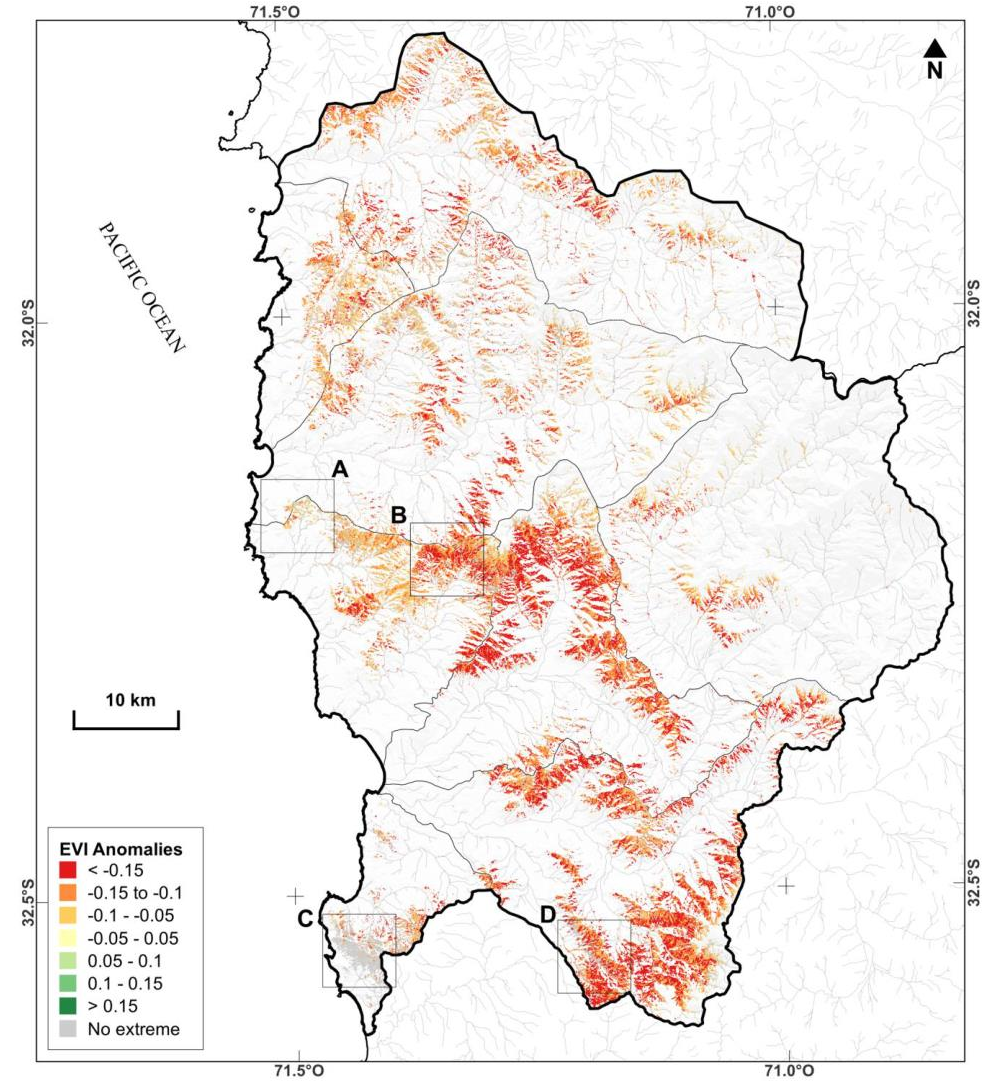
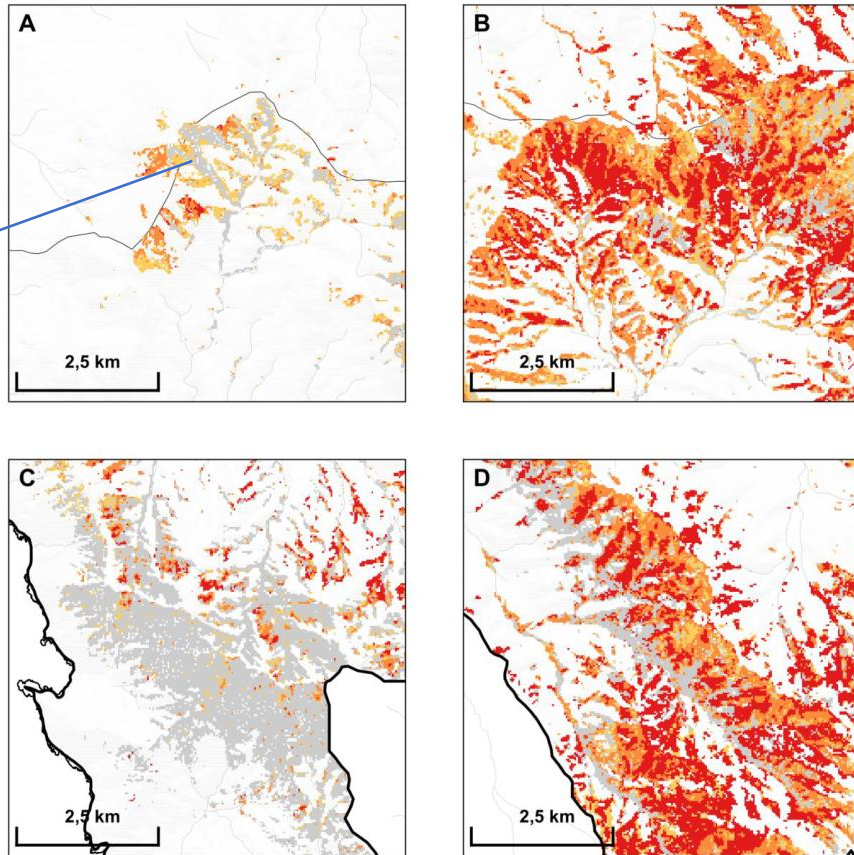
Santa Inés



# Año hiper seco

Noviembre 2019

Santa Inés

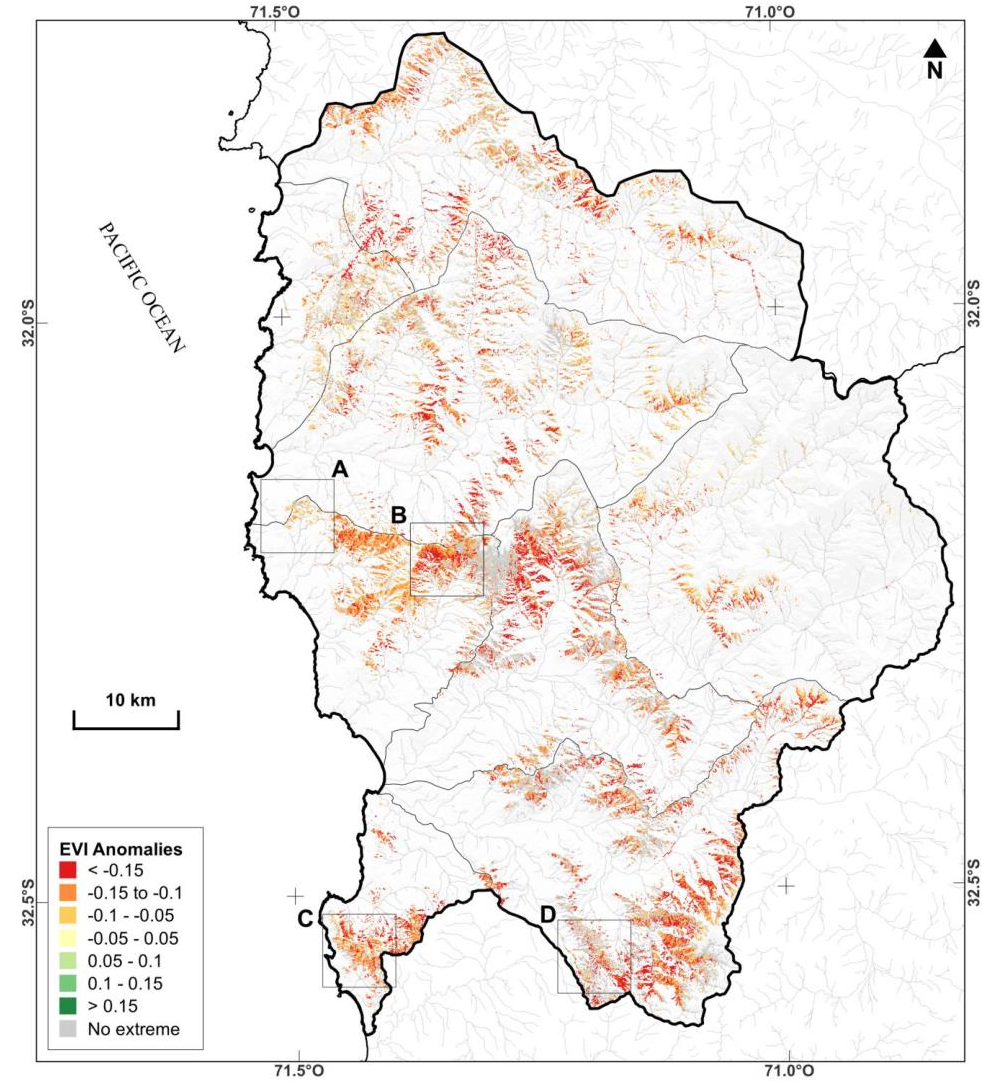
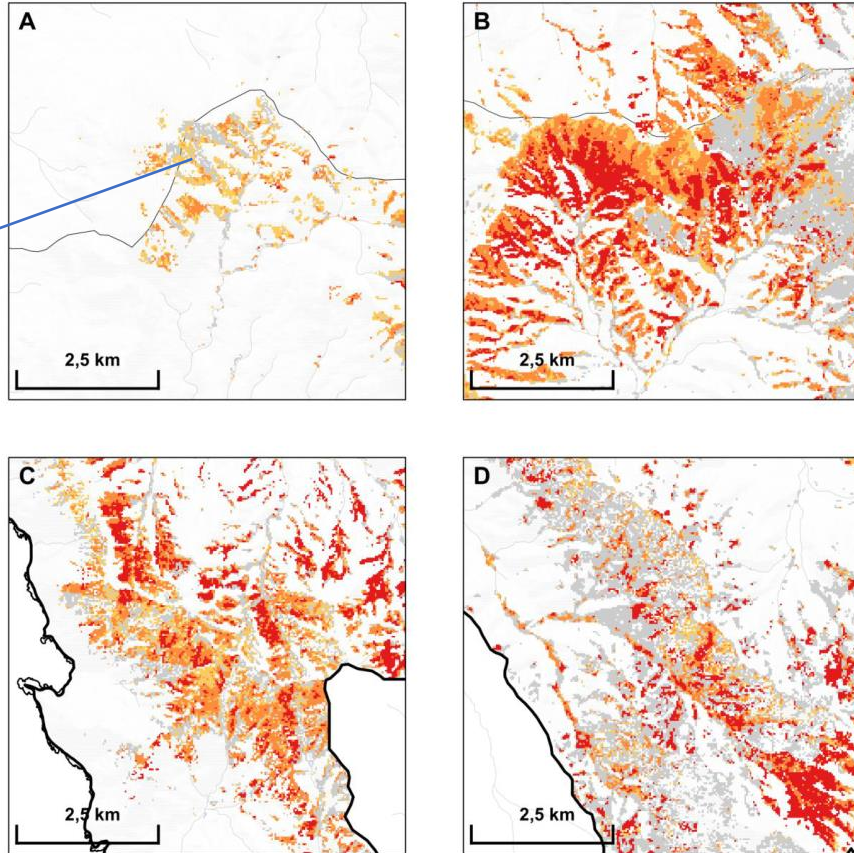


Algunos bosques, especialmente en las cimas de las colinas, donde la niebla es más frecuente, no mostraron anomalías fenológicas extremas. Esto sugiere que los bosques de niebla podrían conservar cierta capacidad de amortiguación frente a las sequías severas.

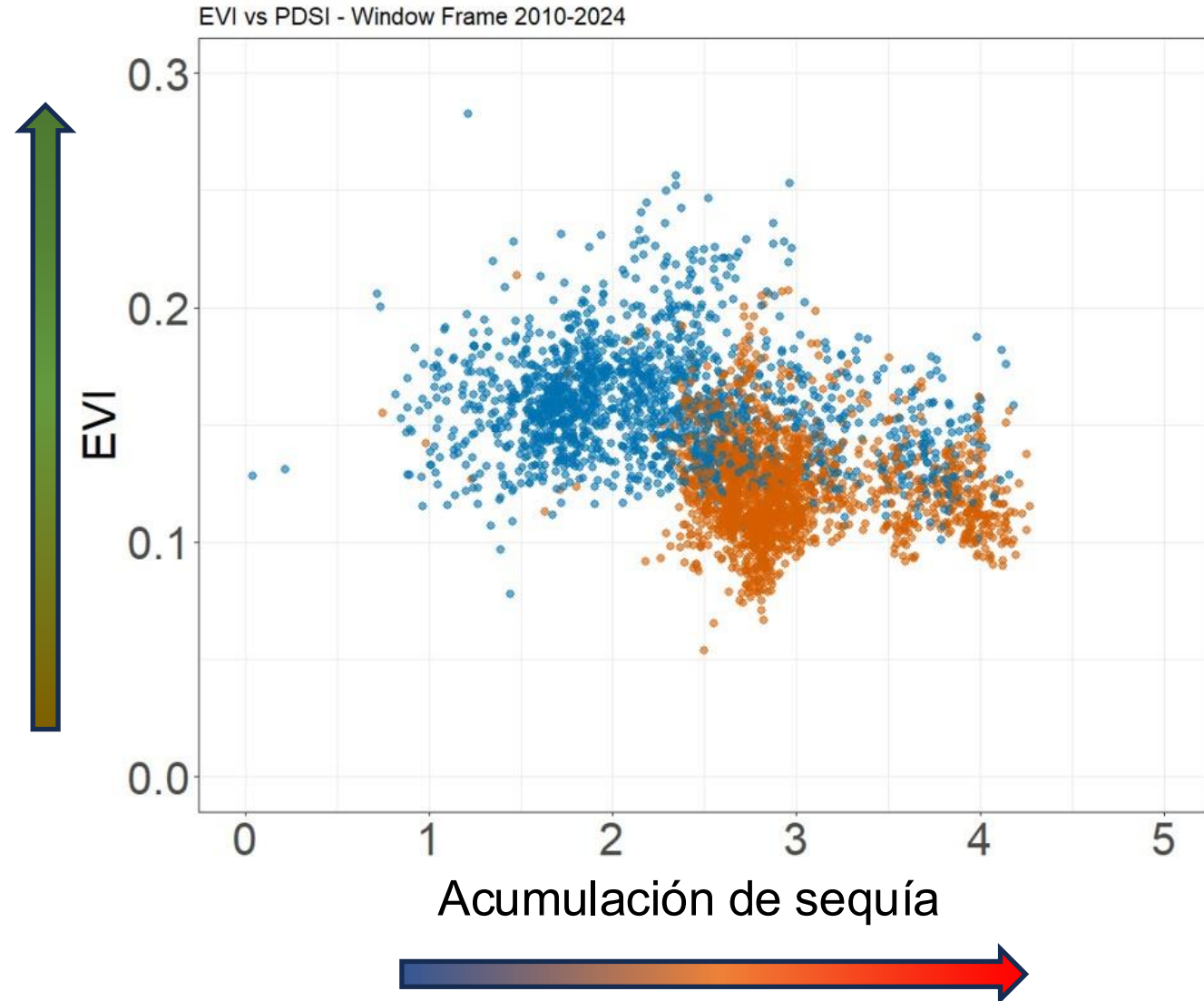
# Condiciones de sequía continúan

Noviembre 2021

Santa Inés

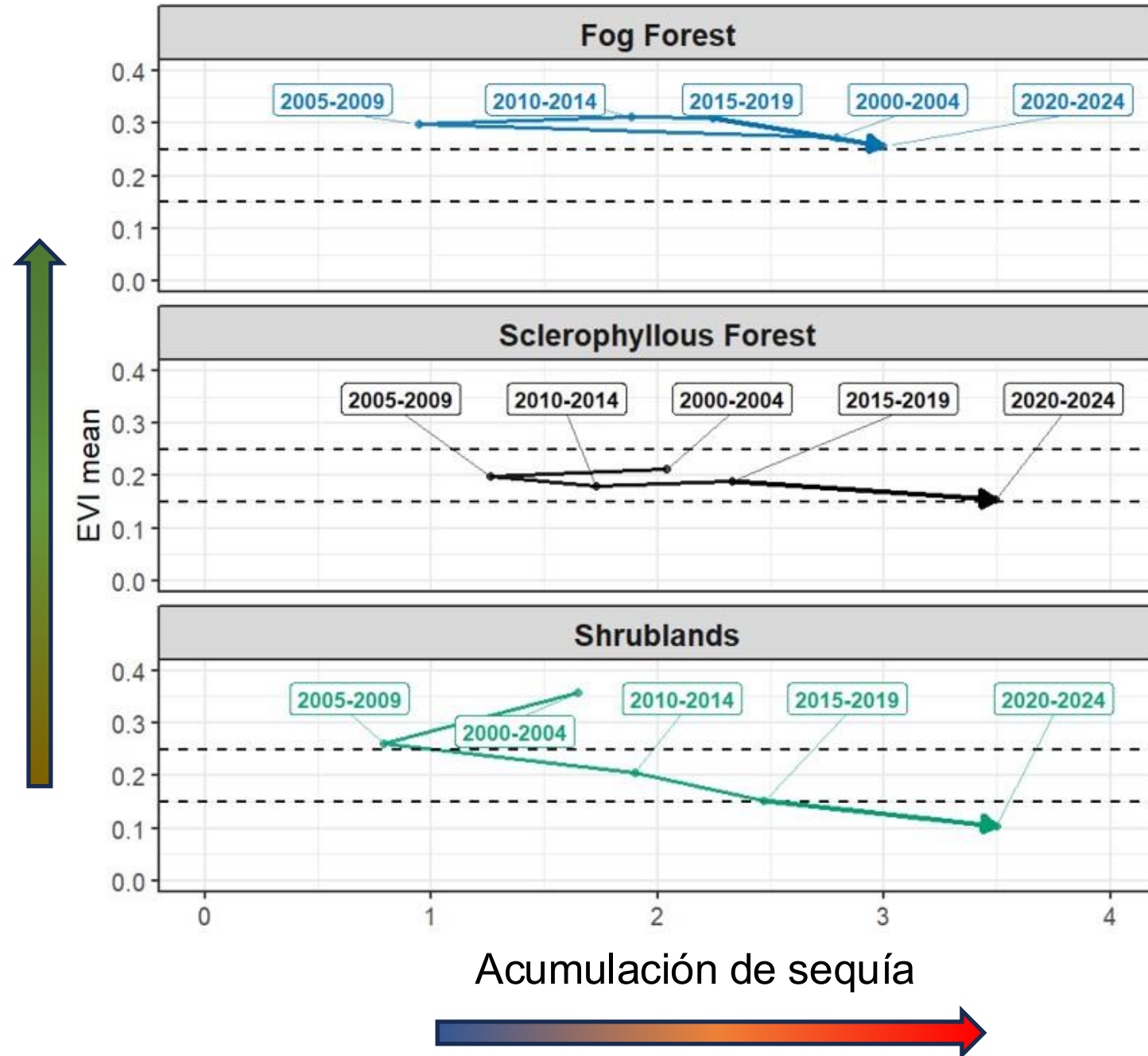


La persistencia de la sequía desde 2010 a llevado a bosques costeros hacia una condición menos productiva.



# Señales de alerta temprana

- Bosque de neblina: poca evidencia de inestabilidad
- Bosque esclerófilo:
  - 43% mostrando baja recuperación y baja resiliencia.
  - 25% continuó decayendo después de 2019



# Conclusiones de la aproximación a escala de paisaje

- Las señales de alerta temprana sugieren que los bosques esclerófilos, tienen menor resiliencia y una recuperación más lenta tras una sequía extrema.
- Los bosques influenciados por la niebla mostraron menos signos de inestabilidad, lo que respalda el papel de la niebla costera como amortiguador clave frente a la sequía progresiva.
- Este rol amortiguador podría debilitarse si las sequías extremas se hacen mas frecuentes y la frecuencia de la niebla sigue disminuyendo.

- Los datos satelitales validan a escala paisajística el contraste entre el bosque de niebla y la vegetación circundante.
- La niebla amortigua la sequía, pero no elimina la demanda de agua del suelo
- La pregunta clave es identificar cuándo la intensificación de la sequía y la menor frecuencia de niebla podrían poner en riesgo la capacidad del bosque para auto-mantenerse.

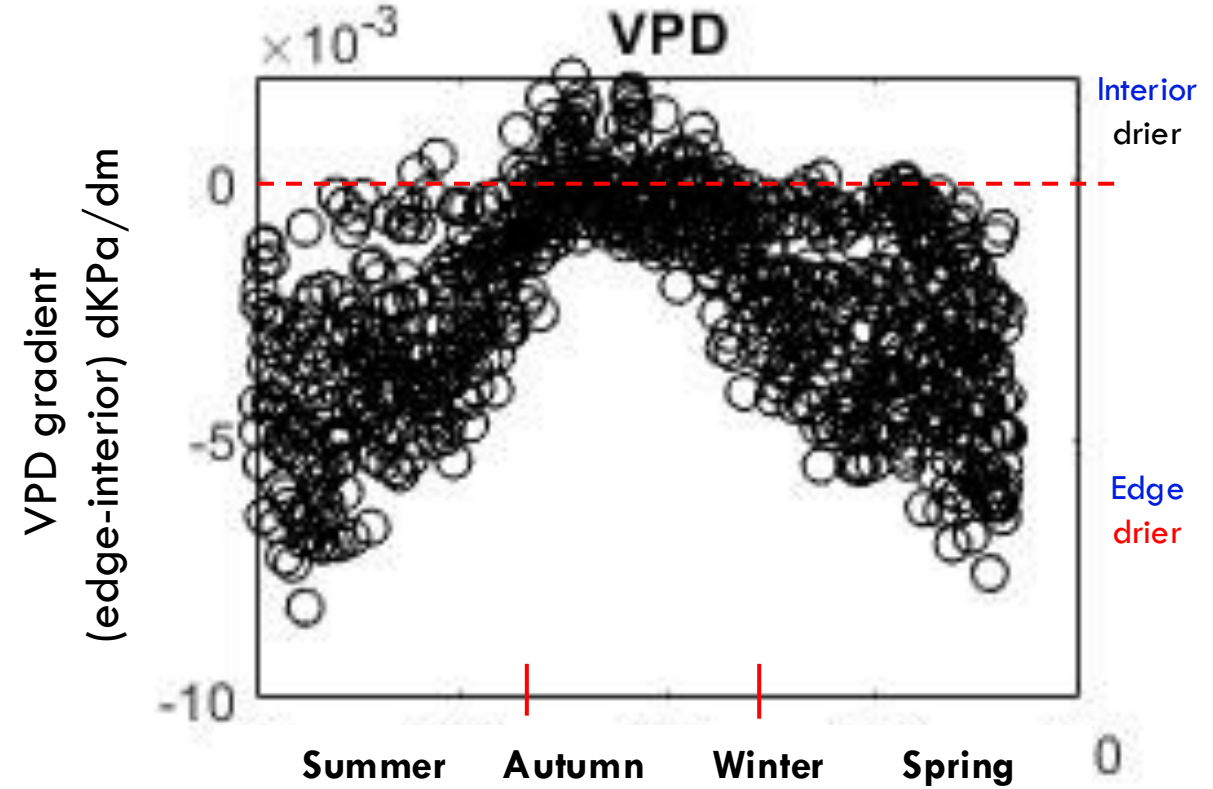
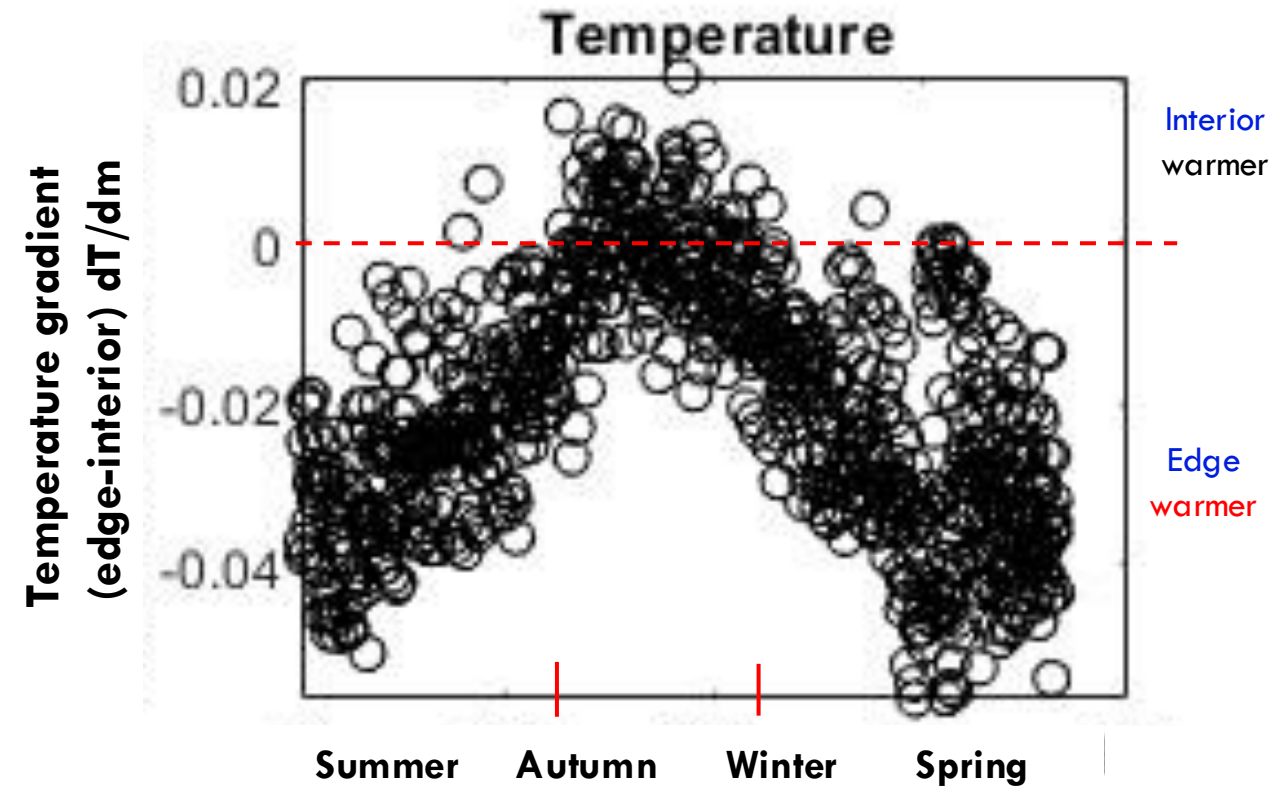




Agradecimientos: ANID, IEB, CNRS-LSCE,  
Minera Los Pelambres por acceso a Santa Ines,  
estudiantes involucrados en establecimiento del  
monitoreo

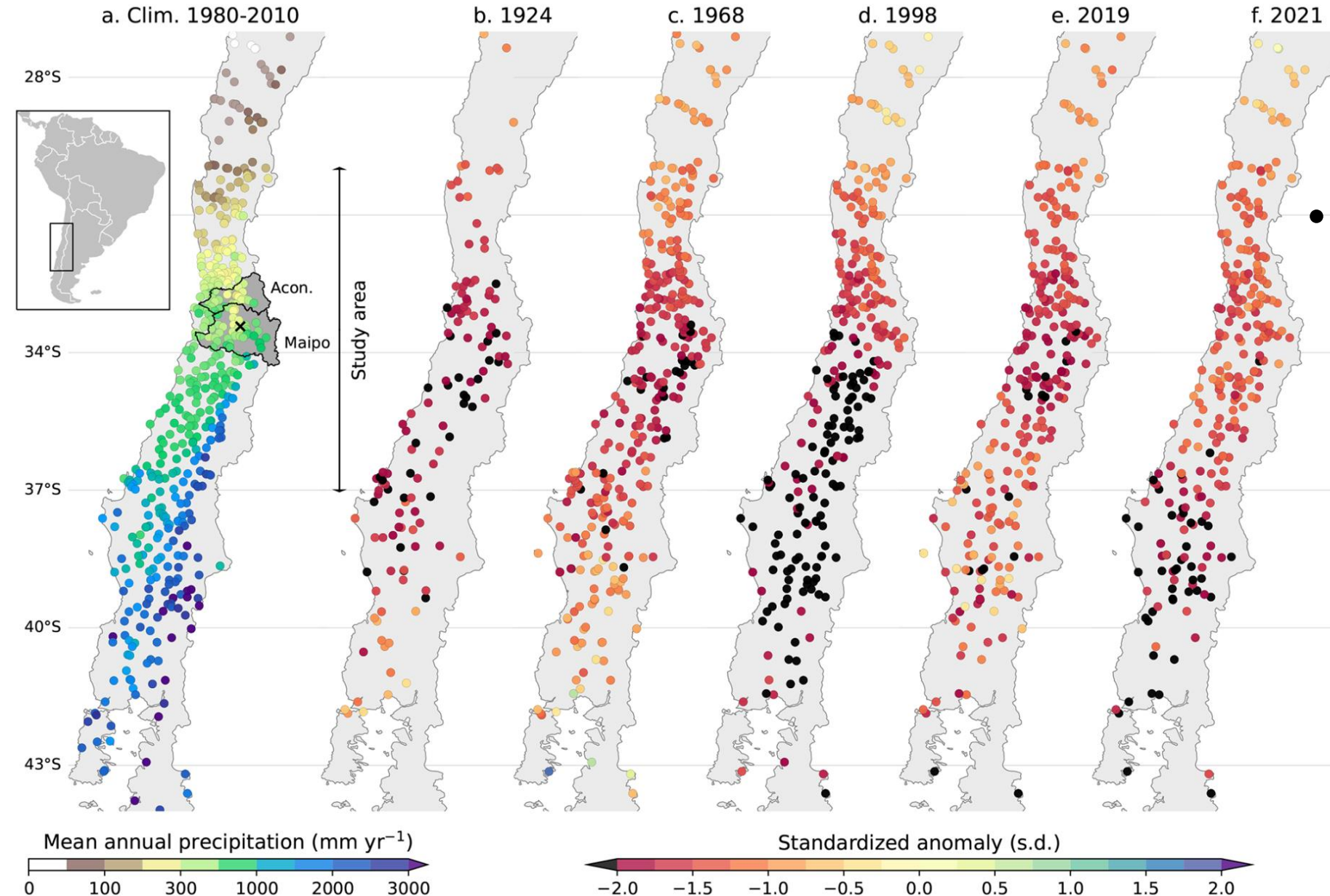
¡Gracias por su  
atención!

The strength and direction of the “environmental gradient” change seasonally



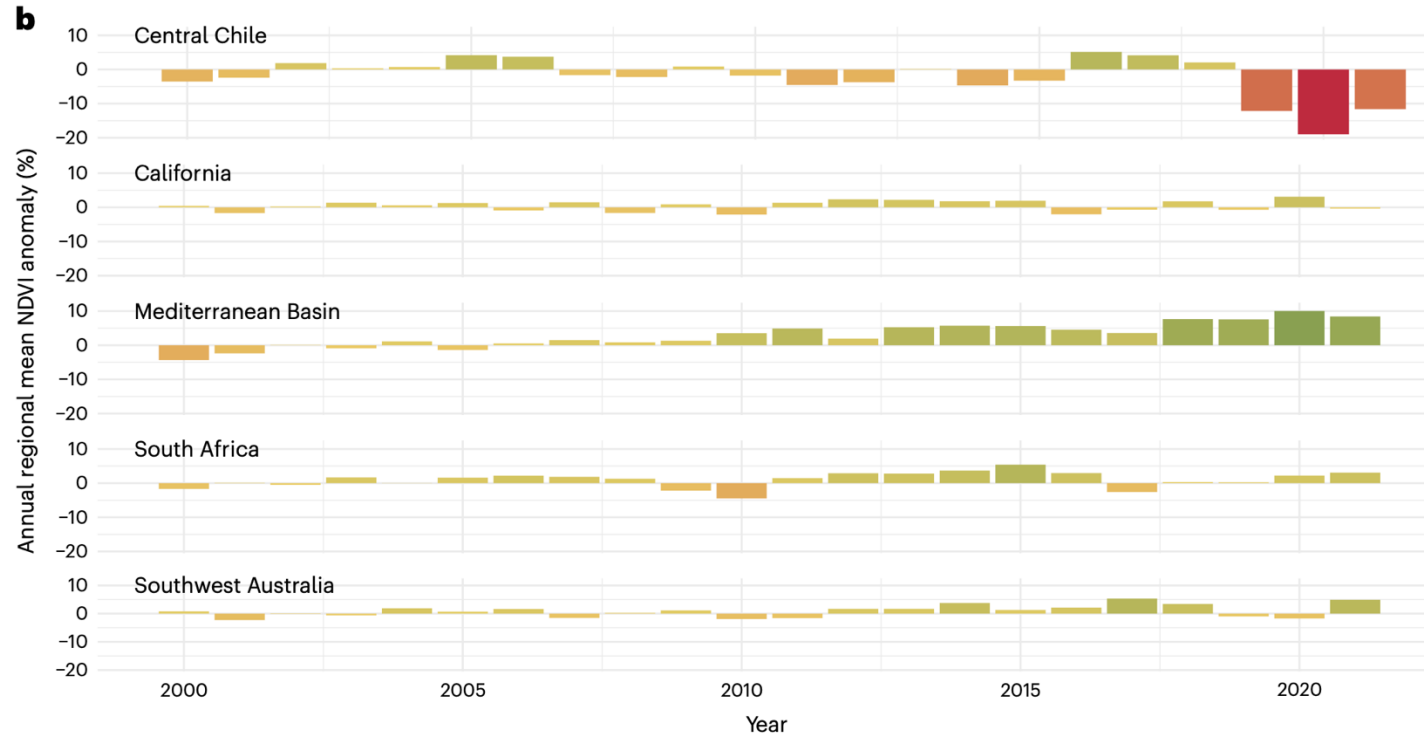
- Las señales de alerta temprana fueron más intensas en los bosques esclerófilos expuestos a la sequía, lo que sugiere una menor resiliencia y una recuperación más lenta tras una sequía extrema. Por el contrario, los bosques influenciados por la niebla mostraron menos signos de inestabilidad, lo que respalda el papel de la niebla costera como amortiguador clave frente a la sequía progresiva.
- Sin embargo, esta capacidad amortiguadora podría debilitarse si la sequía extrema se intensifica y la frecuencia de la niebla sigue disminuyendo.

# Patrones recientes de sequía

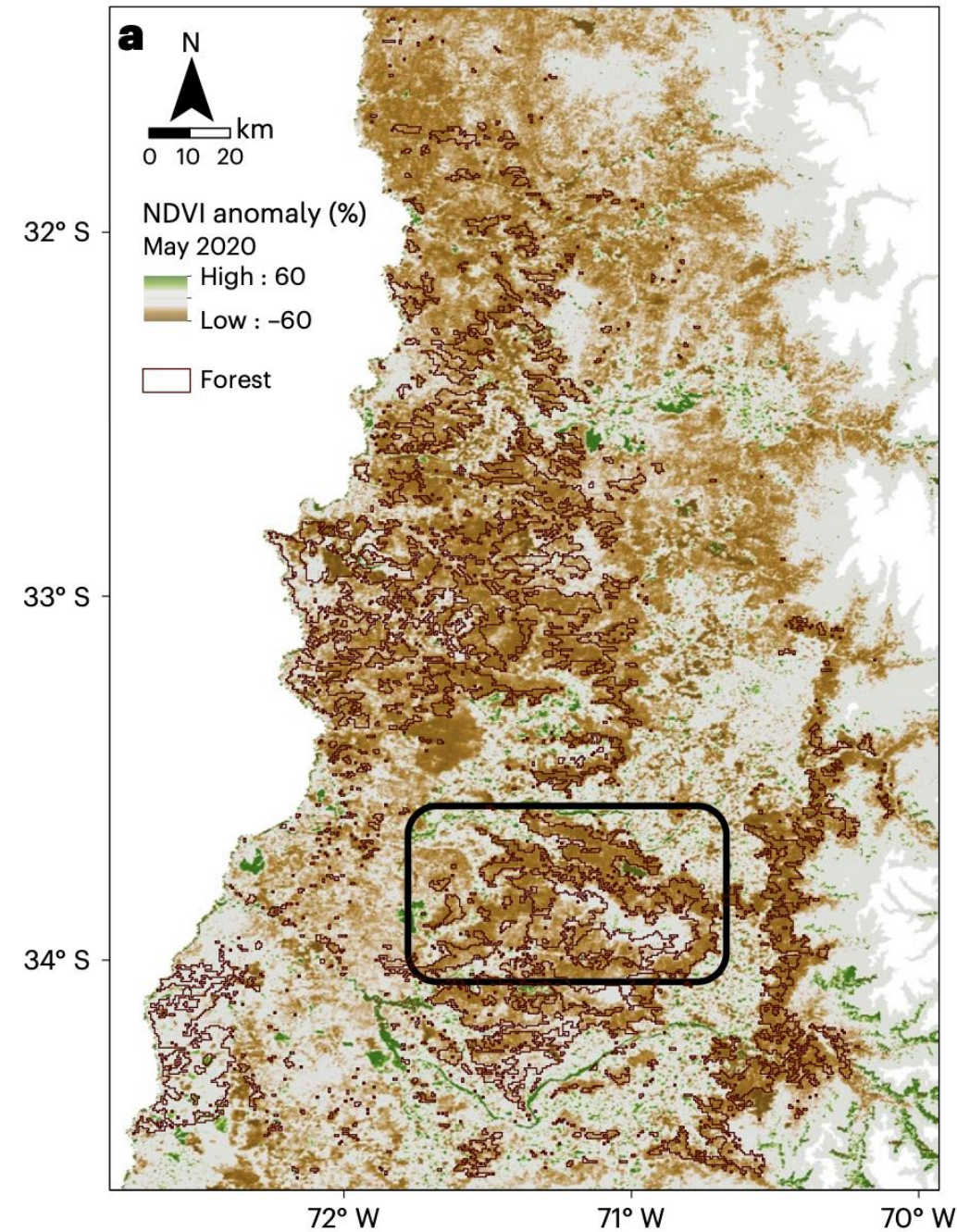


- Bosques en estos paisajes semiaridos
- Altamente expuestos al aumento del calor y estrés hídrico

# ¿Están colapsando estos bosques?



The magnitude of NDVI decline in Central Chile. a, NDVI anomaly for May 2020 compared with the mean value for the same month for 2000–2010.

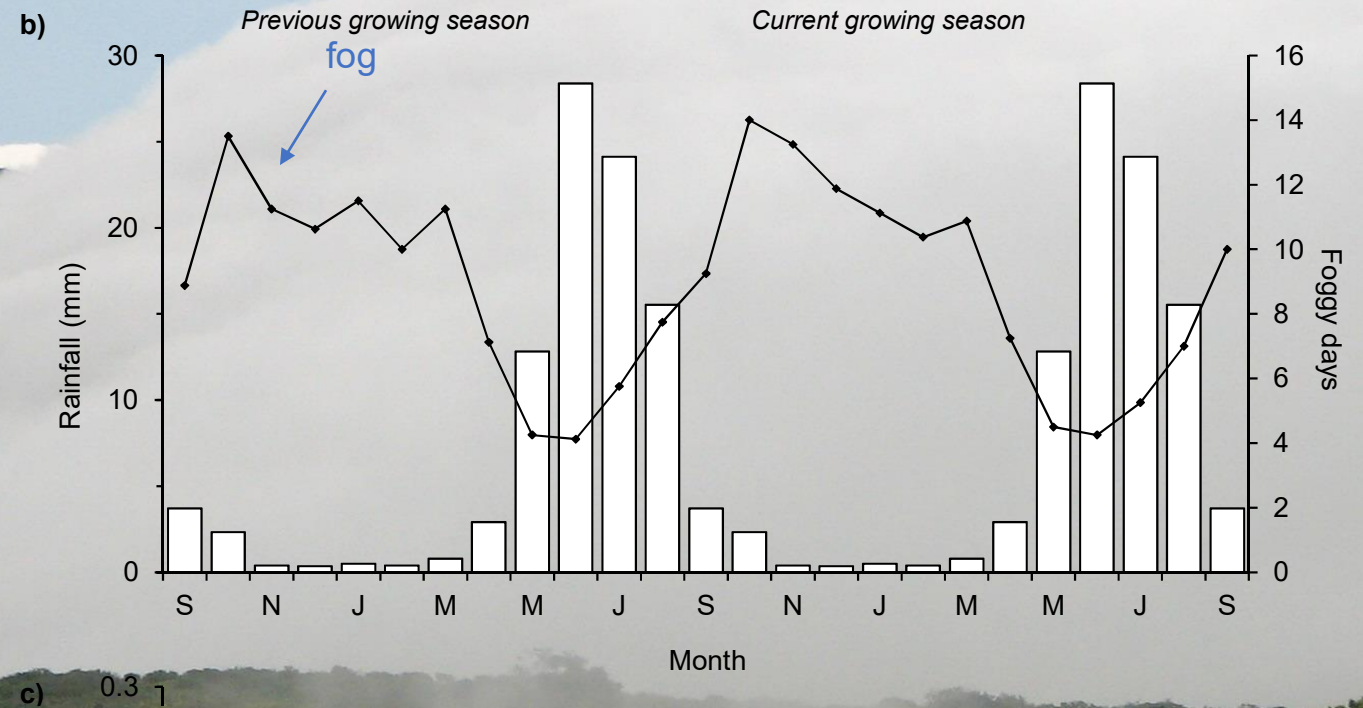




- ¿cómo estos bosques responderán al cambio climático y al impacto humano?
- Relevante determinar su resiliencia

- PPT annual ~ 150 mm (Fray Jorge) – 360 in El Niño
- Aporte de Neblina ~ 296 mm (Barbosa et al. 2010)

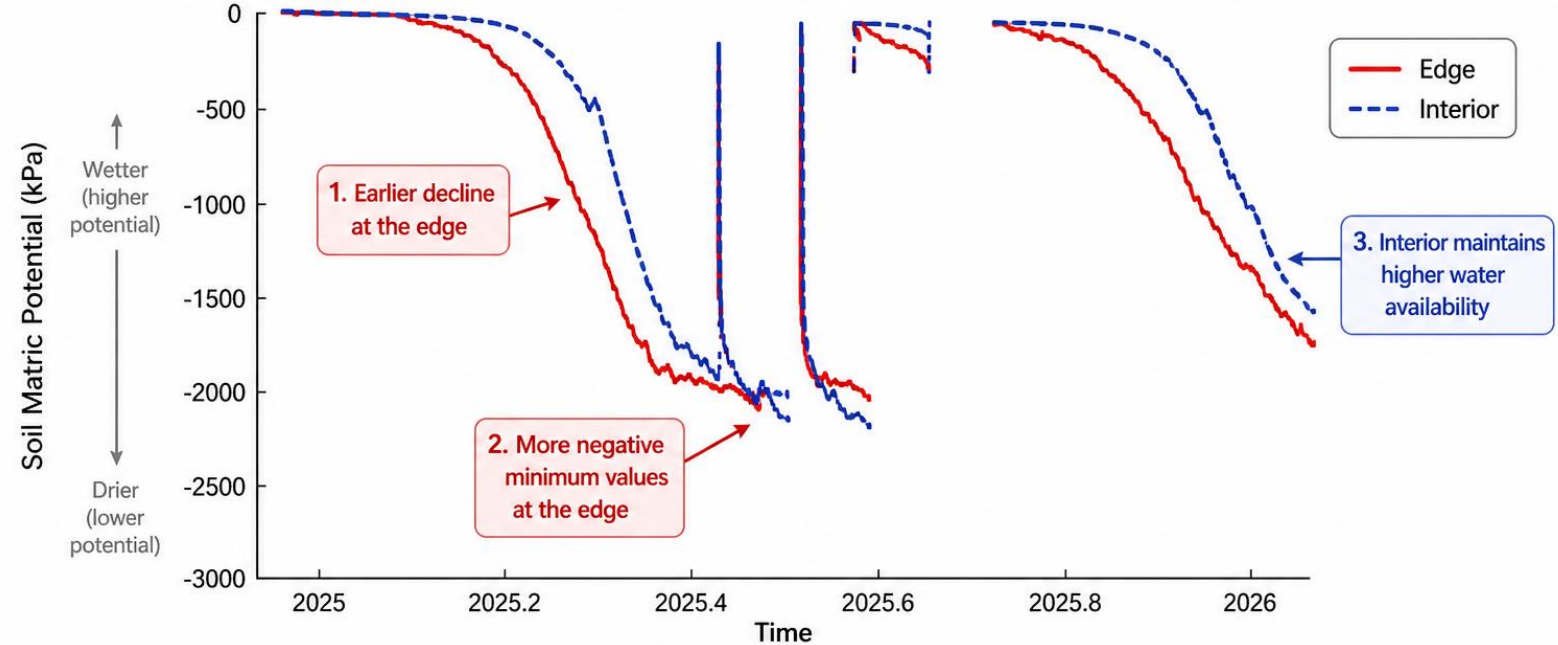
Gutiérrez et al. 2008 *Global Change Biology* (2008) 14, 161–176





¿Hasta qué punto los bosques de las cuencas costeras semiáridas estén superando puntos de inflexión críticos, dadas las condiciones de sequía actuales?

Trees at the edge are actively depleting water, creating a stronger water limitation locally



Edge uses more water in spring, but interior dominates in fall

