



Colegio de
Postgraduados



Prácticas silviculturales como respuesta ante el cambio climático

Dr. Christian Anton Wehenkel

Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera, Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED), Km 5.5 Carretera Mazatlán, CP 34120 Durango, México;

wehenkel@ujed.mx

GESTIÓN FORESTAL COMUNITARIA: AVANCES CIENTÍFICOS, TÉCNICOS

Y SILVÍCOLAS EN BOSQUES DE SAN PEDRO EL ALTO, 17 – 20 de Abril de 2023, Ciudad de Oaxaca, México.

Introducción

- Las condiciones ambientales son pre-requisito básico para
 - el mantenimiento de la estructura,
 - la vitalidad y
 - el funcionamiento
- de los ecosistemas forestales.

1997



2003



2012



<https://www.dsr.gov.au/Outcome/Environment/Bushfires/Canberra-bushfires.aspx>

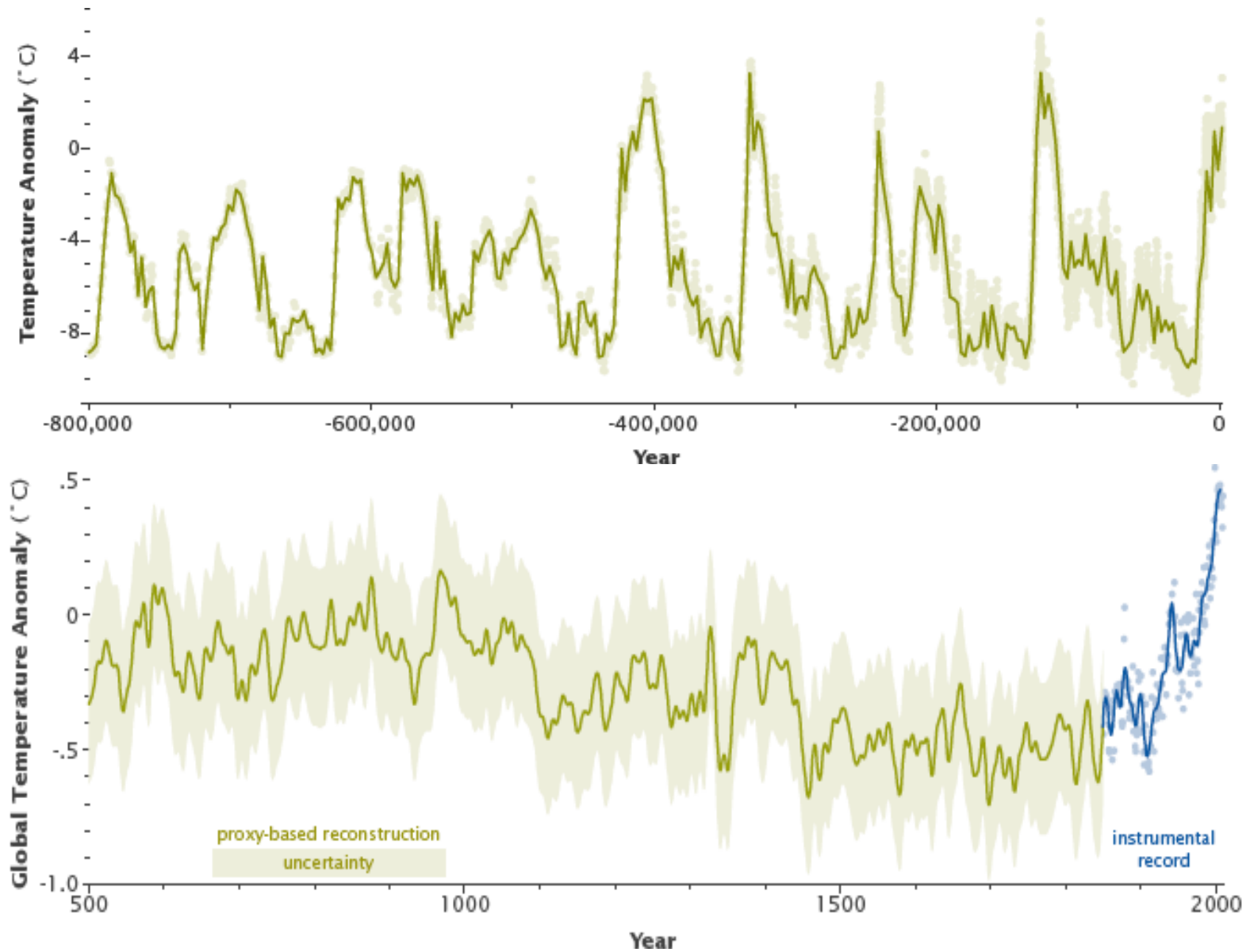


¡Existen cambios de las condiciones ambientales a escalas temporales y espaciales!



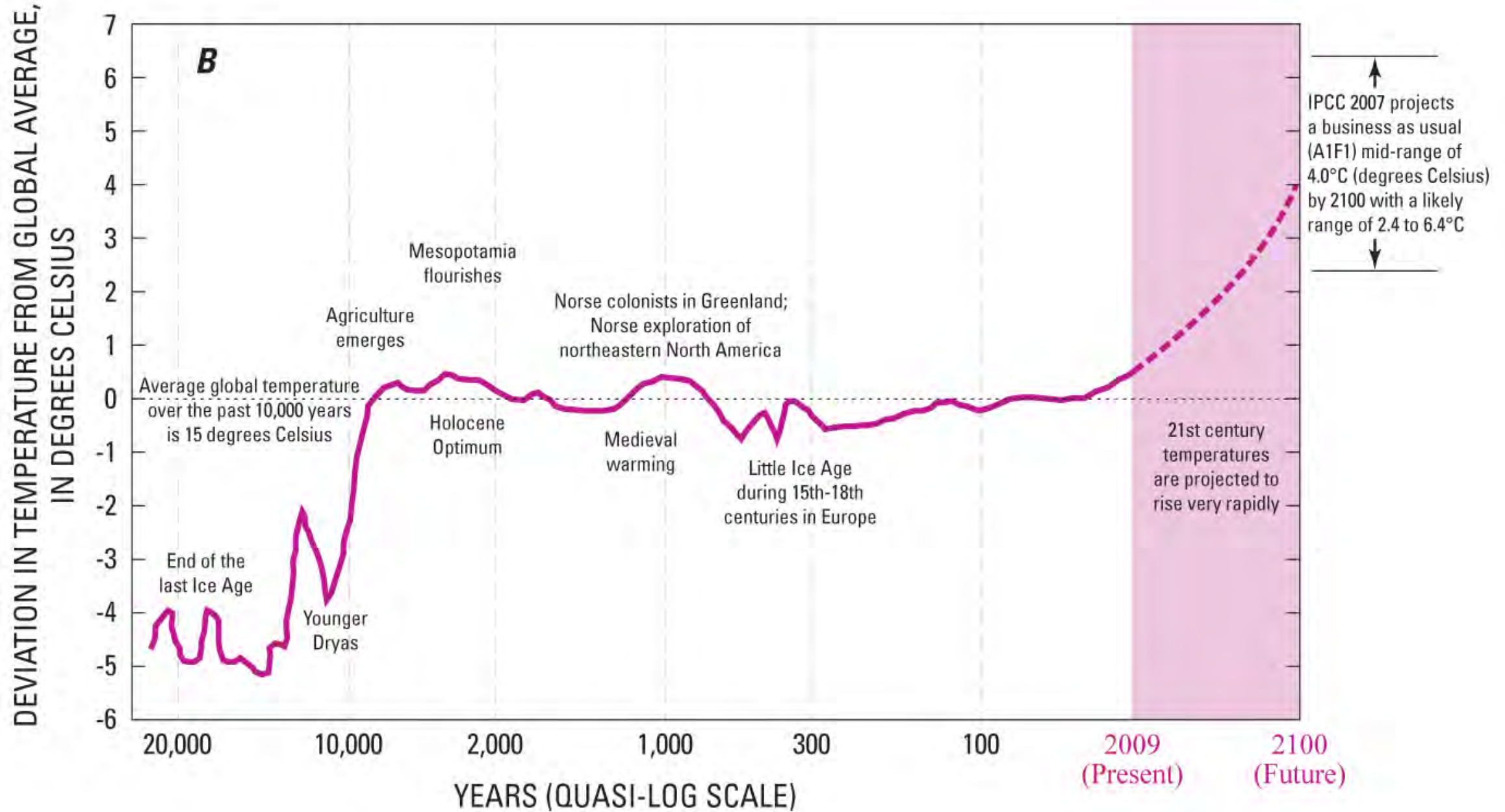
<https://www.helsinki.fi/en/admissions/degree-programmes/environmental-change-and-global-sustainability-masters-programme>

Cambio climático



<https://earthobservatory.nasa.gov/Features/GlobalWarming/pa-ge3.php>

Clima – cambio climático



Clima promedio en México – pasado, actual y cuatro pronósticos para el futuro

(WorldClim - Global Climate Data: www.worldclim.org)

Variables del clima	LGM	HCO	Actual	2050 RCP 4.5	2070 RCP 4.5	2050 RCP 8.5	2070 RCP 8.5
Temperatura anual promedio (°C)	16.0	18.8	19.8	21.6	21.9	22.3	23.2
Temperatura máxima en el mes más cálido (°C)	28.4	29.7	31.1	33.2	33.6	33.7	34.8
Temperatura mínima en el mes más frío (°C)	3.1	7.1	8.0	9.4	9.7	10.2	10.9
Precipitación anual (mm)	855	1198	1,061	985	963	945	896
Precipitación en el mes mas seco (mm)	9.1	18.4	14.6	12.6	12.1	11.8	10.3
Estacionalidad de la precipitación	86.2	87.3	87.6	89.7	89.5	89.5	90.9

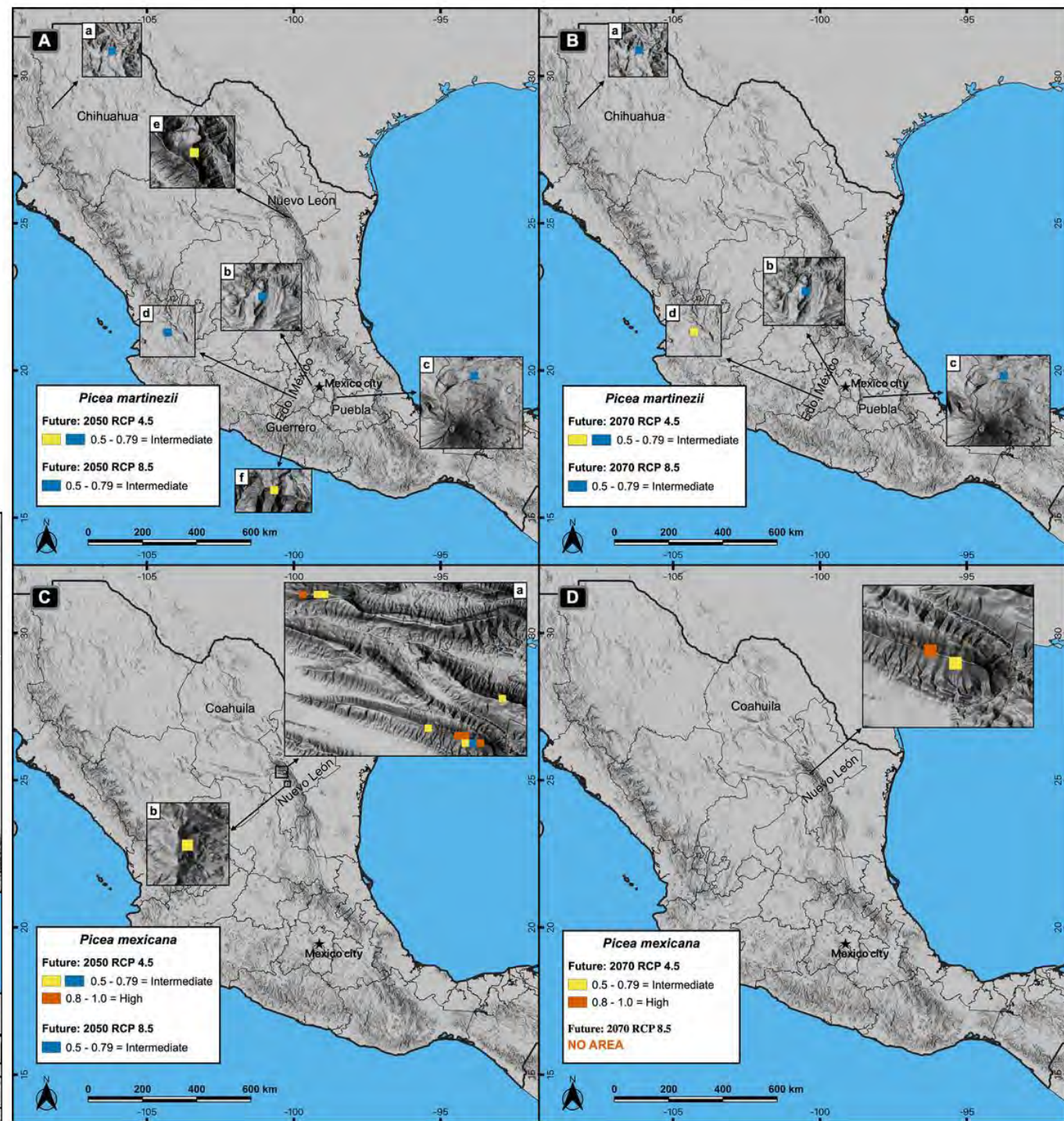
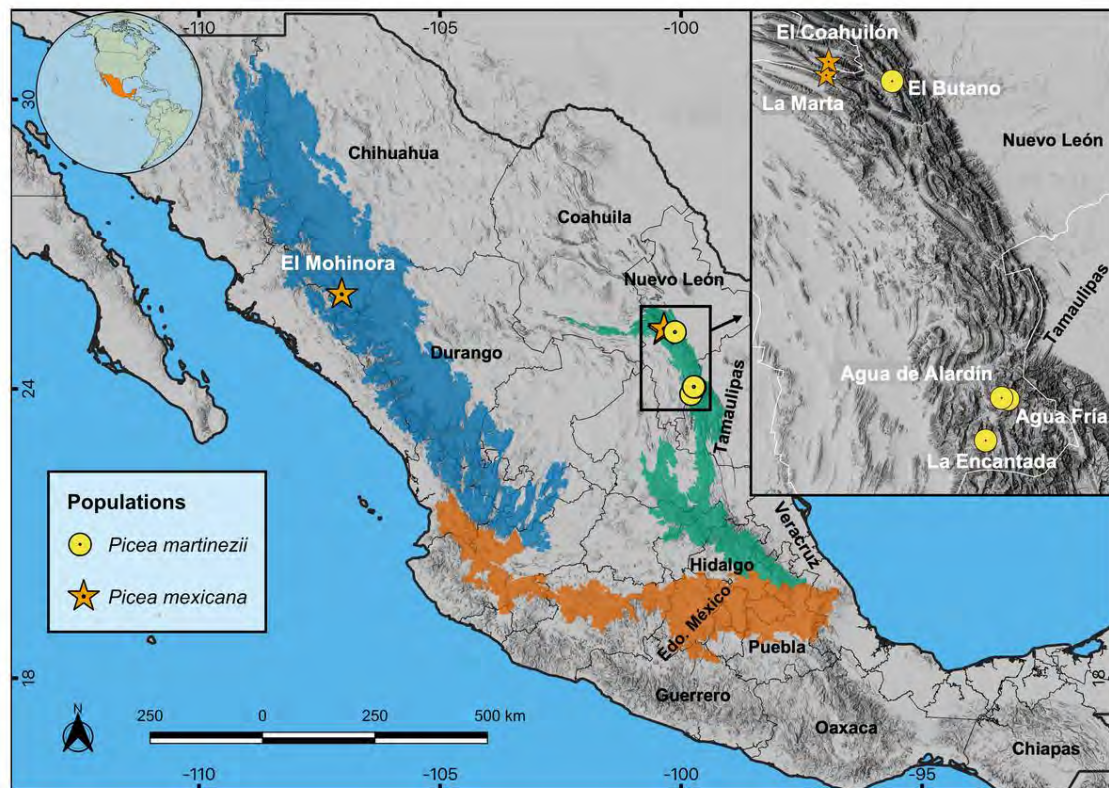
- (i) Último máximo glacial (**LGM**),
- (ii) Óptimo climático del Holoceno (**HCO**)
- (iii) Condiciones actuales (**Actual**)
- (iv) Condiciones futuras para los periodos 2050 y 2070 bajo las dos condiciones de RCP 4.5 y 8.5 W/m².

Cambios de las condiciones ambientales:
Cambio climático – Ejemplos

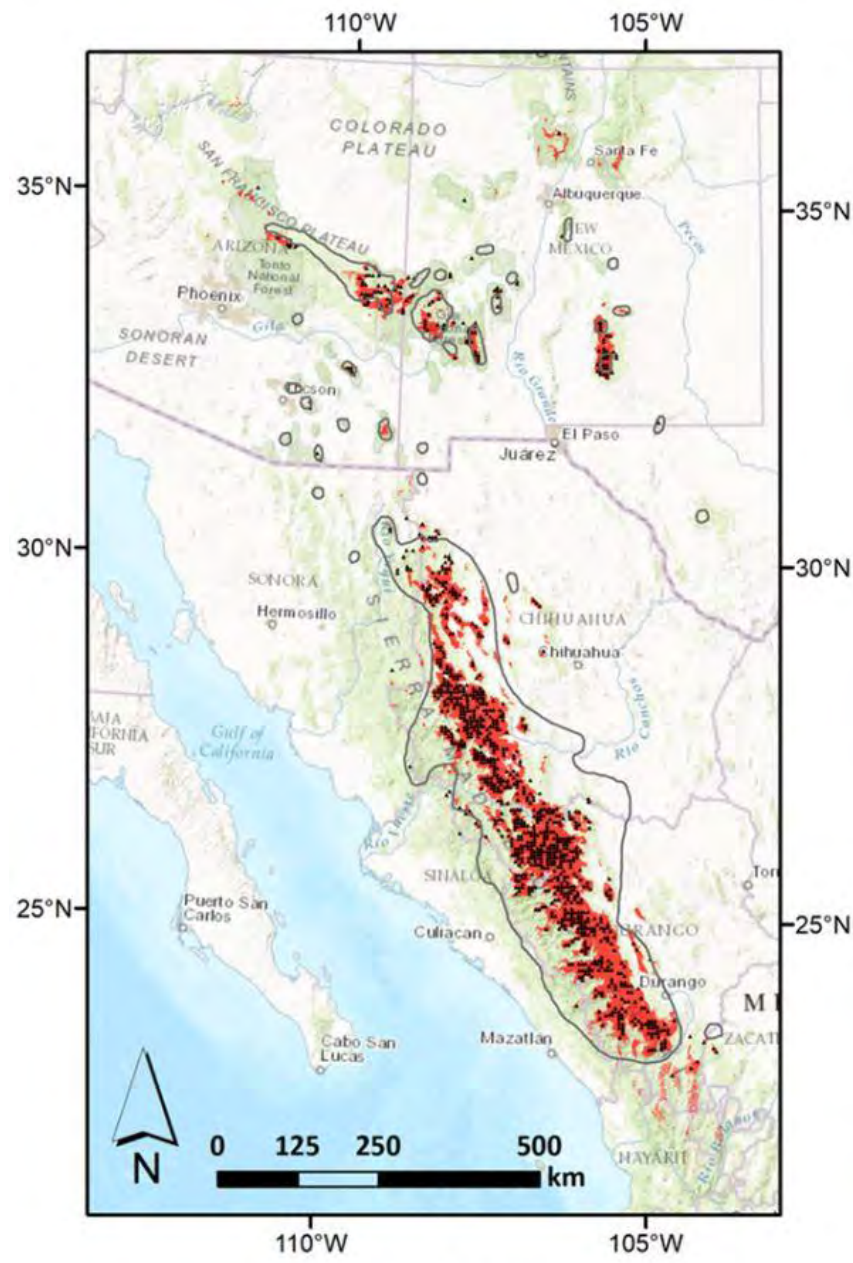
Pronósticos de la distribución de algunas
especies arbóreas en México

Picea martinezii y *Picea mexicana*

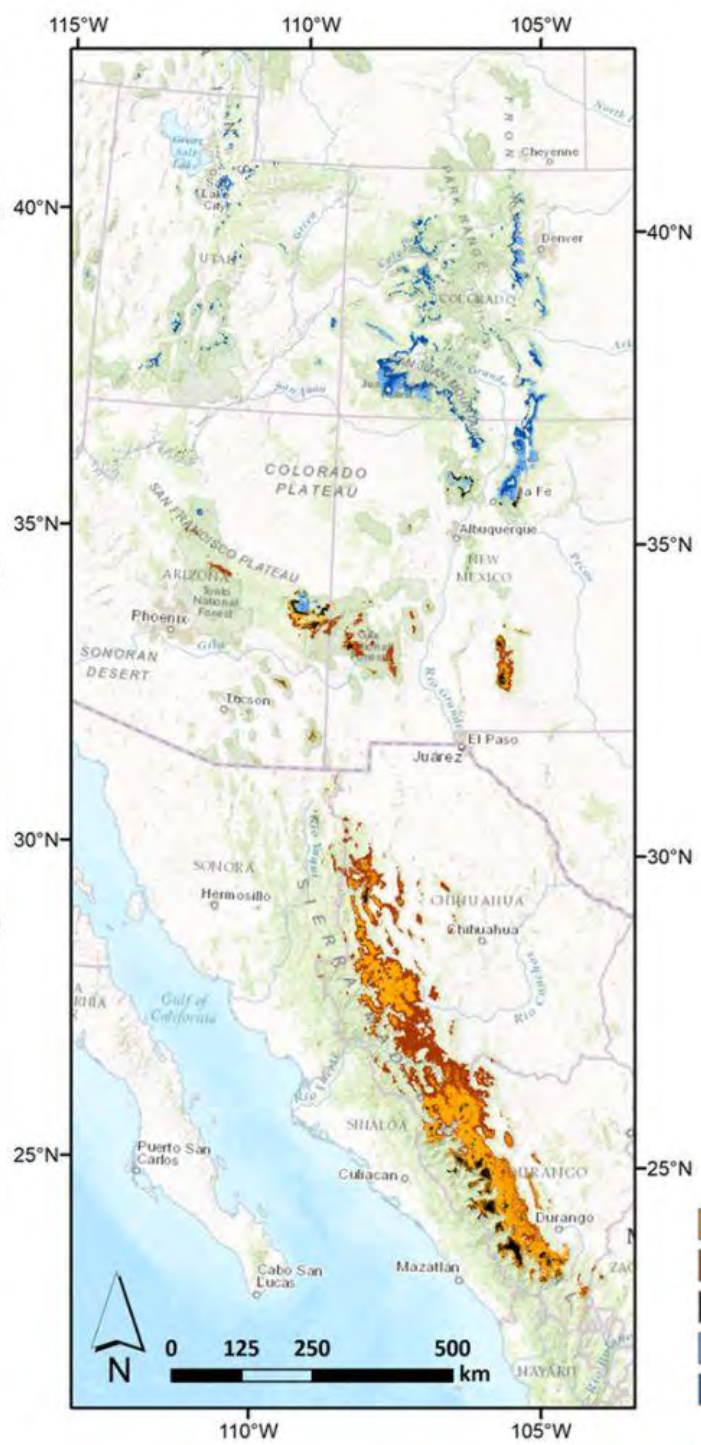
Mendoza-Maya et al. (2022)



Pinus strobiformis



- Little (1971) range
- Ensemble model presence
- Observed presence

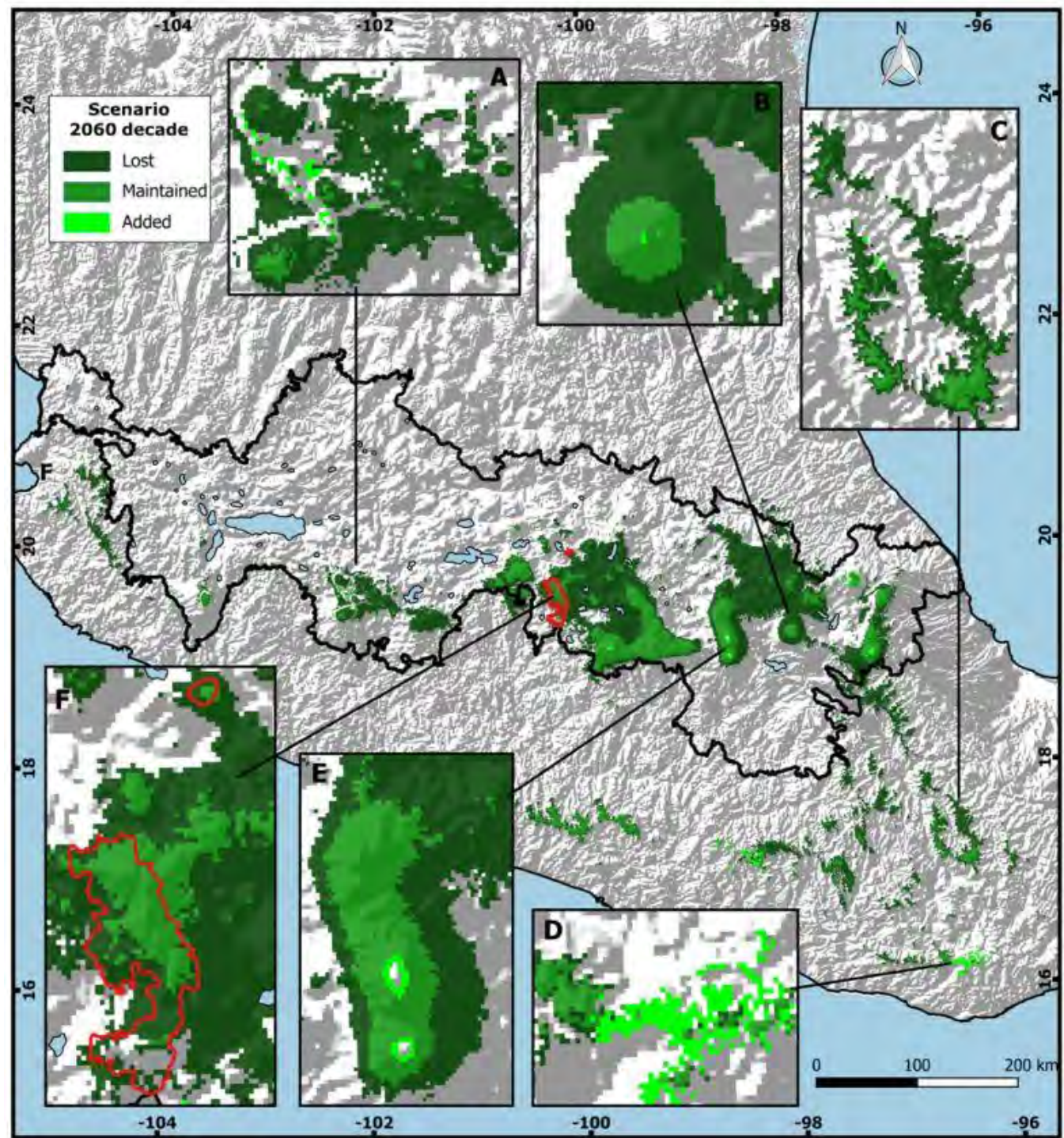


- Contraction 2080 RCP 8.5 only
- Contraction 2080 RCP 4.5 and 8.5
- Stable
- Expansion 2080 RCP 4.5 and 8.5
- Expansion 2080 RCP 8.5 only

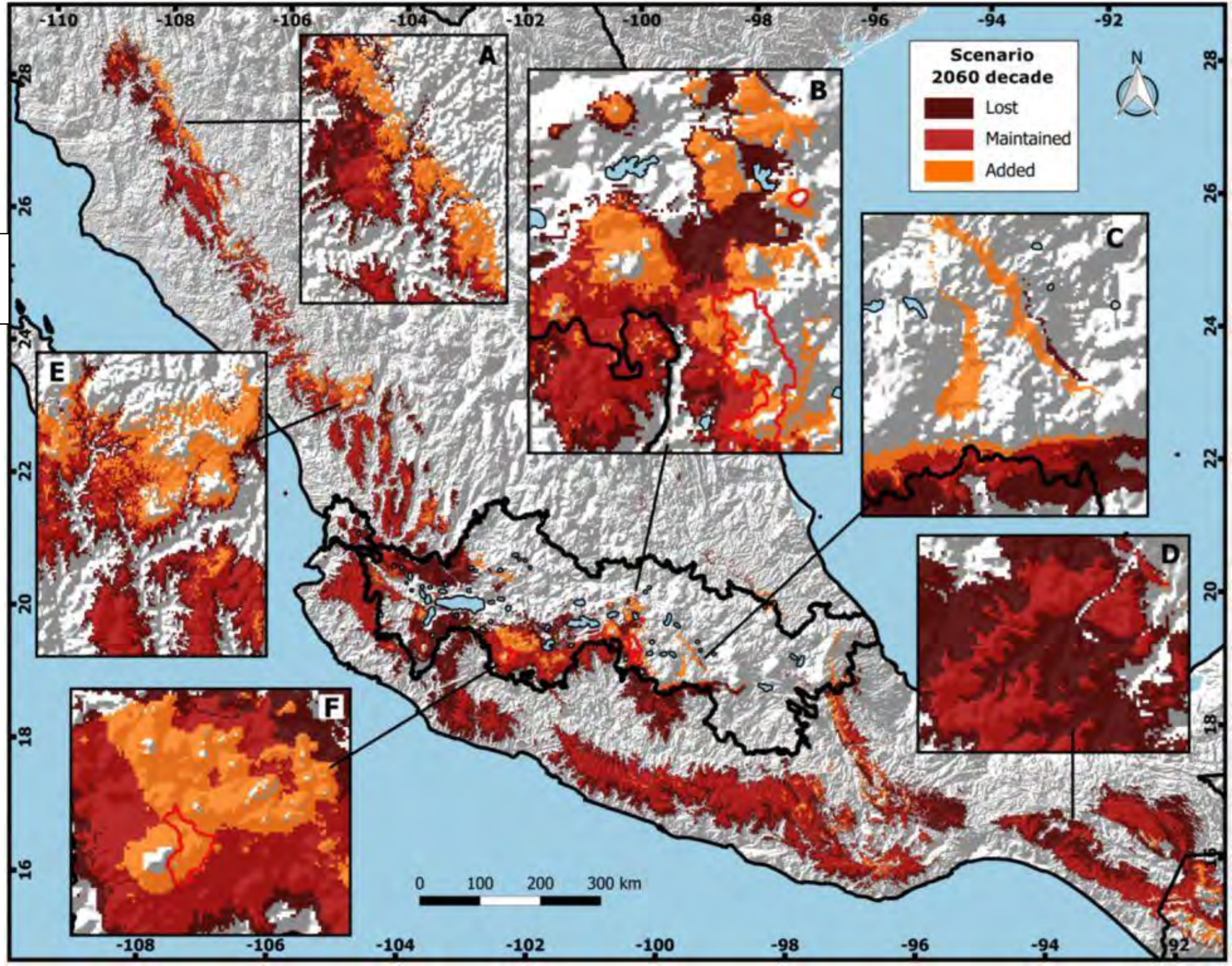
Shirk et al. (2018)

Abies religiosa

Pérdida >75%



Pinus oocarpa



Pérdida >52%
sin migración asistida

Gomez-Pineda et al.
(2020)

Cambios en las distribuciones de las procedencias

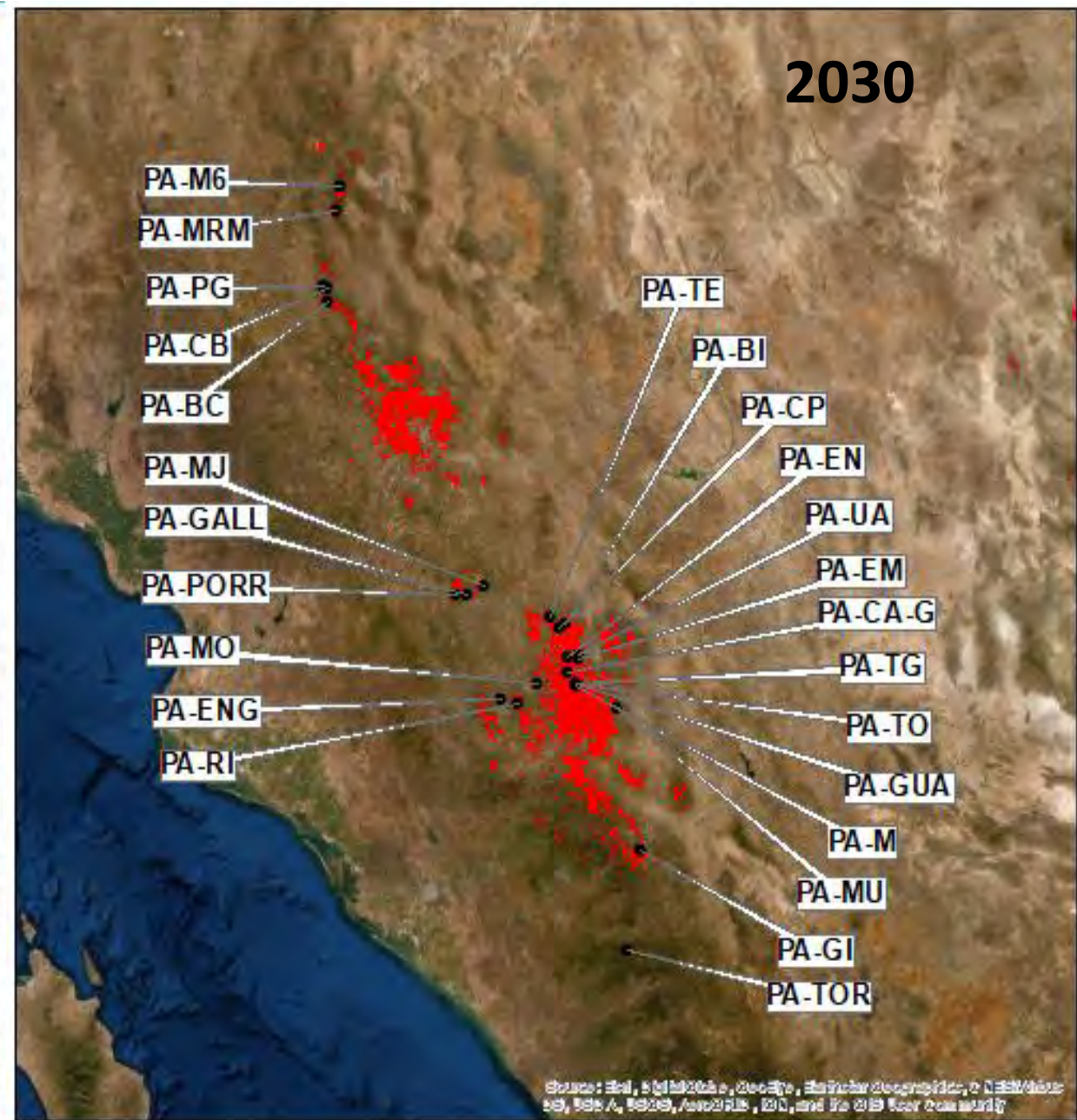
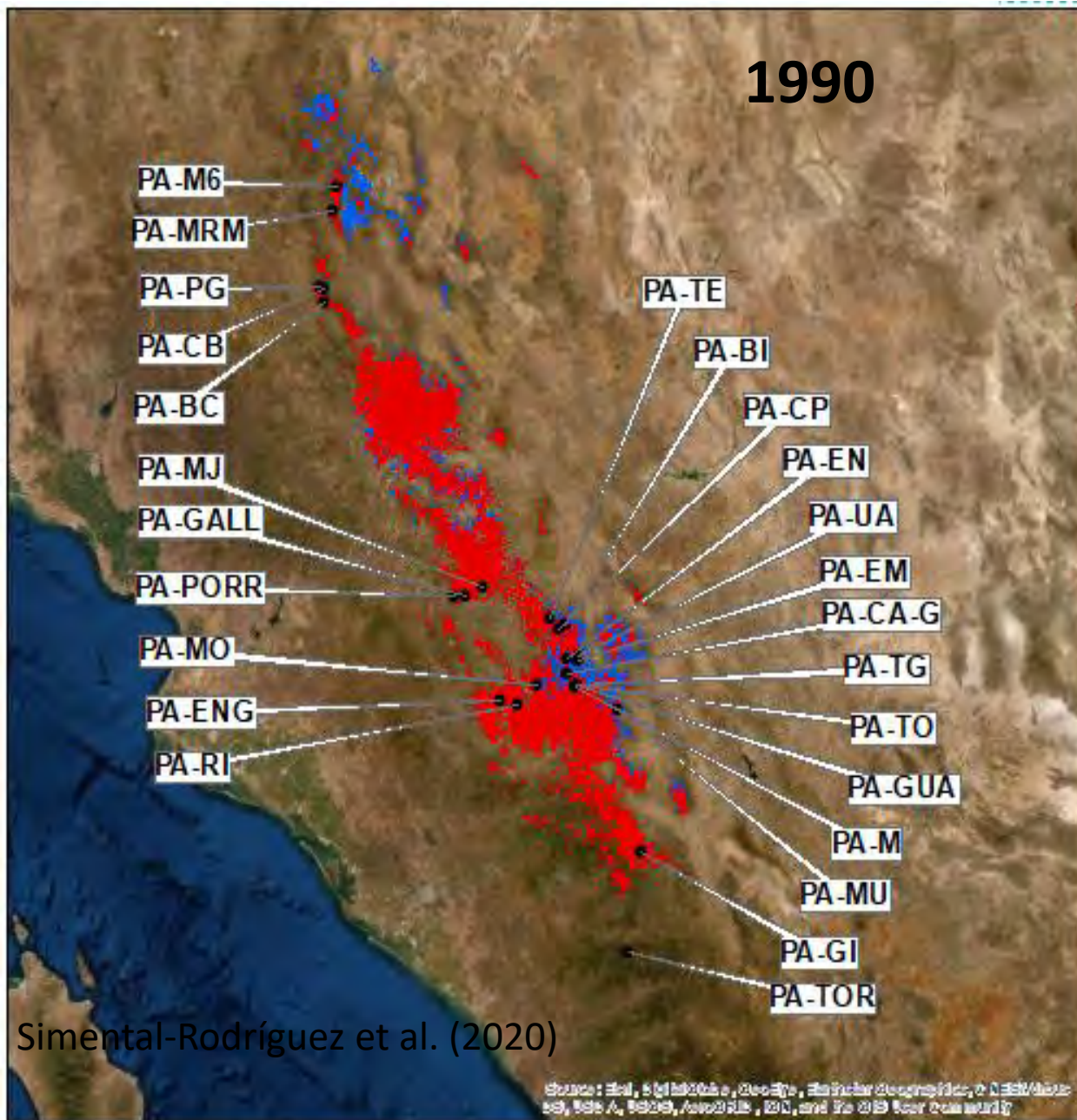
- Ejemplos:
 - *Pinus durangensis*
 - *Pinus arizonica*

En hectáreas			40 años
1990	2019	2030	Pérdida
3,404,011	2,691,212	2,420,840	983,171

= casi un 1 Millón de ha

Sin embargo, no es solamente a causa del clima.

Pinus arizonica

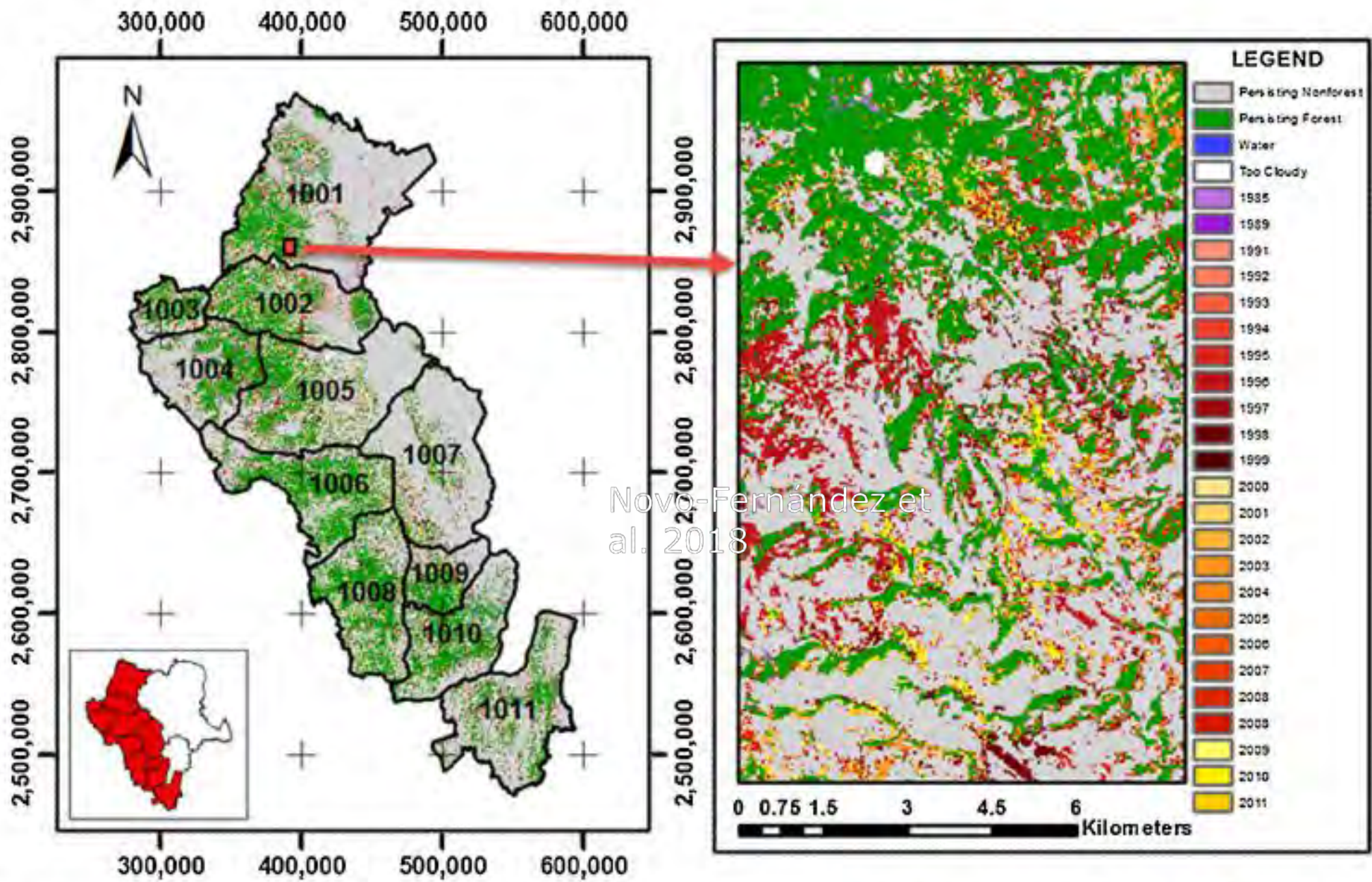


Simental-Rodríguez et al. (2020)

En hectáreas			40 años
1990	2019	2030	Pérdida
2,231,339	1,200,348	809,283	1,422,056

Aprox. un 1.4 Millón de ha

Sin embargo, no es solamente a causa del clima.



Novo-Fernández et al. 2018

Novo-Fernández et al. (2018)

Fig. 3. Forest disturbance patterns mapped by the VCT algorithm during the period 1986–2012 for the temperate forest of the Sierra Madre Occidental of Durango State. The legend details the map classification system. The first four map categories are static classes which are consistent throughout the time series. Forest change pixels are classified according to the year in which the disturbance occurred.

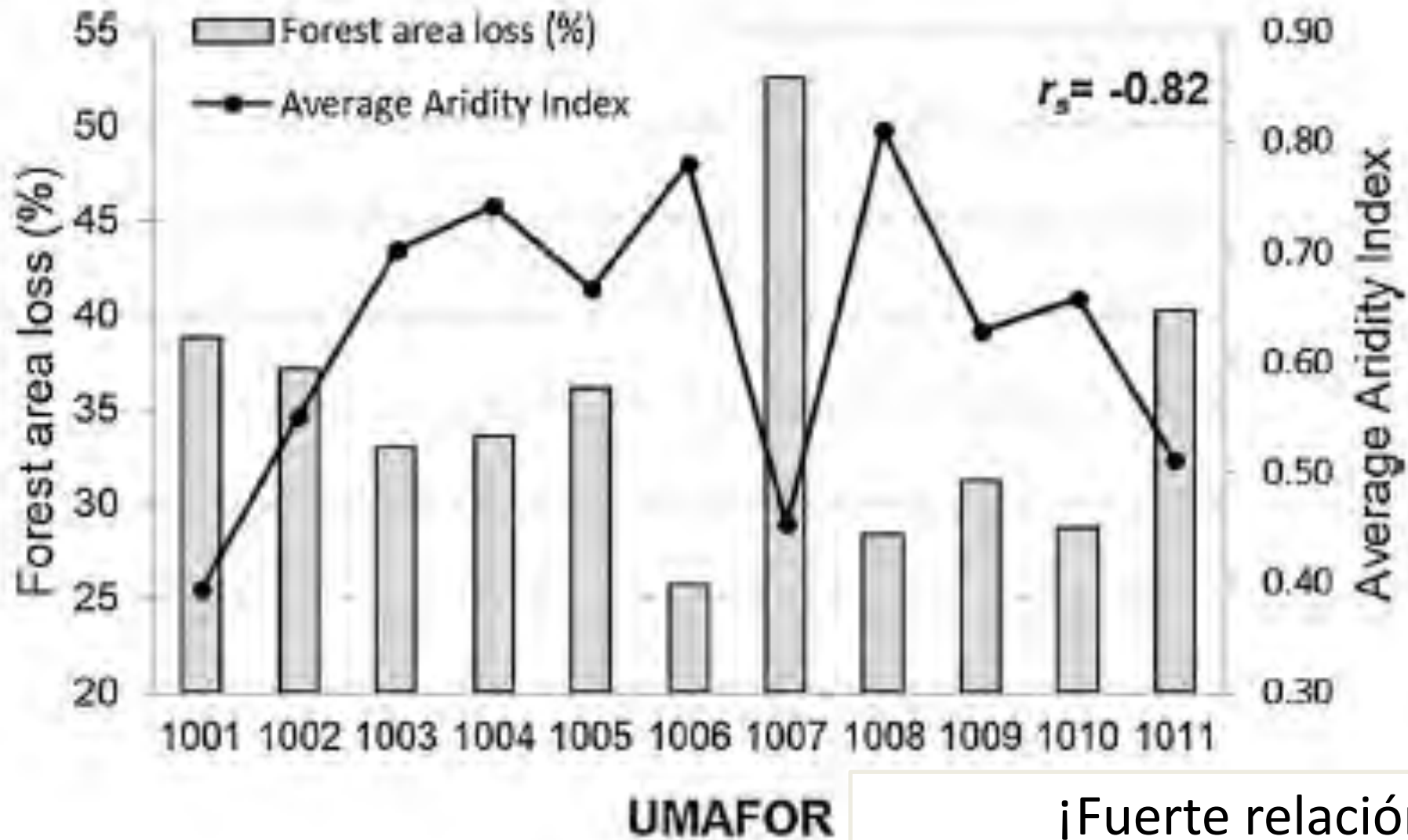
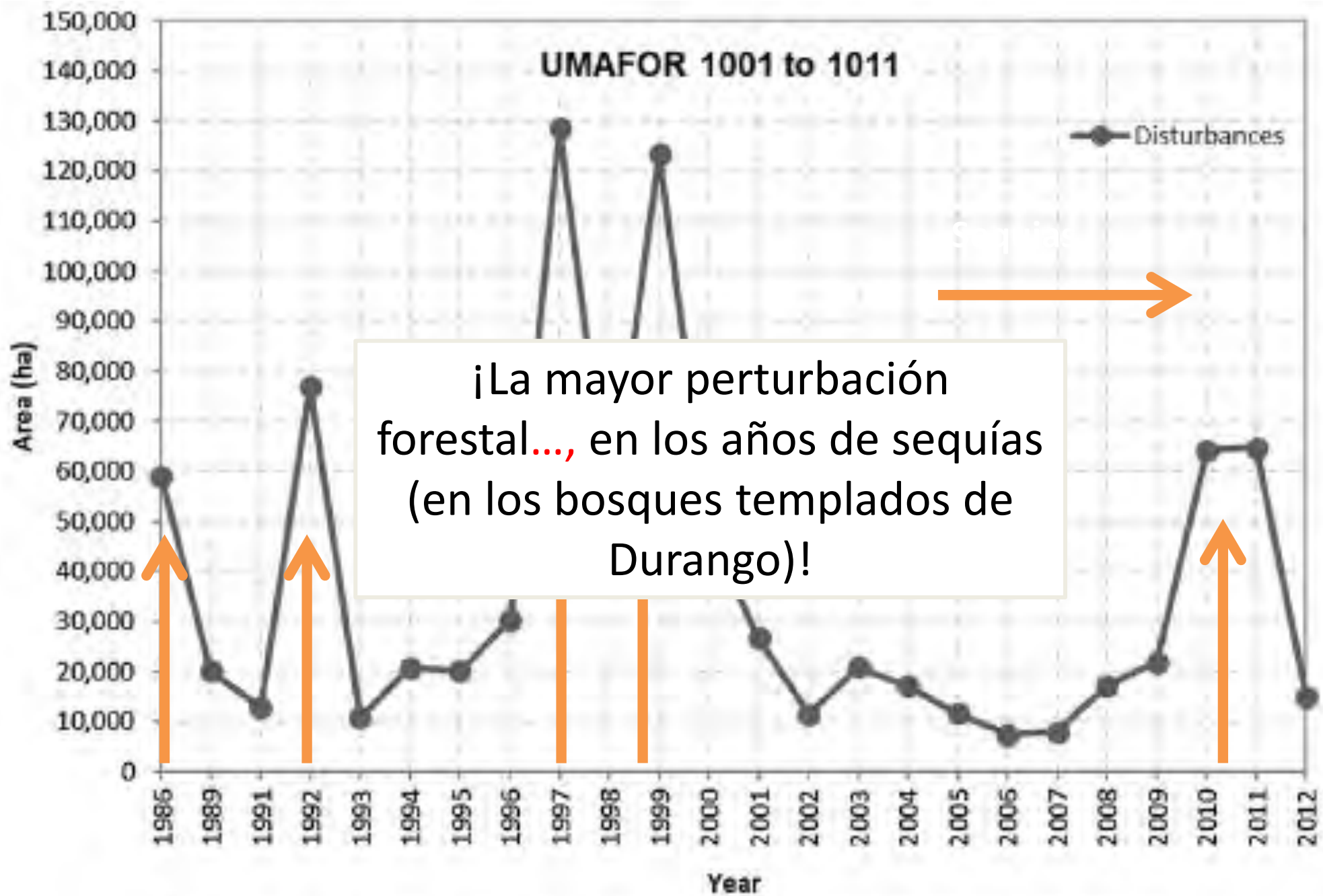


Fig. 6. Forest disturbance detected using the V and aridity index in each UMAFOR. Note that as more humid conditions, and lower for more ar

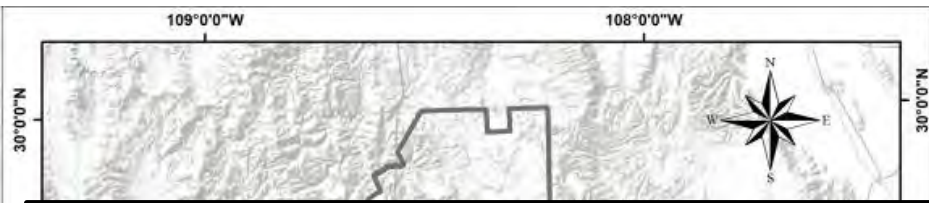
¡Fuerte relación negativa entre la pérdida de cobertura forestal y el Índice de Aridez!



Años vs. perturbaciones en los bosques templados de Durango

Fig. 5. Disturbance statistics for all UMAFORs considered as a single set.

Maciel-Nájera et al. (2020) encontraron siete parcelas de 100 x 100 m en los bosques templados de Madera, Chihuahua:



Causa principal:
Sequías de 2011 y 2012



Consecuencias:

El Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares, parece no ser sustentable, con un clima más árido en Madera, Chih.



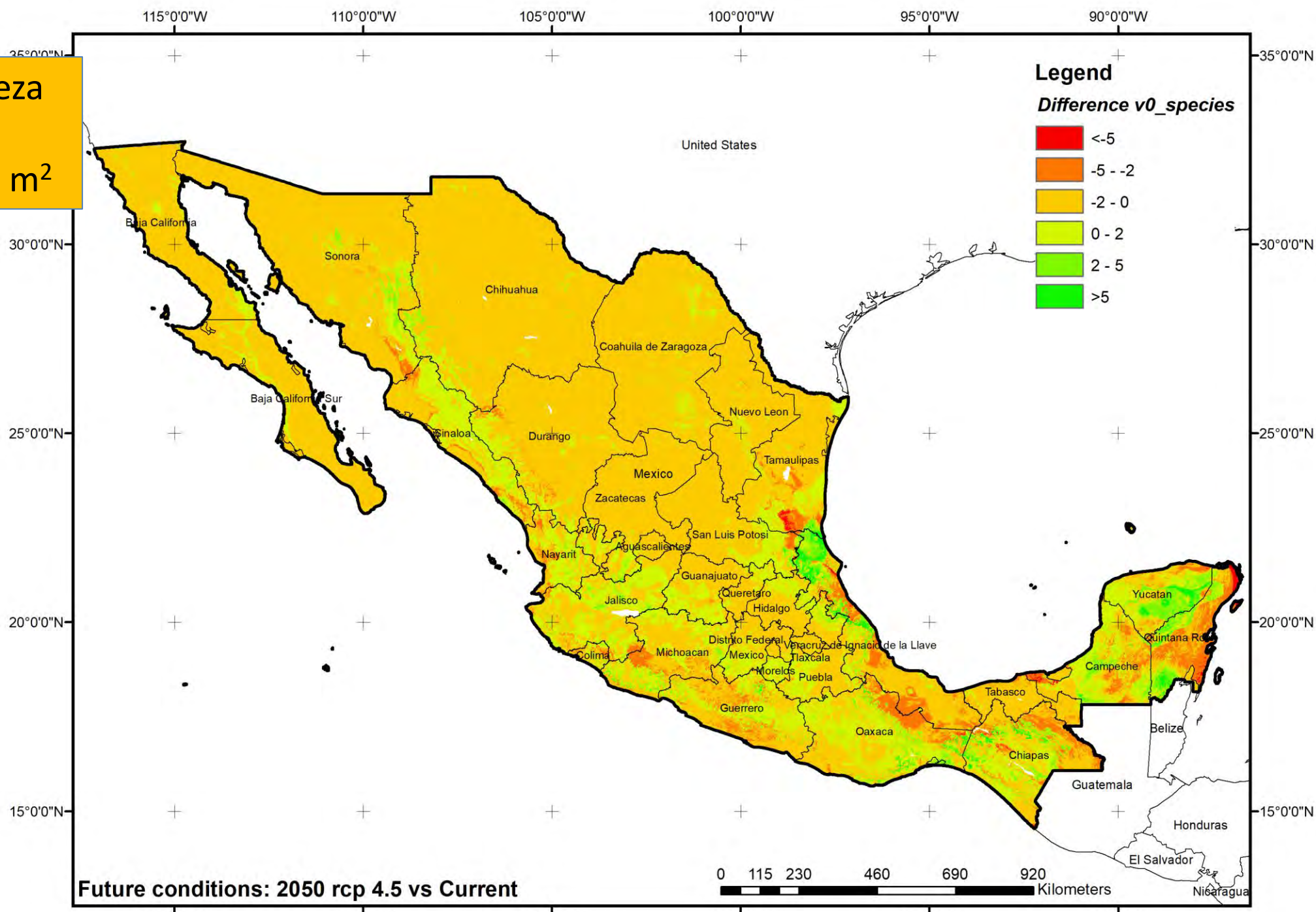
- △ Colonia Nicolás Bravo 2
- × Ejido El Oso, La Avena y Anexos
- Ejido La Norteña
- Chihuahua state
- Madera municipality

m asl.

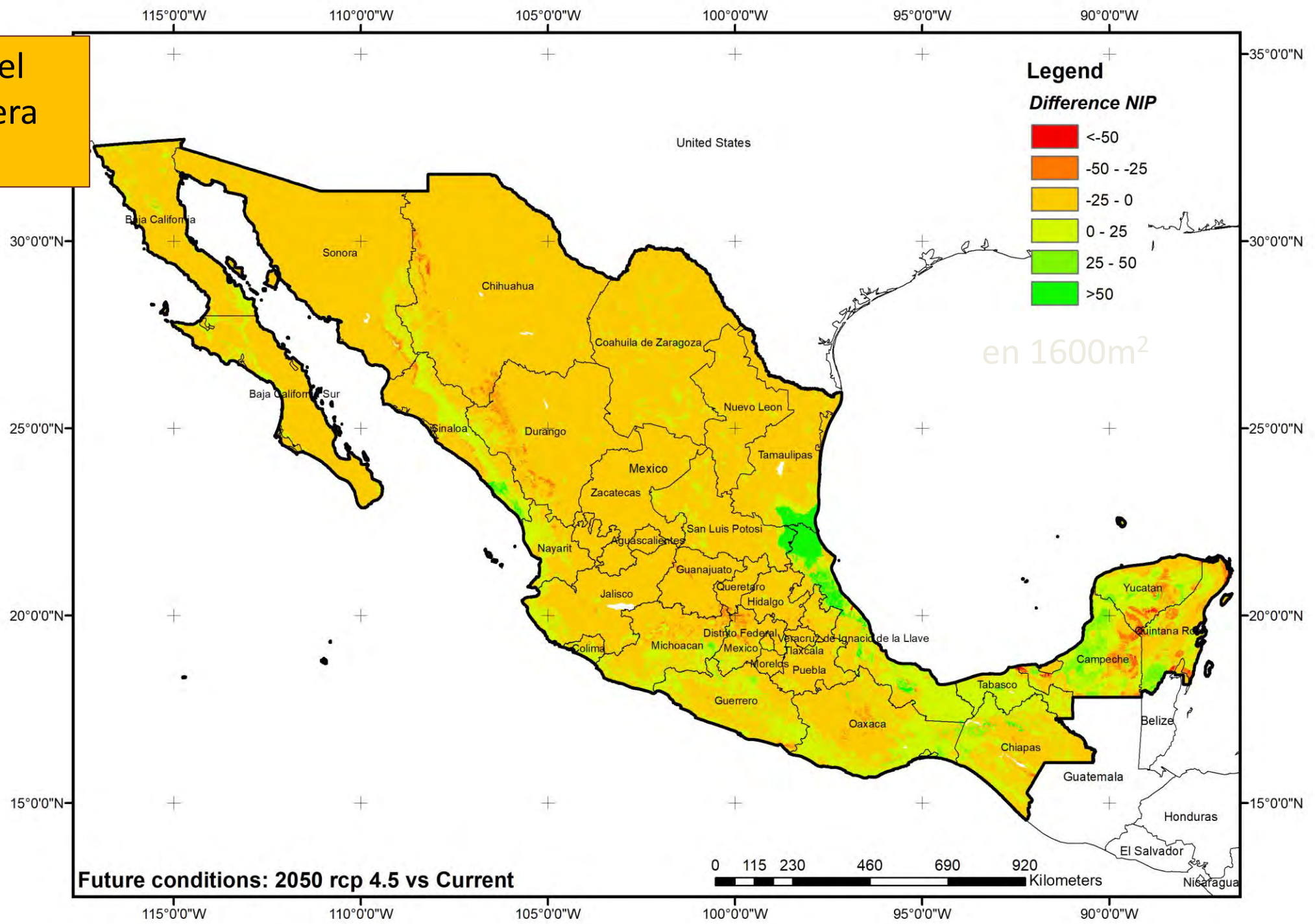
Cambios de las condiciones ambientales:
Cambio climático – Ejemplos

Pronósticos de las distribución de la diversidad
de la especies arbóreas en México

Cambio de la riqueza de las especies arbóreas en 1,600 m²



Pérdida de 20% del volumen de madera en 30 años



Entonces,
¿qué **soluciones**
hay en los bosques
para hacer frente al
cambio climático?



Bosque muerto en Alemania

© Bundespolizei

Una (la única?) opción para los
forestales:

La silvicultura **adaptativa**

~ **Ecología aplicada**

+

Genética aplicada

En general: Adaptación de ecosistemas al cambio climático

- 1. Diagnósticos** integrados de vulnerabilidad y de adaptación al cambio climático.
- 2. Identificación y priorización de medidas de adaptación.**
- 3. Incorporación** del enfoque de adaptación en los **instrumentos de planificación, inversión y gestión** del desarrollo.
- 4. Mecanismos para la reducción de riesgos de desastres.**

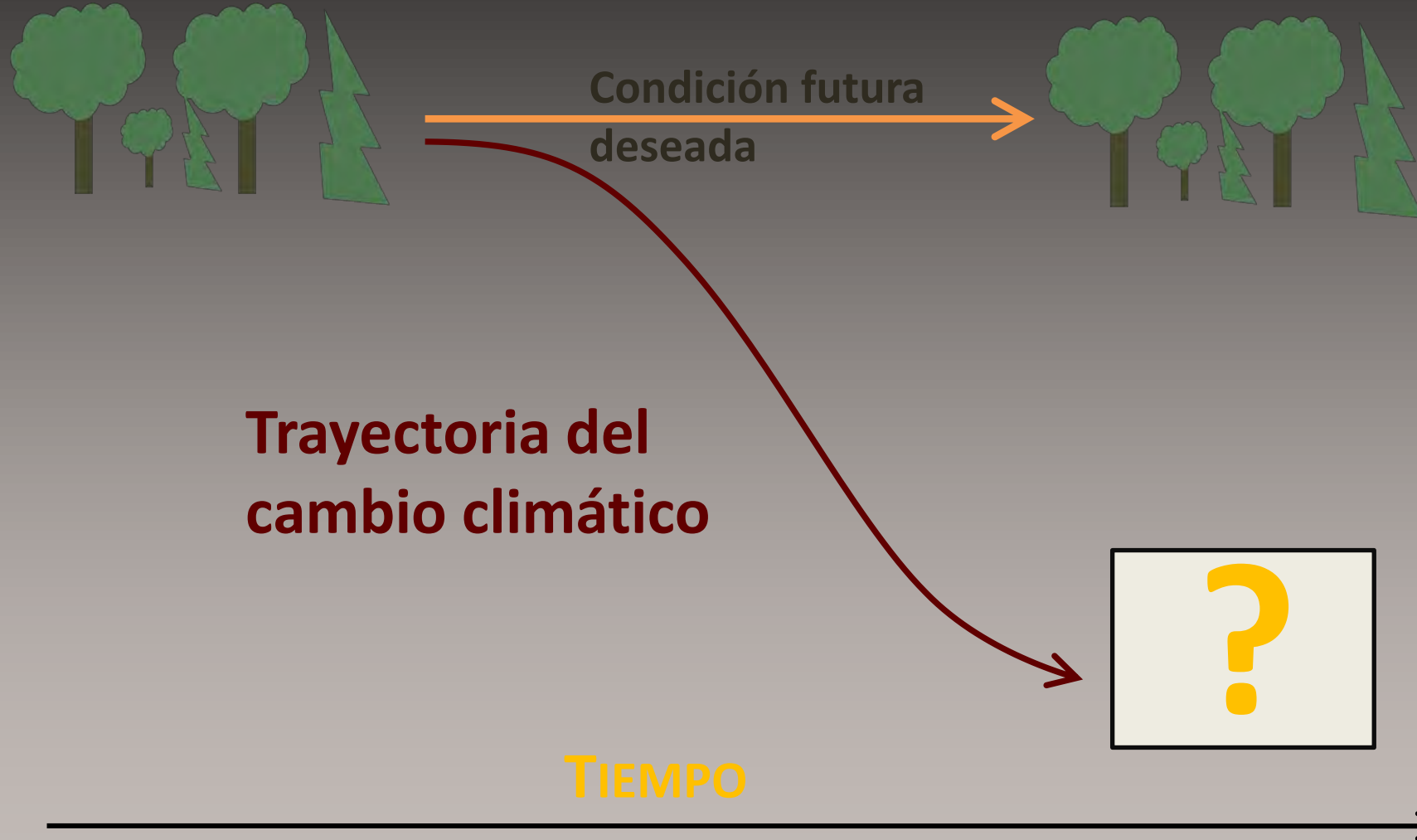
Silvicultura **adaptativa** (1)

- **no** apunta principalmente a **preservar y desarrollar la composición y estructura de los bosques,**
- sino a **fomentar un sistema** para
 - **tratar la funcionalidad** de los ecosistemas forestales en condiciones de cambios ambientales,
 - como un requisito previo para satisfacer las necesidades futuras.

Silvicultura adaptativa (2)

- implica una gran variedad de medidas diferentes que apoyan a
 - la **resistencia al estrés**,
 - la **resiliencia** y
 - la **respuesta dinámica**
- de los bosques,
- la que representa un conjunto de **respuestas/estrategias específicas a los impactos de los cambios ambientales extremos.**

Cambios impulsados por el clima



Opciones de adaptación

Manejo de Persistencia:

Los ecosistemas siguen todavía
en su mismo carácter

Manejo del Cambio:

Los ecosistemas han cambiado
fundamentalmente a algo
diferente

Resistencia

Resiliencia

**Transición
(Respuesta)**

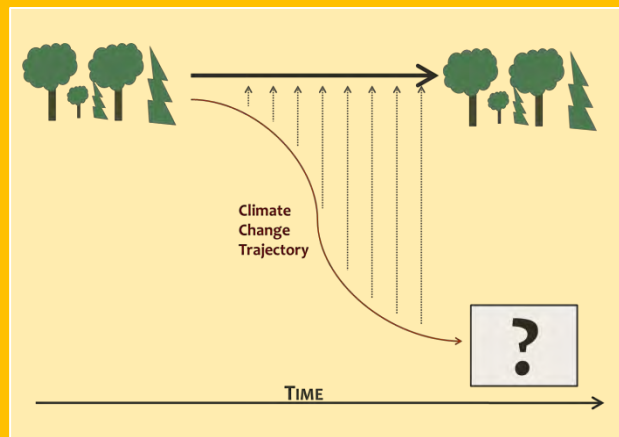


Reducir los impactos /
mantener las
condiciones actuales

Mirando hacia
adelante/
Promover el cambio

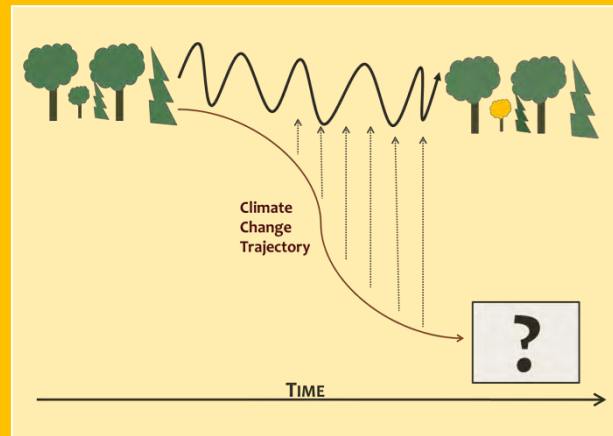
apoyar a - Manejo de Riesgo

RESISTENCIA



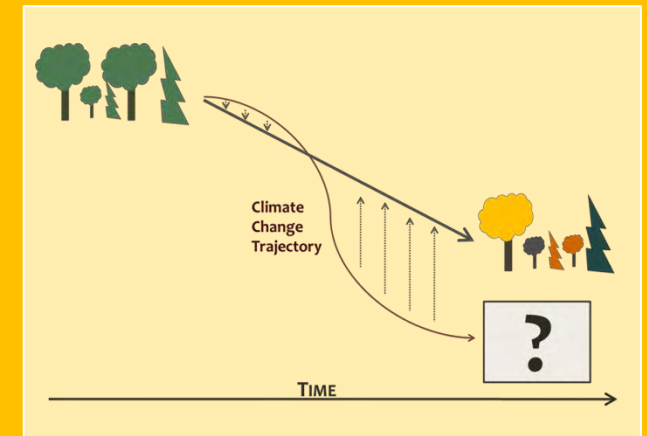
- Mejorar las defensas del bosque contra el cambio
- Mantener condiciones relativamente sin cambios

RESILIENCIA



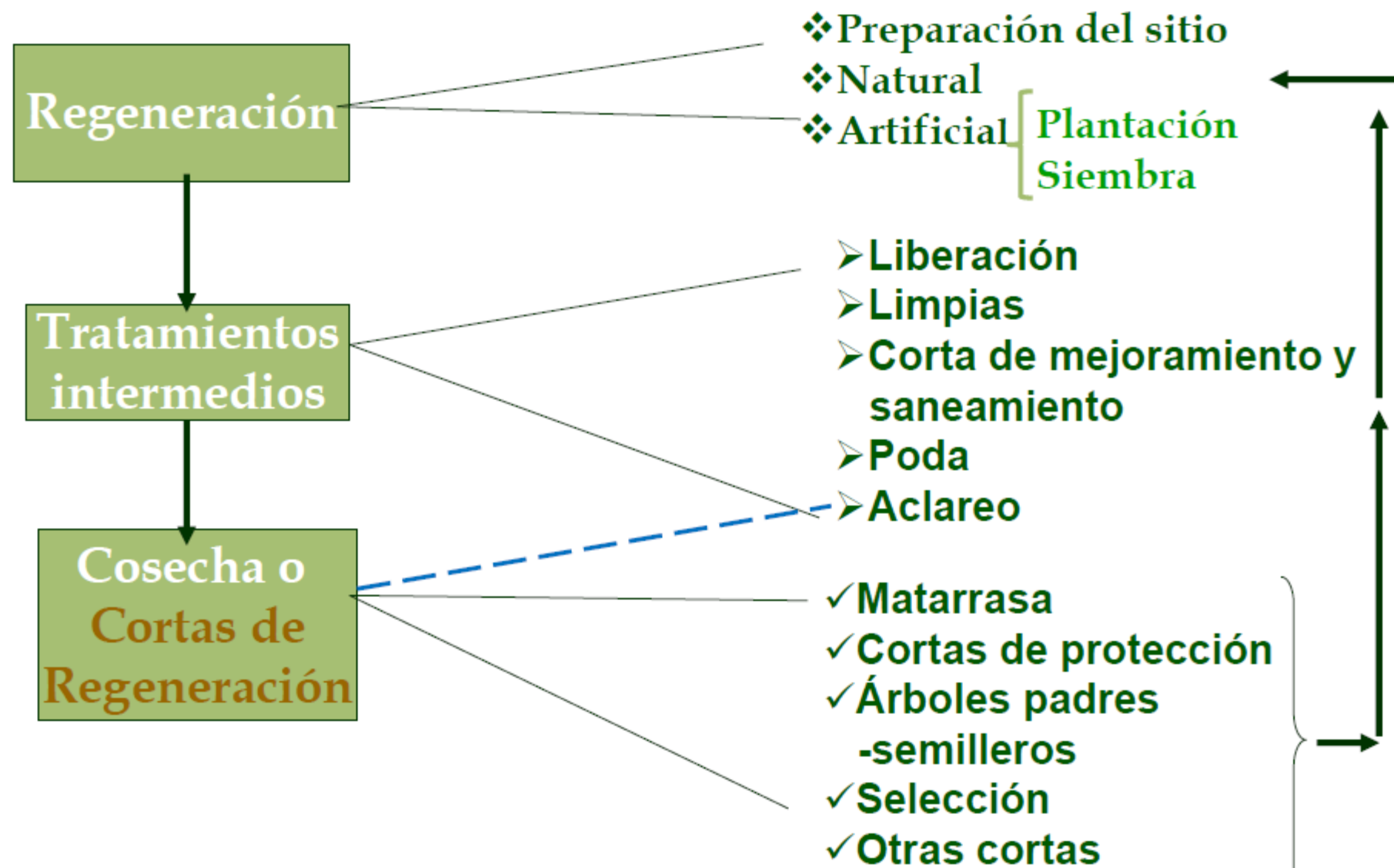
- Acomodar algún grado de cambio
- Volver a la condición previa después de la perturbación

TRANSICIÓN



- Facilitar el cambio
- Permitir que el ecosistema responda a condiciones nuevas y cambiantes.

- COMPONENTES DE UN SISTEMA SILVÍCOLA -



Estrategias de silvicultura para la adaptación a los cambios

- Serían efectivas cuando estén dirigidas hacia factores de estrés que afectan el vigor y la dinámica de los bosques.
- Es esencial conocer cómo afectan estos factores de estrés el bosque, por ejemplo:

Estrategias de silvicultura para la adaptación a los cambios

- ¿Qué procesos fisiológicos y de desarrollo son más vulnerables a un factor de estrés en particular o a un conjunto de factores?
- ¿Cómo los cambios en estos procesos vulnerables afectan la supervivencia, el crecimiento y la productividad de árboles individuales y masas forestales?
- ¿A qué escalas temporales y espaciales actúan los factores de estrés y responden los bosques?
- ¿Cuáles son las consecuencias proyectadas para algunos productos y servicios de los bosques?

Estratégicas para la silvicultura adaptativa

- Existen **tres principales opciones estratégicas** para la silvicultura futura:
 - **perpetuación de las estructuras forestales**,
 - **adaptación activa** incluye la transformación activa del bosque sensibles al cambio climático, y
 - **adaptación pasiva** consiste en la **decisión activa** de cesar las medidas que mantienen las estructuras forestales (creer en la sucesión forestal).

Opciones de manejo (herramientas):

- Manejo de la densidad
- Manejo de la composición
- Reducir amenazas

Manejo de la densidad

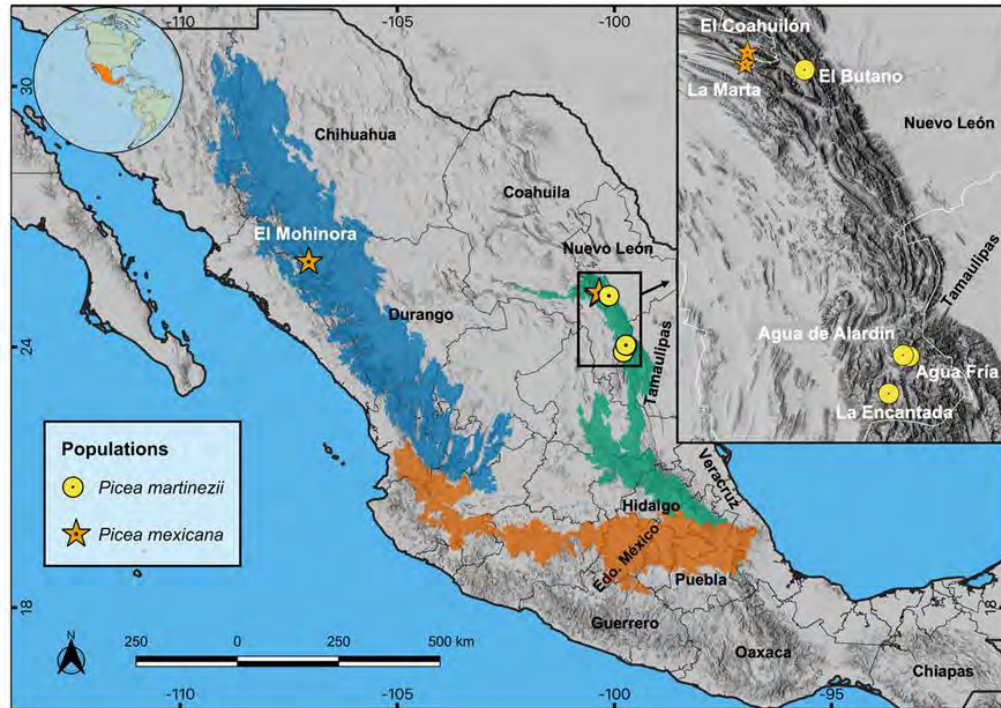
- disminuir sustancialmente los riesgos de los árboles individuales y el vigor del rodal por
 - cambiar la humedad en el rodal,
 - reducir la competencia entre los arboles
 - reducir el riesgo de incendios, y
 - controlar de la vegetación del sotobosque.

Manejo de la composición (1)

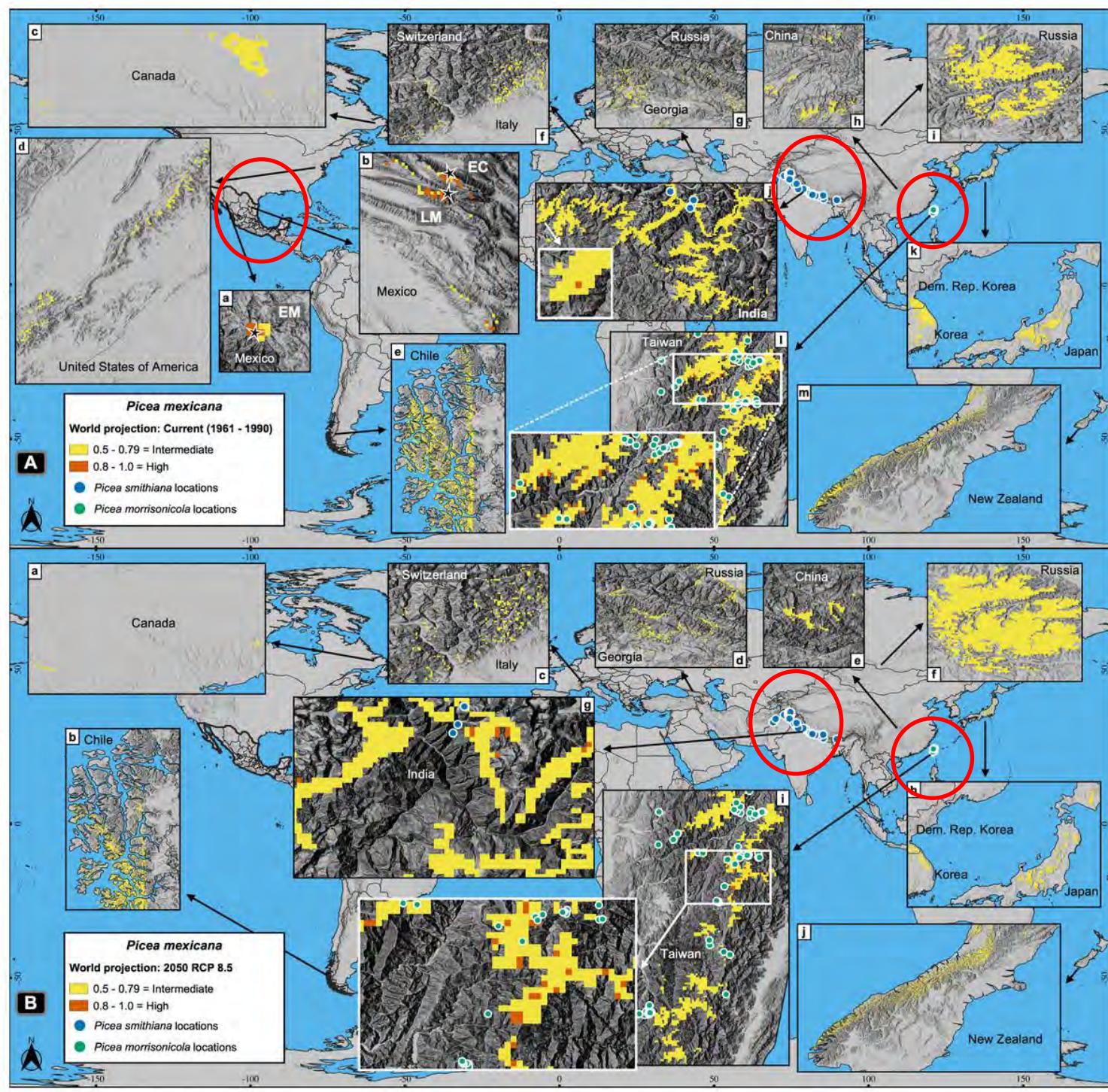
- Restauración de especies componentes
 - Plantación o siembra de **una mayor variedad** de especies y genotipos
- Favorecer a especies adaptables y genotipos
- Incorporar nuevas especies y genotipos
 - para **facilitar la adaptación.**
- Esta "**migración asistida**" puede practicarse con diferentes niveles de intensidad y riesgo.

Migración asistida

– no es una actividad simple



Mendoza-Maya et al. (2022)





**Plantaciones y
reforestaciones
con mas especies
arbóreas**

**México tiene 4,332 especies
arbóreas aprox.**

**¿Pero cuántas especies usamos
para plantar?**

Plantaciones y reforestaciones con híbridos naturales y artificiales

Pinus engelmannii y
P. engelmannii × *P. arizonica*

Pérez et al. (2020)

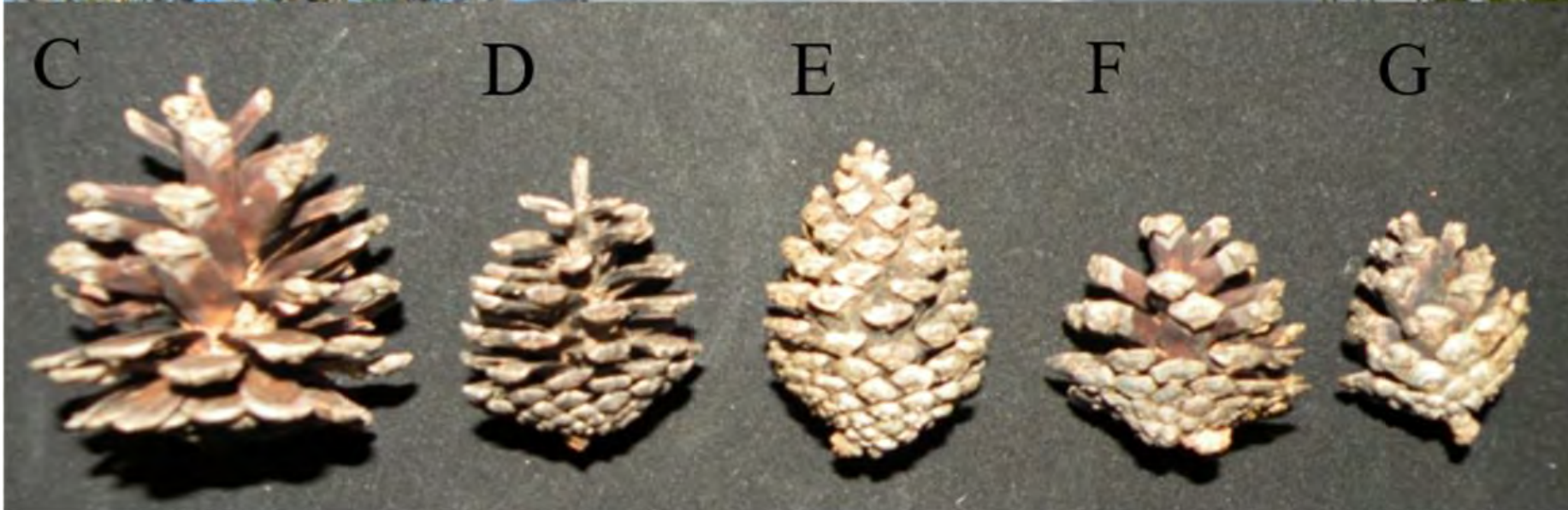




Pinus herrerae



Pinus luzmariae



A

Pinus luzmariae



hasta 15 m

B

Pinus luzmariae x *P. herrerae*

hasta alturas de
40 m



Wehenkel et
al. (2020)

Plantaciones y reforestaciones con **híbridos naturales** de *P. durangensis*

Después de 27 meses de la plantación (octubre de 2020), se encontraron **diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) en la supervivencia** de los individuos **híbridos** (188 plantados) y de la especie **pura** en uno de los ensayos

319 plántulas de 4 procedencias

Sánchez-Hernández et al. (2022)

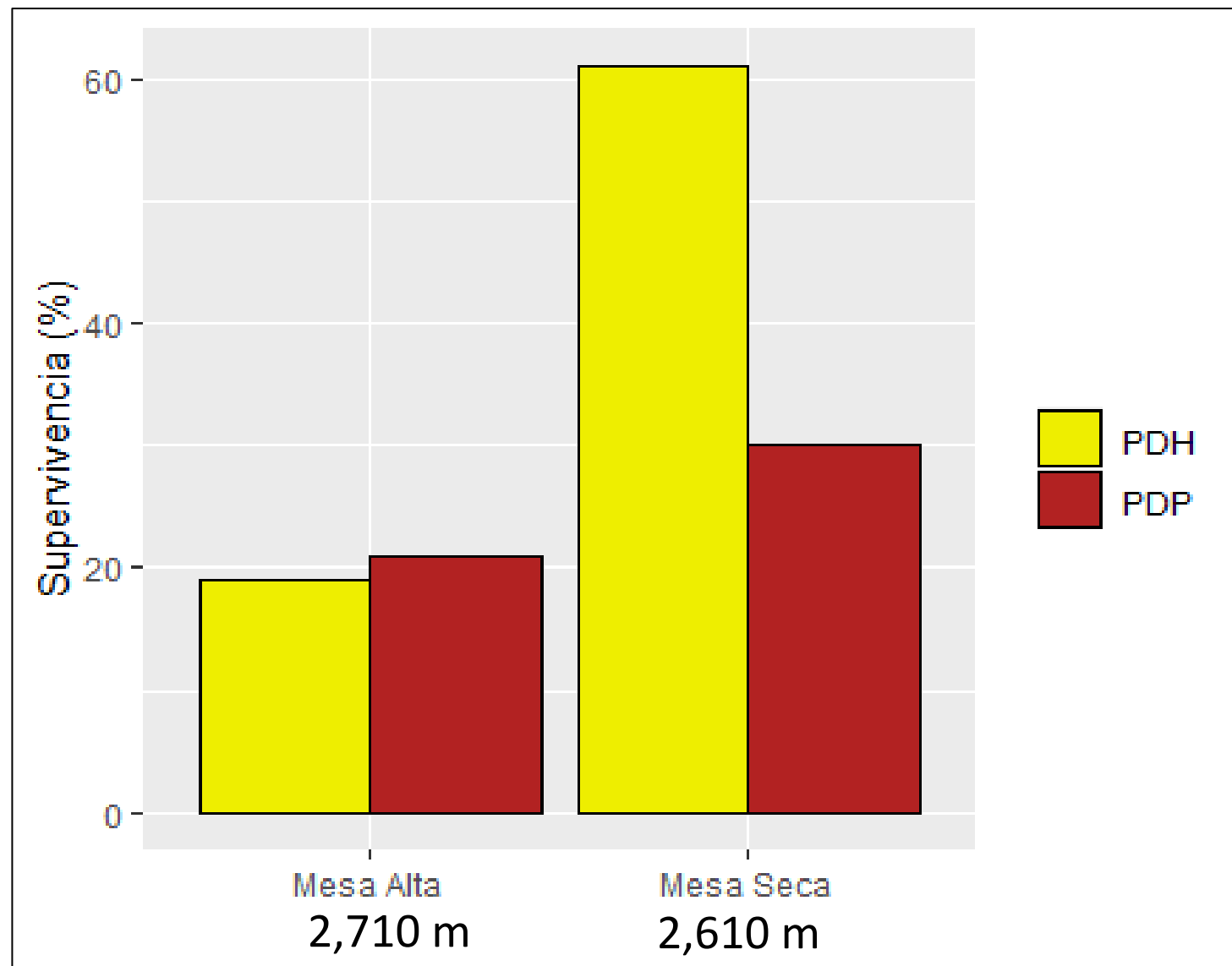


Figura. Supervivencia de los individuos **híbridos** (PDH) e individuos de especies **puros** (PDP) de *P. durangensis* encontrados en ambos ensayos en el campo.

Reducir amenazas

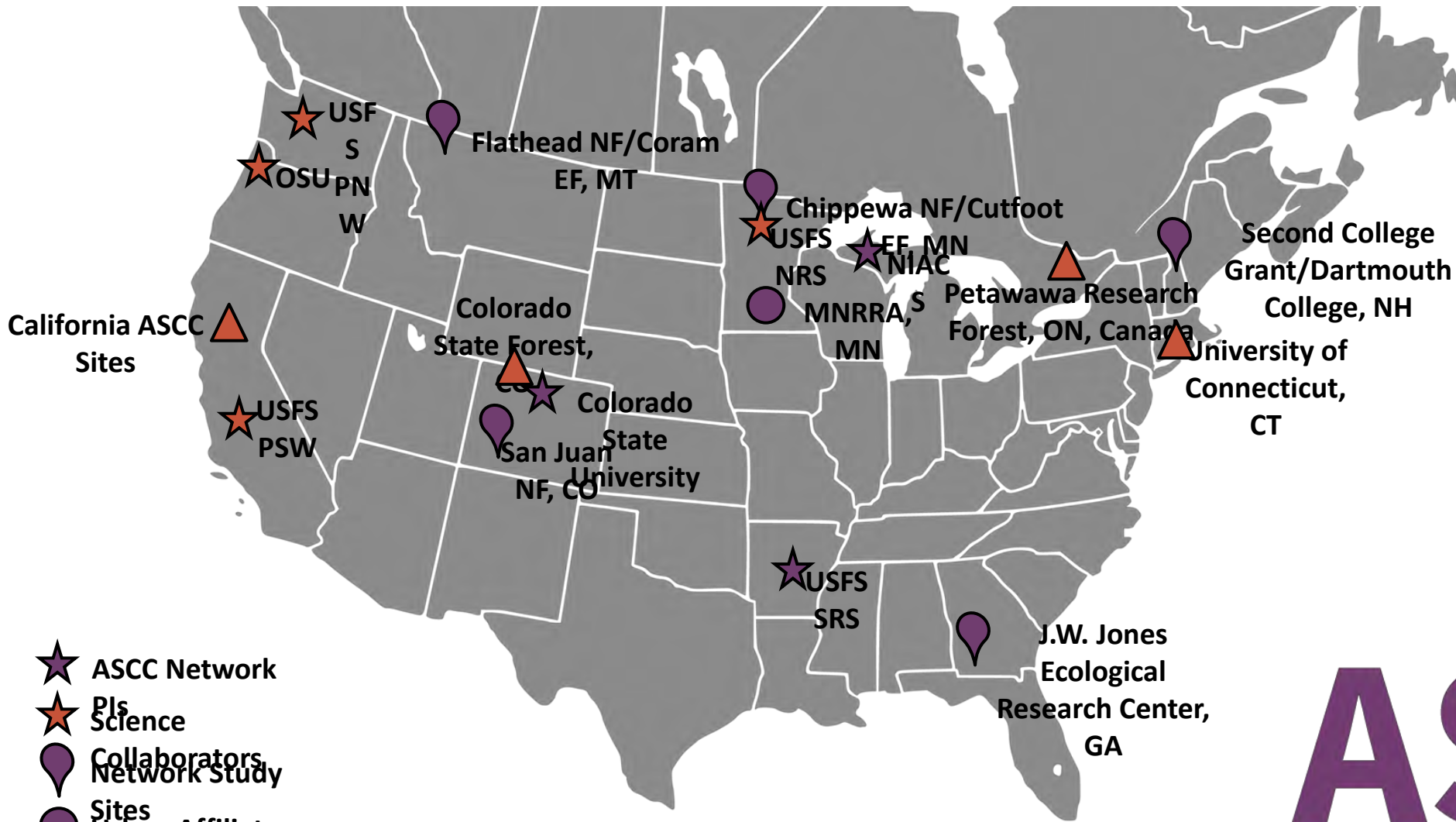
- **bióticas**, p.j. algunos insectos y enfermedades, vectores patógenos, y plantas o animales invasores,
- **físicas**, p.j. fuentes de ignición de incendios,
- también a través de **actividades de aprovechamiento “sanitarias”** (cotas y quemas).



- Sin embargo, nos falta
 - más información para tomar las decisiones correctas (**investigación**) y
 - transferencia de la información al “campo” (**capacitación**).



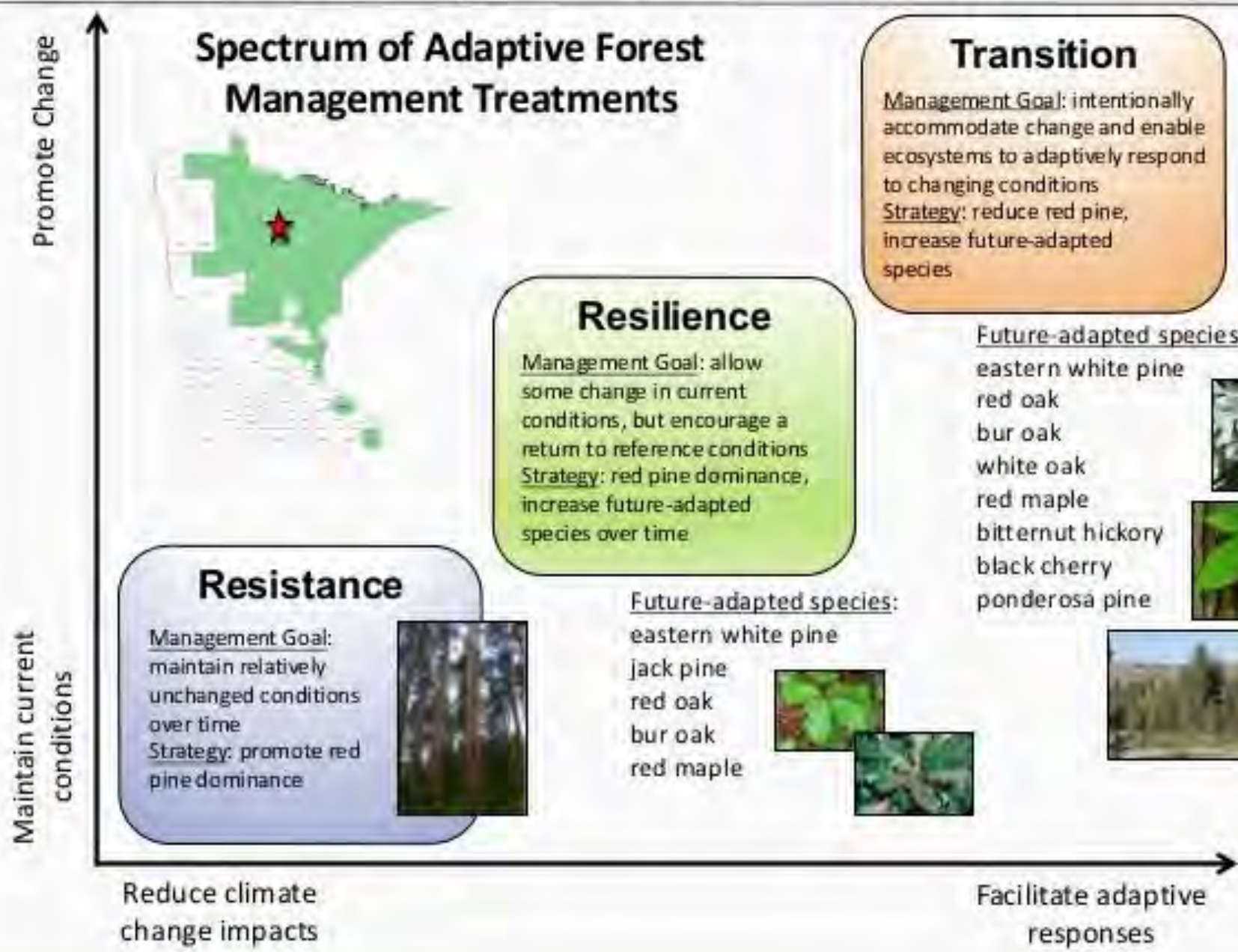
The ASCC Network



- ★ ASCC Network
- ★ PIs Science
- 📍 Collaborators Network Study
- Sites Urban Affiliate
- ▲ Sites Prospective
- ▲ Sites



Cutfoot Experimental Forest, MN





Colegio de
Postgraduados



¡GRACIAS!



Fagus mexicana



Colegio de
Postgraduados



Resultados del establecimiento y análisis de parcelas permanentes de medición en Ixtlán de Juárez

Presenta:

Dr. Wenceslao Santiago García

wsantiago@unsij.edu.mx

Fecha:

19 de abril de 2023



Contenido

01

Introducción

02

Sistema de monitoreo

- Definiciones básicas
- Importancia de un sistema de monitoreo forestal
- Objetivos
- Parcelas permanentes
 - Masas puras
 - Masas mezcladas

03

Herramientas biométricas y silvícolas

- Sistemas de crecimiento y rendimiento
- Tablas de rendimiento
- Otros usos de los sistemas de crecimiento y rendimiento
- Crecimiento de masas mezcladas
- Estructura observada y estructura meta
- Publicaciones

04

Comentarios finales

- Conclusiones
- Recomendaciones

LEY GENERAL DE DESARROLLO FORESTAL SUSTENTABLE

Art 2. III.

Impulsar la silvicultura, el manejo y el aprovechamiento sustentable de los recursos forestales, para que contribuyan con bienes y servicios que aseguren el mejoramiento de la calidad de vida de la población, con la participación corresponsable de los propietarios y legítimos poseedores de terrenos forestales.

01:

Introducción

Resultados del
establecimiento y análisis
de parcelas
permanentes de medición
en Ixtlán de Juárez

El Estándar Nacional de Manejo
Forestal Responsable FSC de México

**Principios, criterios
e indicadores**

Principio 5.

Beneficios del Bosque: Los niveles de aprovechamiento de madera en bosques naturales se basan en un análisis de la **Normativa técnica nacional**; **Investigación forestal regional generada por instituciones y empresas forestales**; **Inventarios forestales de existencias, incluyendo regeneración, mortalidad y crecimiento.**

Principio 7.

Planificación del manejo: La Organización deberá contar con un plan de manejo. **Este plan de manejo deberá implementarse y mantenerse actualizado basándose en la información del monitoreo.** La Organización deberá actualizar y revisar periódicamente la planificación de manejo.

Principio 8.

Monitoreo y evaluación: La Organización deberá analizar los resultados del monitoreo y evaluación e integrar los resultados de estos análisis en los procesos de planificación. **Los resultados del monitoreo proporcionan información para llevar a cabo actualizaciones periódicas del proceso de planificación y del Plan de manejo.**

02:

Sistema de monitoreo

Resultados del
establecimiento y análisis
de parcelas
permanentes de medición
en Ixtlán de Juárez



Definiciones básicas

Sistema de monitoreo

Es un instrumento de política forestal que integra procesos para la recopilación, análisis y divulgación sistemática de los datos relacionados con los ecosistemas forestales y, la generación de información y conocimiento sobre el uso, estado y tendencias de los ecosistemas forestales (FAO, 2017; CONAFOR, 2020).

Parcela permanente

Es aquella que ha sido medida por lo menos tres veces sucesivas. La información derivada de parcelas permanentes representa la base más importante para obtener resultados sobre el crecimiento, producción y evolución de las masas forestales (Gadow *et al.*, 1999).

Rodal puro

Cuando una especie en particular representa arriba del 80% de los individuos presentes en un rodal, éste se puede clasificar como puro (Musálen y Fierros, 1996).

Rodal mezclado

Esta compuestos por especies de diferente temperamento, edad y hábito de crecimiento (Musálen y Fierros, 1996).

Importancia del sistema de monitoreo

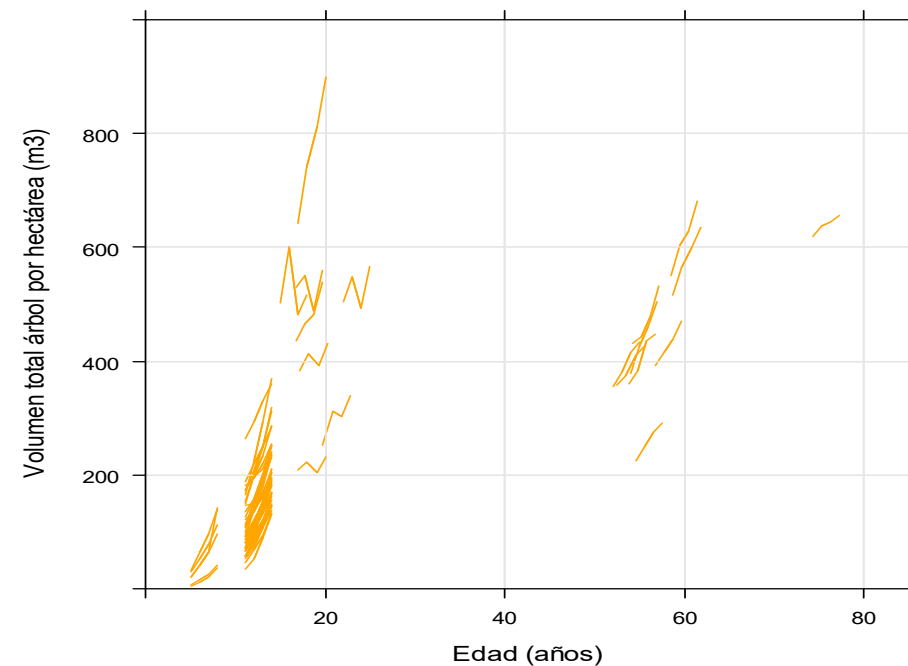
Un sistema de monitoreo a través del establecimiento de parcelas permanentes permite la investigación de largo plazo. Estos sitios son seleccionados cuidadosamente para garantizar la representatividad de los diferentes tipos de bosques y ecosistemas existentes en la región de estudio. En estos sitios se realizan mediciones y evaluaciones regulares, para estudiar la evolución de los bosques y los efectos de diferentes técnicas de manejo forestal. Los datos recopilados se utilizan para desarrollar modelos que ayudan a predecir el crecimiento de los bosques, su rendimiento y la respuesta a diferentes tratamientos silvícolas.

En el marco del fortalecimiento del manejo forestal, la comunidad de Ixtlán de Juárez, ha establecido un sistema de monitoreo forestal, que consiste en parcelas permanentes de muestreo, las cuales constituyen bases biométricas y silvícolas para la elaboración, ejecución y evaluación de programas de manejo forestal.

Objetivos

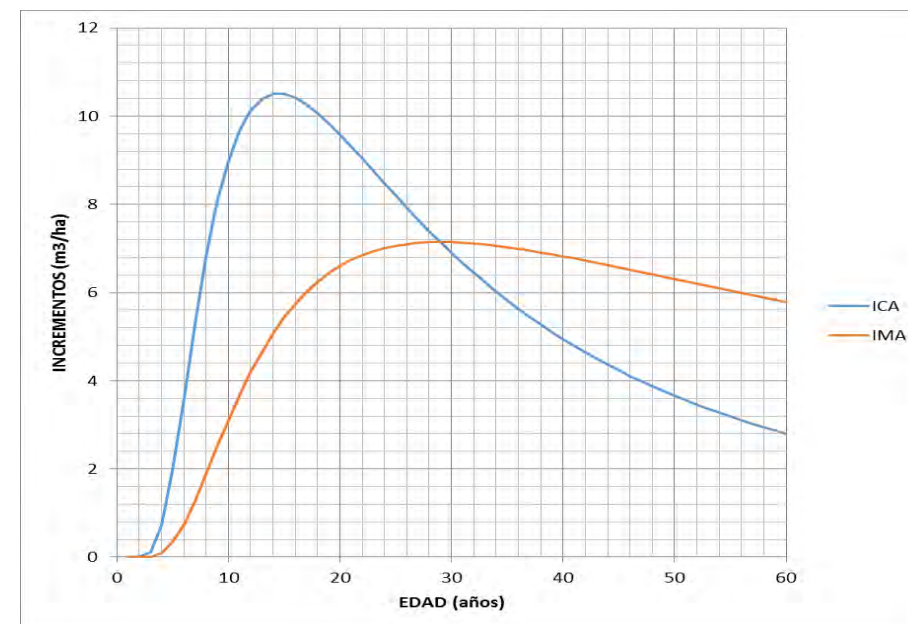
01

Determinar la dinámica de desarrollo del bosque, la capacidad de producción de materias primas, la estructura y diversidad de especies.



02

Constituir las bases biométricas y silvícolas para el manejo forestal de la comunidad.



03

Cumplir con los principios de “El Estándar Nacional de Manejo Forestal Responsable FSC de México”

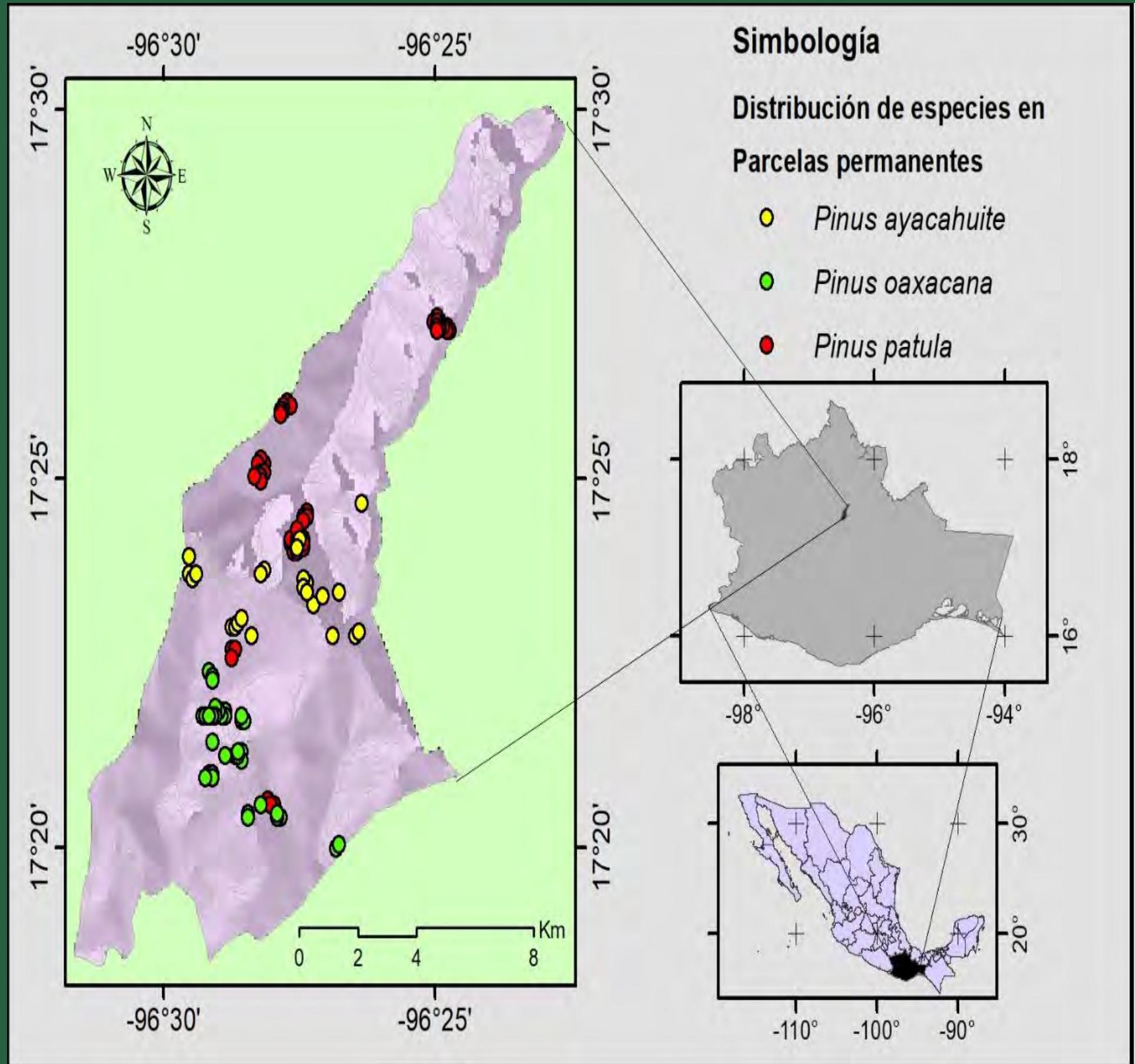


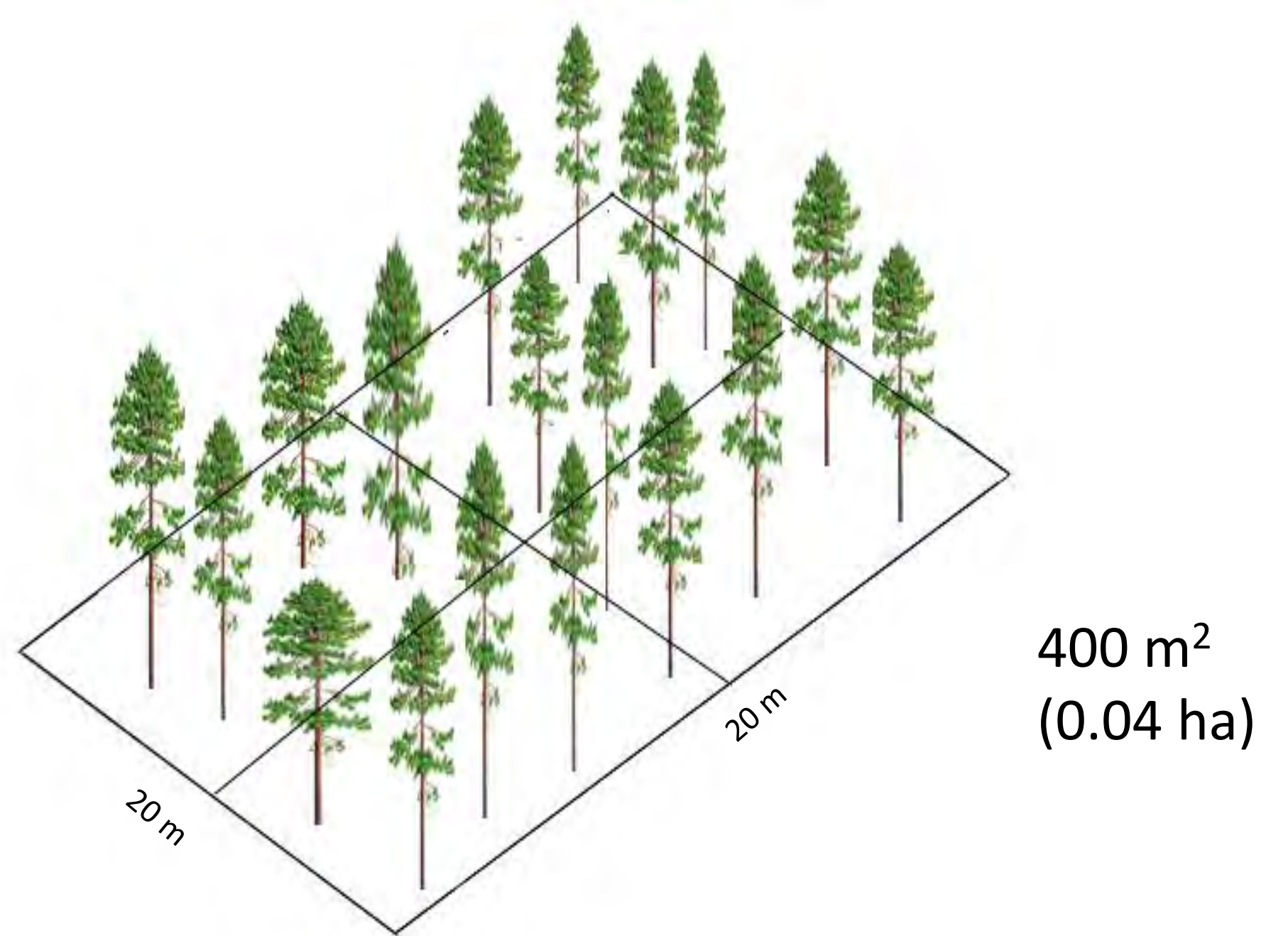
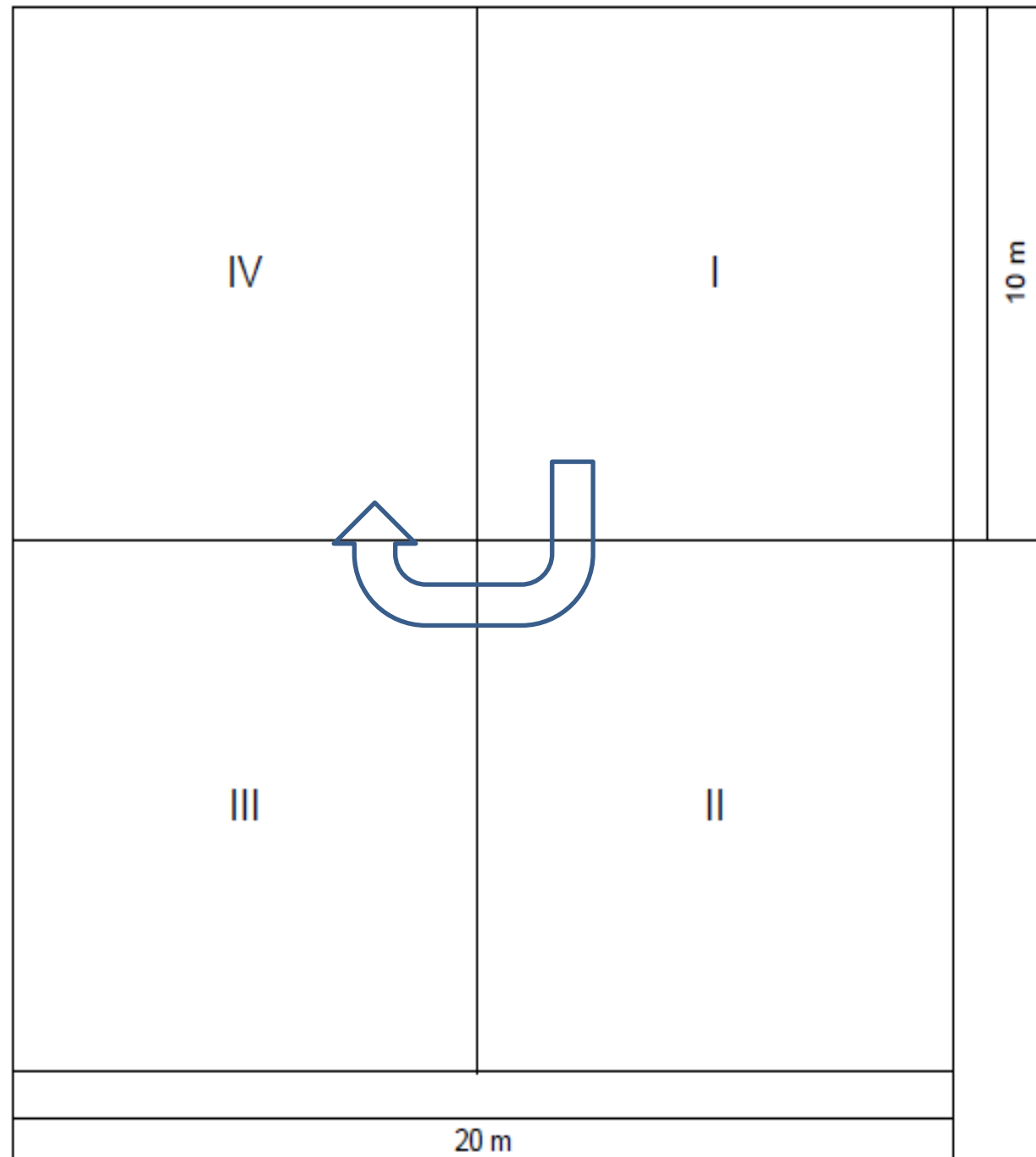
Parcelas permanentes

Inventarios realizados en la red de parcelas permanentes.

Especie	Número de parcelas permanentes	Año de establecimiento	Años de remediciones
<i>Pinus patula</i> (bosque natural)	66	2015	2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021
<i>Pinus patula</i> (Plantación)	18	2021	2022
<i>Pinus oaxacana</i>	44	2015	2016, 2017, 2018, 2019, 2021
<i>Pinus ayacahuite</i>	24	2019	2023
<i>Mezcla de especies</i>	40	2018	2021

Parcelas permanentes en masas puras





Esquema del establecimiento de parcelas permanentes en masas puras.



Parcela permanente de *P. patula* en Ixtlán de Juárez, Oaxaca

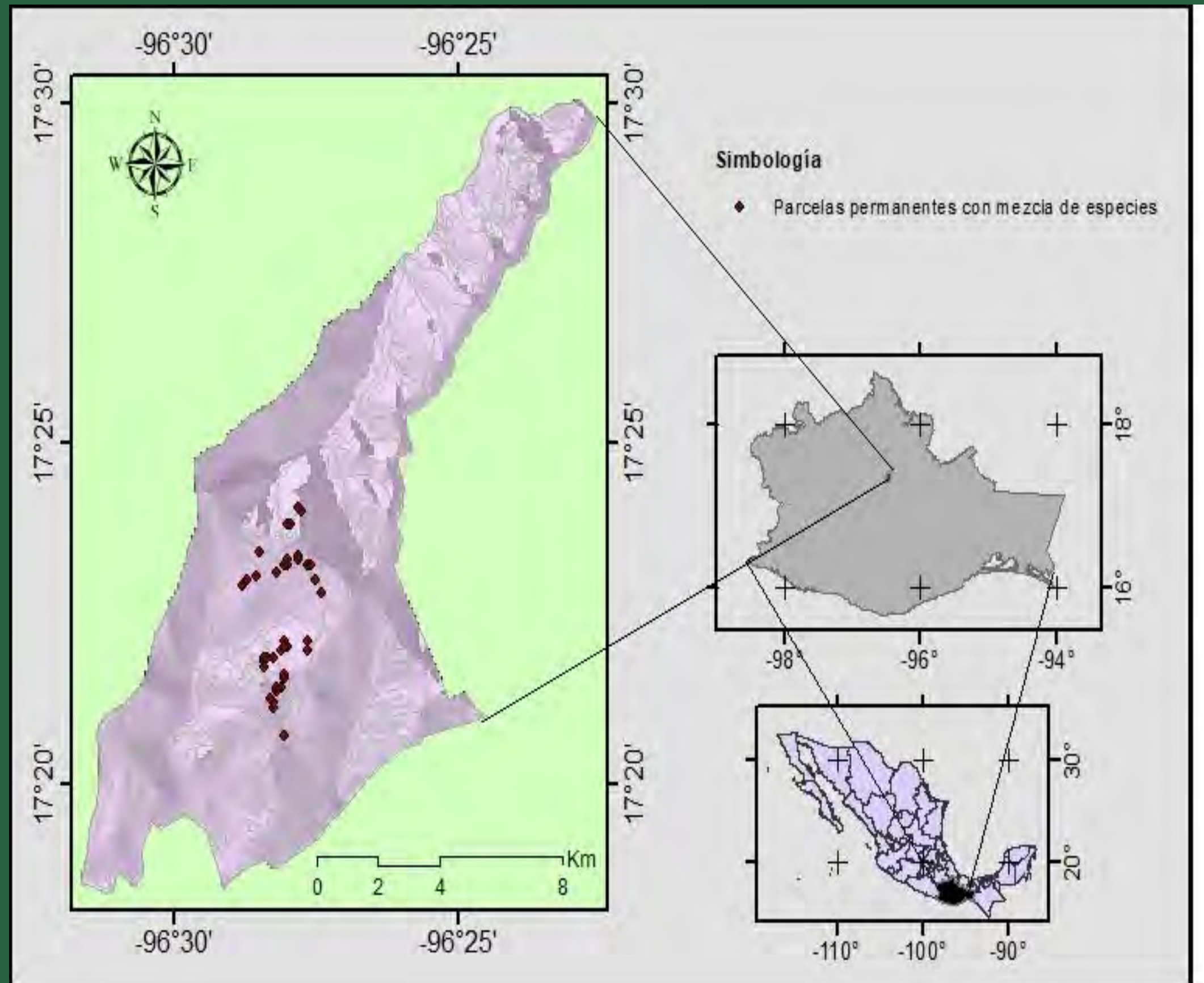


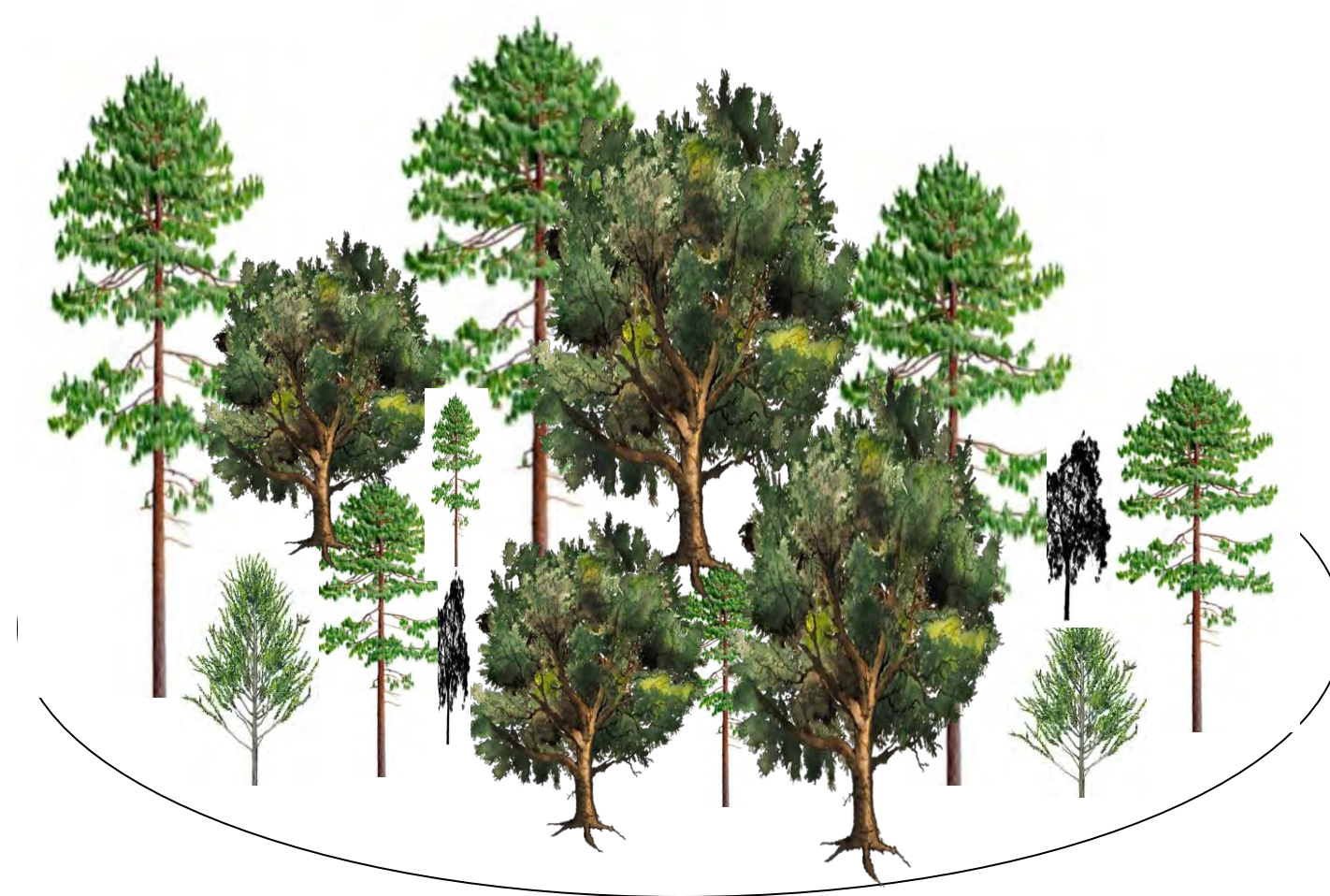
Parcela permanente de *P. oaxacana* en Ixtlán de Juárez, Oaxaca



Parcela permanente de *P. ayacahuite* en Ixtlán de Juárez, Oaxaca.

Parcelas permanentes en masas mezcladas





1 000 m²
(0.1 ha)

Esquema del establecimiento de parcelas permanentes en masas mezcladas.

Ilustraciones de árboles:
Trejo, D. A. R., & Barrera, L. Q. Pinus L.(Pinaceae).
www.biodiversidad.gob.mx



Panorámica de una parcela permanente con mezcla de especies.



03: **Herramientas biométricas y silvícolas**

Resultados del
establecimiento y análisis
de parcelas
permanentes de medición
en Ixtlán de Juárez

Sistemas de crecimiento y rendimiento maderable (SCRM)

Definición

Un SCRM es un conjunto de modelos que describen de manera cuantitativa la dinámica del crecimiento en un rodal forestal. Esta dinámica es reflejada en los cambios de magnitud de las variables del rodal como la altura dominante, el diámetro promedio de los árboles, el área basal, el número de árboles por unidad de superficie y el volumen (Santiago-García *et al.*, 2015).

Importancia

Los SCRM permiten simular a través del tiempo infinidad de escenarios silvícolas bajo diferentes calidades de sitio y niveles de densidad, por lo que representan herramientas biométricas y silvícolas eficientes para planificar el manejo forestal sustentable.

Objetivo

Conocer la dinámica de crecimiento de los rodales de *Pinus patula*, *P. oaxacana* y *P. ayacahuite*, para sentar bases biométricas y silvícolas para el manejo forestal en la comunidad de Ixtlán de Juárez, y demostrar el esquema de monitoreo silvícola implementado en los bosques de la comunidad.

SCRM para *Pinus oaxacana* y *Pinus patula*

Función de mortalidad

$$NA_2 = NA_1 \times \exp \left[\phi_1 \times IS \times (E_2 - E_1) \right] \quad [1]$$

Diametro promedio

$$DP_1 = \exp \left[\alpha_0 + \frac{\alpha_1}{E_1} \times NA_1 + \alpha_2 \times HD_1 \right] \quad [2]$$

$$DP_2 = \exp \left[\ln(DP_1) + \alpha_1 \left(\frac{NA_2}{E_2} - \frac{NA_1}{E_1} \right) + \alpha_2 (HD_2 - HD_1) \right] \quad [3]$$

Area basal

$$AB_1 = \exp(\delta_0) \times HD_1^{\delta_1} \times \exp \left(\frac{\delta_2 + \delta_3 \times NA_1 + \delta_4 \times HD_1}{E_1} \right) \quad [4]$$

$$AB_2 = AB_1 \times \left(\frac{HD_2}{HD_1} \right)^{\delta_1} \times \exp \left[\delta_2 \left(\frac{1}{E_2} - \frac{1}{E_1} \right) + \delta_3 \left(\frac{NA_2}{E_2} - \frac{NA_1}{E_1} \right) + \delta_4 \left(\frac{HD_2}{E_2} - \frac{HD_1}{E_1} \right) \right] \quad [5]$$

Volumen

$$V_1 = \gamma_0 \times HD_1^{\gamma_1} \times E_1^{\gamma_2} \times AB_1^{\gamma_3} \quad [6]$$

$$V_2 = V_1 \times \left(\frac{HD_2}{HD_1} \right)^{\gamma_1} \times \left(\frac{E_2}{E_1} \right)^{\gamma_2} \times \left(\frac{AB_2}{AB_1} \right)^{\gamma_3} \quad [7]$$

SCRM para *Pinus ayacahuite*

Diámetro dominante

$$DD_1 = \alpha_0 \times E_1^{\alpha_1} \times HD_1^{\alpha_2} \quad [8]$$

$$DD_2 = DD_1 \times \left(\frac{E_2}{E_1}\right)^{\alpha_1} \times \left(\frac{HD_2}{HD_1}\right)^{\alpha_2} \quad [9]$$

Área basal:

$$AB_1 = \beta_0 \times E_1^{\beta_1} \times DD_1^{\beta_2} \quad [10]$$

$$AB_2 = AB_1 \times \left(\frac{E_2}{E_1}\right)^{\beta_1} \times \left(\frac{DD_2}{DD_1}\right)^{\beta_2} \quad [11]$$

Volumen

$$V_1 = \exp(\gamma_0 \times LN(IS) + \gamma_1 E_1^{-1} + \gamma_2 \ln(AB_1)) \quad [12]$$

$$V_2 = V_1 \times \exp\left(\gamma_1 (E_2^{-1} - E_1^{-1}) + \gamma_2 \ln\left(\frac{AB_2}{AB_1}\right)\right) \quad [13]$$

Diametro normal

$$DN_1 = \delta_0 \times \exp\left(\frac{-\delta_1}{E_1}\right) \times AB_1^{\delta_2} \quad [14]$$

$$DN_2 = DN_1 \times \left(\frac{AB_2}{AB_1}\right)^{\delta_2} \times \exp\left(-\delta_1 \times \left(\frac{1}{E_2} - \frac{1}{E_1}\right)\right) \quad [15]$$

(Pérez-Vásquez, 2020)



**Técnicas de Regresión y estimación de parámetros:
NLS, SUR, FIML**

Cuadro 2. Indicadores estadísticos para evaluar la bondad de ajuste de los modelos.

Indicador	Ecuación
Suma de cuadrados del error (<i>SCE</i>)	$SCE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$
Raíz del error cuadrático medio (<i>RECM</i>)	$RECM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p}}$
Coefficiente de determinación ajustado (<i>R²-adj</i>)	$R^2 - adj = 1 - (1 - R^2) \cdot \left(\frac{n-1}{n-p} \right)$

Cuadro 3. Valores estimados de los parámetros y criterios de bondad de ajuste de los modelos de predicción y proyección para *Pinus oaxacana* Mirov.

Modelo	Parámetros	Estimación	Error estándar	$Pr> t $	Número de ecuación	Estadísticos de ajuste		
						SCE	RCME	R^2 ajustada
Mortalidad	ϕ_1	-0.00023	0.000057	<.0001	1	1451.6	38.0998	0.99
Diámetro Promedio	α_0	2.791035	0.062	<.0001	2	20.4808	4.5256	0.92
	α_1	-0.00609	0.000481	<.0001	3	1.4704	1.2126	0.99
	α_2	0.027217	0.00157	<.0001				
	δ_0	2.169404	0.4548	<.0001	4	107.900	10.3878	0.66
Área Basal	δ_1	0.481577	0.1256	<.0001	5	3.1123	1.7642	0.98
	δ_2	-17.7924	3.606	<.0001				
	δ_3	0.002954	0.000667	<.0001				
	δ_4	0.510996	0.1457	<.0001				
Volumen total	γ_0	0.812756	0.0346	<.0001	6	424.6	20.6048	0.99
	γ_1	0.766195	0.0204	<.0001	7	24.0675	4.9059	0.99
	γ_2	0.086487	0.0127	<.0001				
	γ_3	0.952853	0.00964	<.0001				

Cuadro 4. Valores estimados de los parámetros y criterios de bondad de ajuste de los modelos de predicción y proyección para *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham.

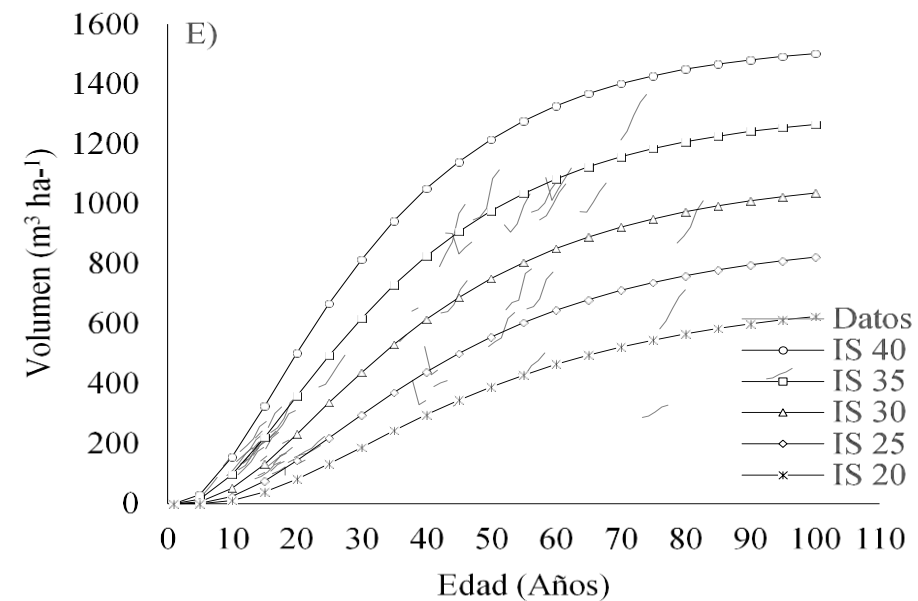
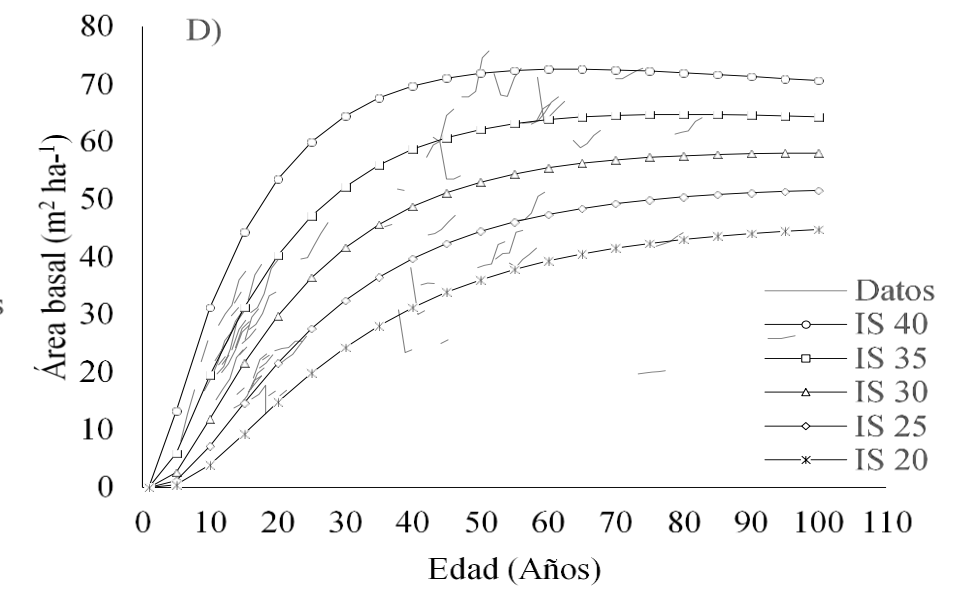
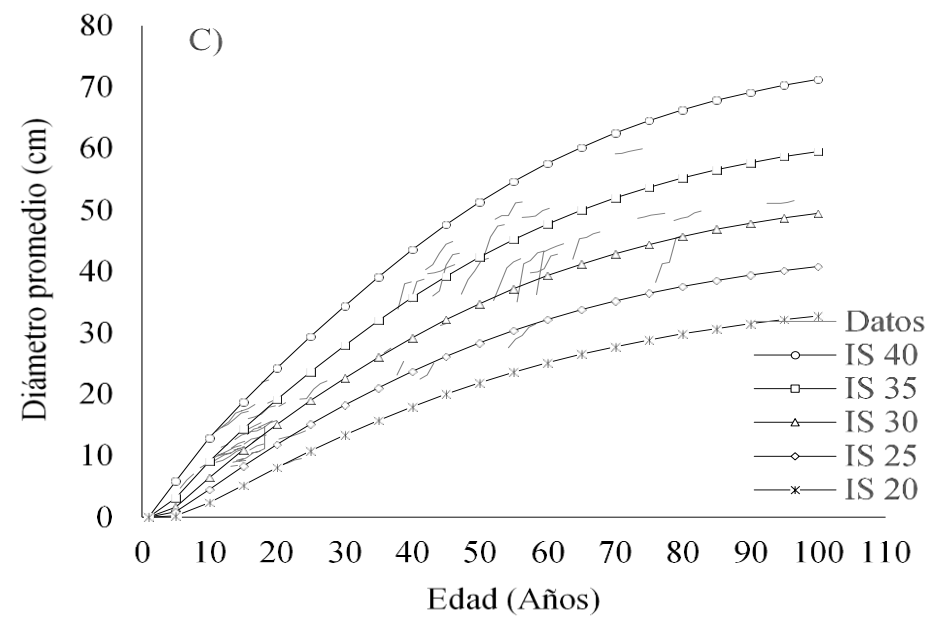
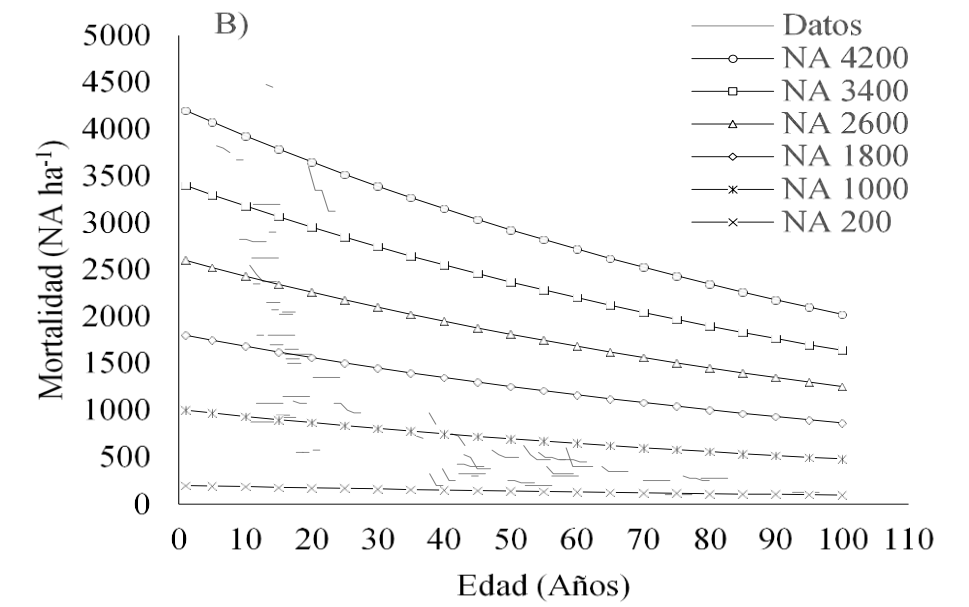
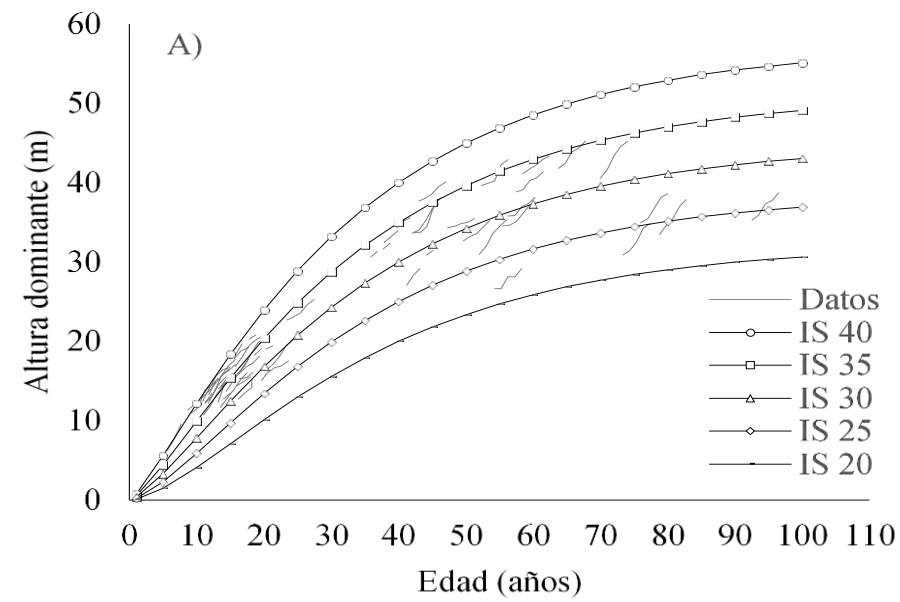
Modelo	Parámetros	Estimación	Error estándar	$Pr> t $	Número de ecuación	Estadísticos de ajuste		
						SCE	RCME	R^2 ajustada
Mortalidad	ϕ_1	-0.00022	0.000028	<.0001	1	309338	30.6633	0.99
Diámetro Promedio	α_0	2.538255	0.0373	<.0001	2	1782.1	2.3309	0.82
	α_1	-0.00257	0.000135	<.0001	3	62.1061	0.4345	0.99
	α_2	0.025078	0.00135	<.0001				
	δ_0	2.534793	0.1906	<.0001	4	11721.2	5.9870	0.84
	δ_1	0.482348	0.0594	<.0001	5	512.8	1.2503	0.99
Área Basal	δ_2	-14.0422	0.9624	<.0001				
	δ_3	0.001556	0.000155	<.0001				
	δ_4	0.243918	0.0438	<.0001				
Volumen total	γ_0	0.851181	0.0180	<.0001	6	40146.6	11.0718	0.996
	γ_1	0.775483	0.00783	<.0001	7	3513.9	3.2706	0.999
	γ_2	-0.00569	0.00271	0.0361				
	γ_3	1.004096	0.00651	<.0001				

Cuadro 5. Valores estimados de los parámetros y criterios de bondad de ajuste de los modelos de predicción y proyección para *Pinus ayacahuite* Ehrenb. ex Schltdl.

Modelo	Parámetros	Estimación	Error estándar	$Pr> t $	Número de ecuación	Estadísticos de ajuste		
						SCE	RCME	R^2 ajustada
Diámetro dominante	α_0	2.381768	0.5057	0.0001	8	906.0	6.5684	0.0520
	α_1	0.326093	0.1257	0.0170	9	23.4874	1.0333	0.9792
	α_2	0.469973	0.2071	0.0339				
Área Basal	β_0	0.037351	0.0150	0.0211	10	1634.7	8.8228	0.2908
	β_1	0.413617	0.1623	0.0187	11	12.2958	0.7476	0.9966
	β_2	1.377859	0.2618	<0.0001				
Volumen total	γ_0	0.702625	0.0496	<0.0001	12	11574.6	23.477	0.9654
	γ_1	-7.20858	2.0683	0.0022	13	432.0	4.4315	0.9992
	γ_2	1.144915	0.0293	<0.0001				
Diámetro normal	δ_0	13.94940	2.2426	<0.0001	14	20714.7	11.2387	0.2580
	δ_1	14.45955	2.1125	<0.0001	15	488.3	1.7202	0.9849
	δ_2	0.302297	0.0372	<0.0001				

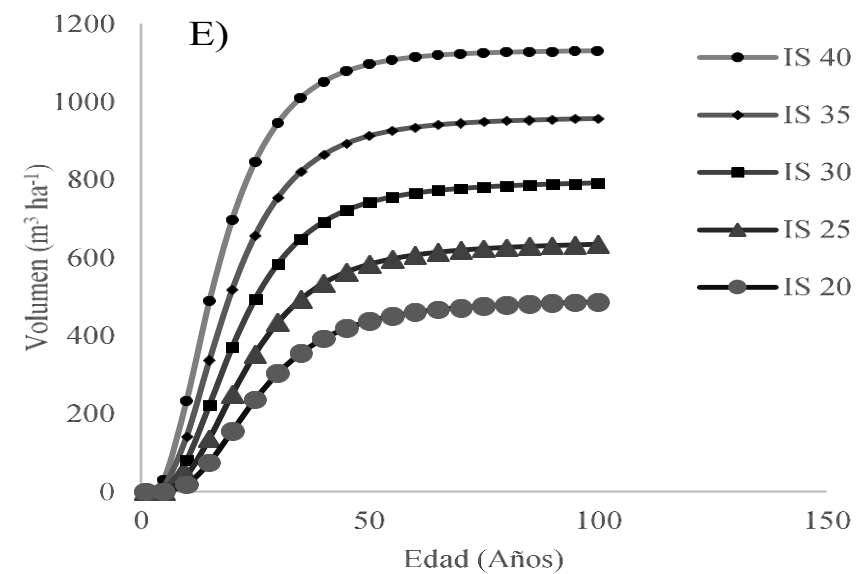
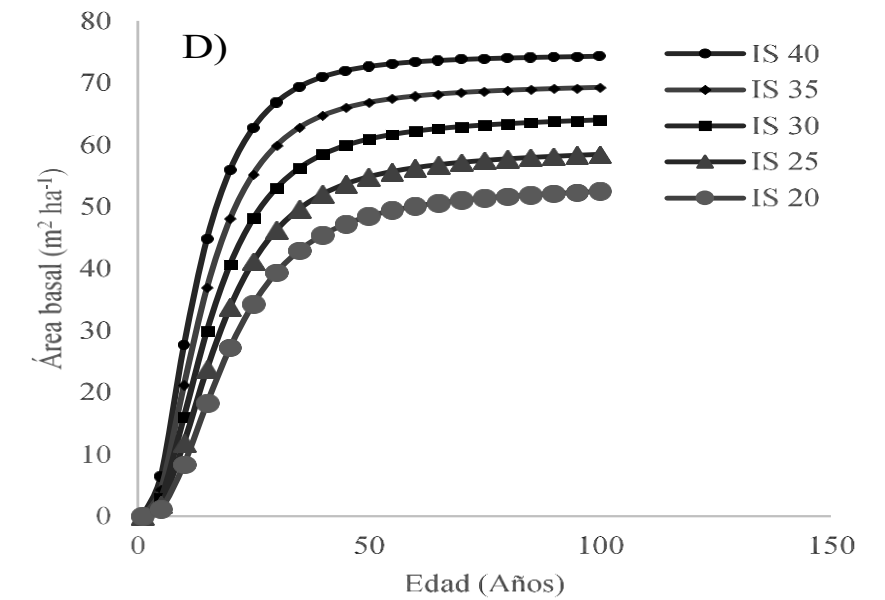
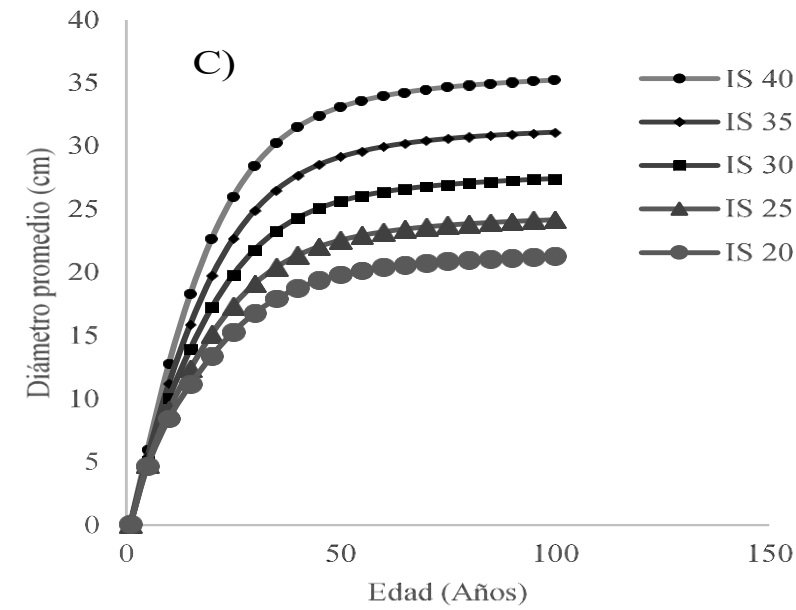
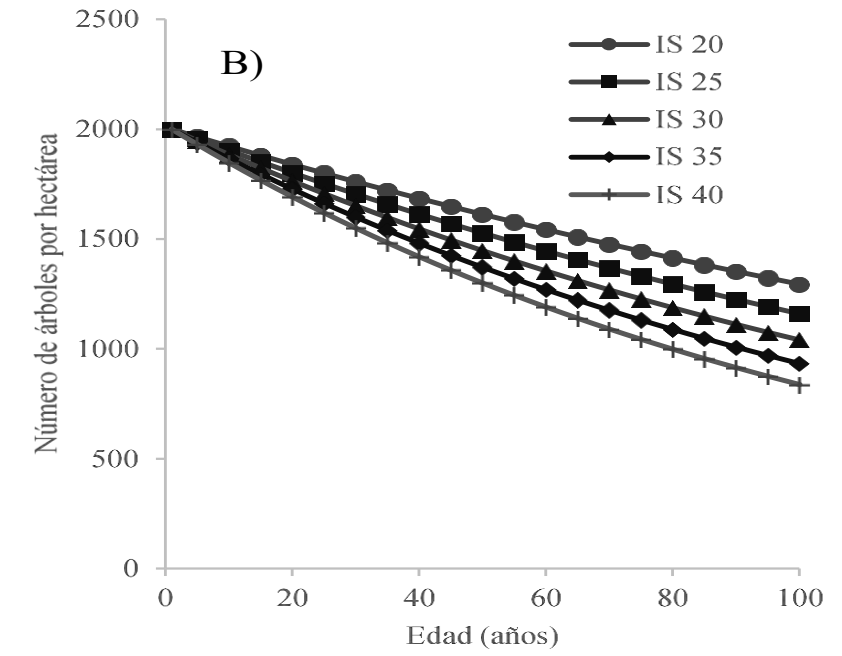
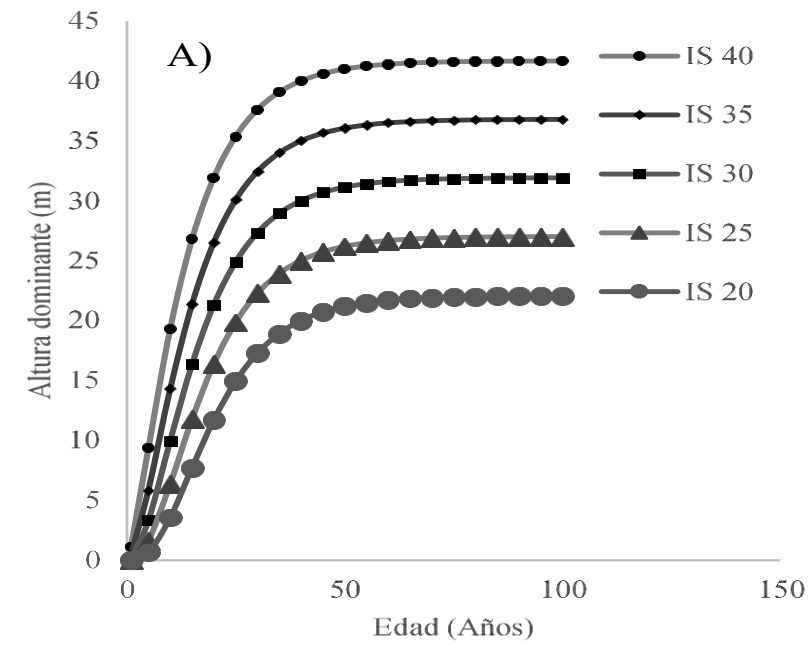
Curvas de crecimiento para *Pinus oaxacana*

A) Altura dominante, B) mortalidad (con diferentes niveles de densidad inicial en un IS promedio de 32 m), C) diámetro promedio, D) área basal y E) volumen.



Curvas de crecimiento para *Pinus patula*

A) Altura dominante, B) mortalidad (Densidad inicial de 2000 árboles por hectárea en diferentes IS), C) diámetro promedio, D) área basal y E) volumen.



Curvas de crecimiento para *Pinus ayacahuite*

A) diámetro dominante; B) área basal, C) volumen y D) diámetro normal.

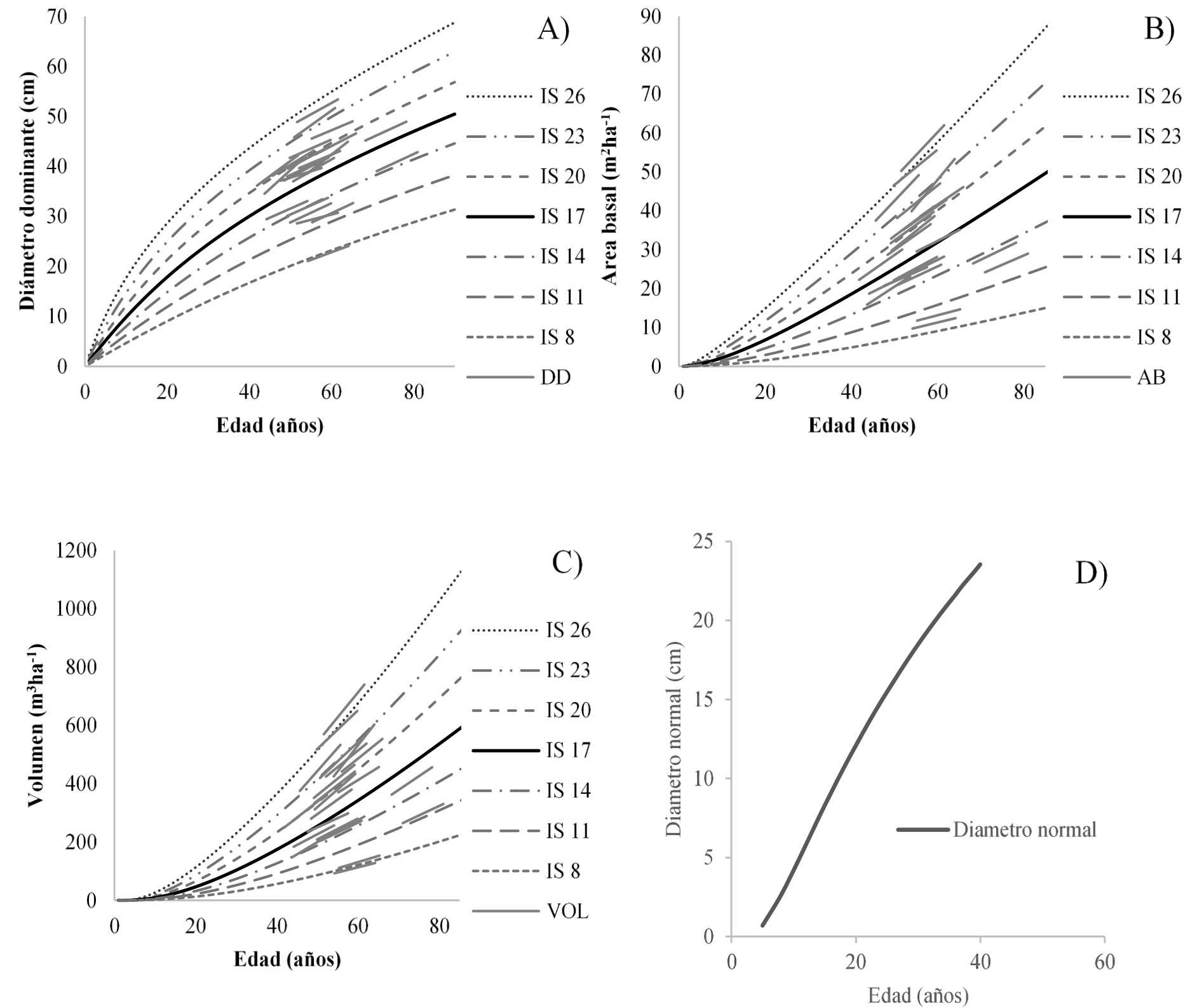


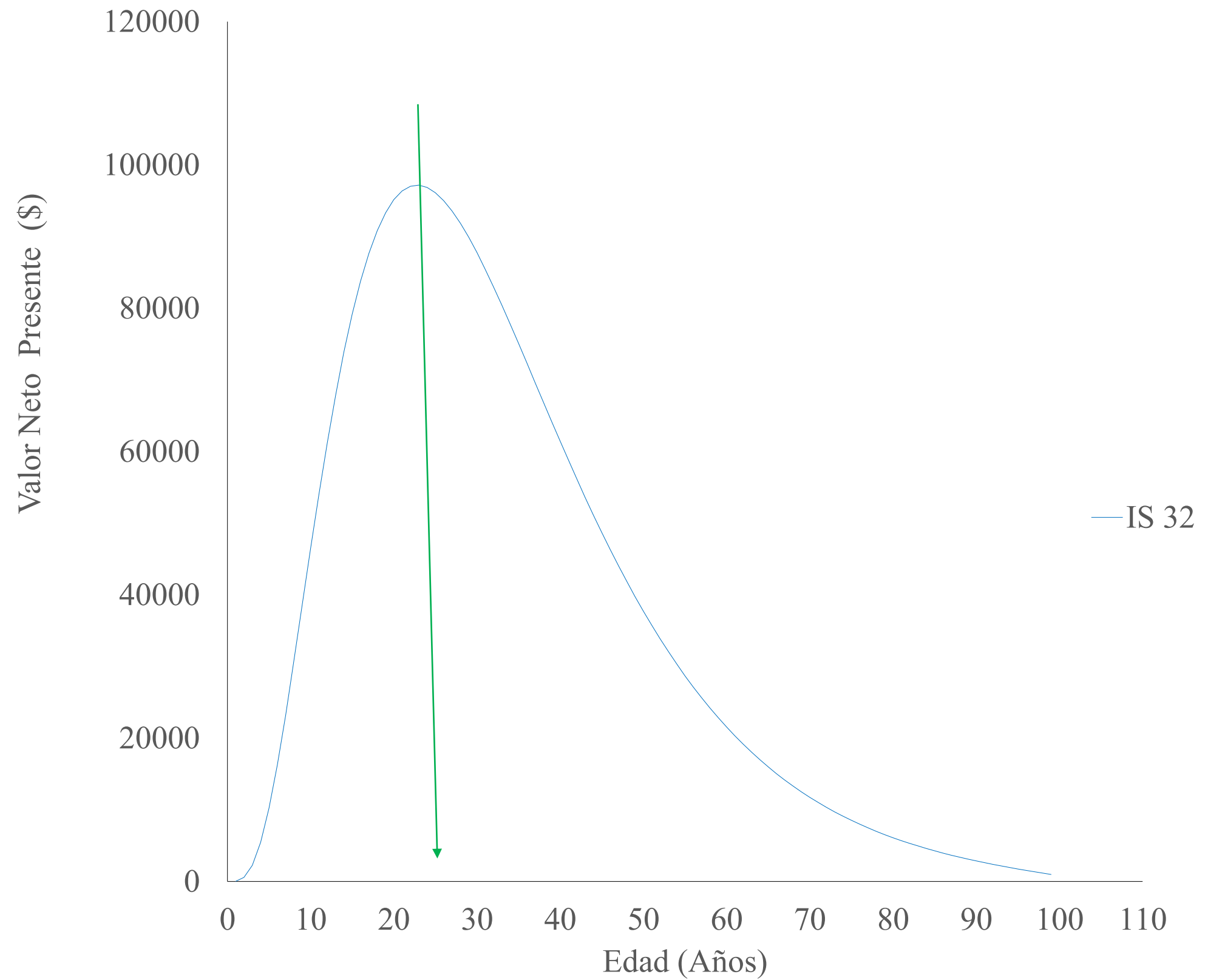
Tabla de rendimiento para *Pinus oaxacana*

Cuadro 6. Predicción del crecimiento y rendimiento maderable para los índices de sitio de 29 y 32 m, con una densidad inicial de 2000 árboles ha⁻¹.

Edad	NA		HD		DP		DD		V		IMA		ICA	
	29	32	29	32	29	32	29	32	29	32	29	32	29	32
1	2000	2000	0.33	0.43	8E-05	8E-05	1E-02	1E-02	2E-05	3E-05	2E-05	3E-05	2E-05	3E-05
5	1947	1942	3.07	3.71	1.65	1.69	4.48	4.87	3.97	5.31	0.79	1.06	2.47	3.27
11	1871	1858	8.35	9.68	7.26	7.58	14.11	15.10	53.22	67.47	4.84	6.13	12.11	15.02
15	1822	1804	11.92	13.63	10.76	11.35	19.38	20.61	113.20	140.53	7.55	9.37	16.45	19.86
21	1750	1726	16.95	19.11	15.56	16.62	25.72	27.19	223.86	271.71	10.66	12.94	19.35	22.68
25	1704	1676	19.99	22.39	18.54	19.93	29.15	30.72	302.16	362.61	12.09	14.50	19.58	22.61
31	1637	1604	24.04	26.73	22.73	24.62	33.38	35.07	416.39	493.02	13.43	15.90	18.47	20.93
35	1594	1557	26.40	29.24	25.34	27.55	35.72	37.48	487.18	572.70	13.92	16.36	17.20	19.29
40	1542	1501	29.00	32.00	28.38	30.98	38.22	40.04	567.74	662.50	14.19	16.56	15.37	17.04
41	1532	1490	29.48	32.50	28.96	31.64	38.67	40.50	582.73	679.01	14.21	16.56	14.99	16.58
43	1511	1468	30.38	33.46	30.08	32.91	39.53	41.38	611.58	710.82	14.22	16.53	14.23	15.68
45	1491	1447	31.24	34.37	31.17	34.15	40.33	42.20	638.93	740.86	14.20	16.46	13.49	14.80
47	1472	1426	32.04	35.22	32.21	35.33	41.08	42.97	664.79	769.18	14.14	16.37	12.75	13.94
49	1452	1405	32.80	36.01	33.22	36.47	41.79	43.70	689.22	795.82	14.07	16.24	12.04	13.12
50	1442	1394	33.16	36.39	33.71	37.03	42.12	44.04	700.91	808.53	14.02	16.17	11.69	12.71

Dónde: NA: número de árboles (ha⁻¹); HD: altura dominante (m); DP: diámetro normal promedio (cm); DD: diámetro dominante (cm); AB: área basal (m² ha⁻¹); V: Volumen (m³ ha⁻¹); ICA: incremento corriente anual (m³ ha⁻¹ año⁻¹); IMA: incremento medio anual (m³ ha⁻¹ año⁻¹).

Usos de los sistemas de crecimiento y rendimiento



Usos de los sistemas de crecimiento y rendimiento

**Realizar estimaciones
confiables de crecimiento y
rendimiento corriente y futuro**

**Determinar la edad
óptima de cosecha**

**Estimar la producción
anual, periódica o total
durante el periodo de
rotación**

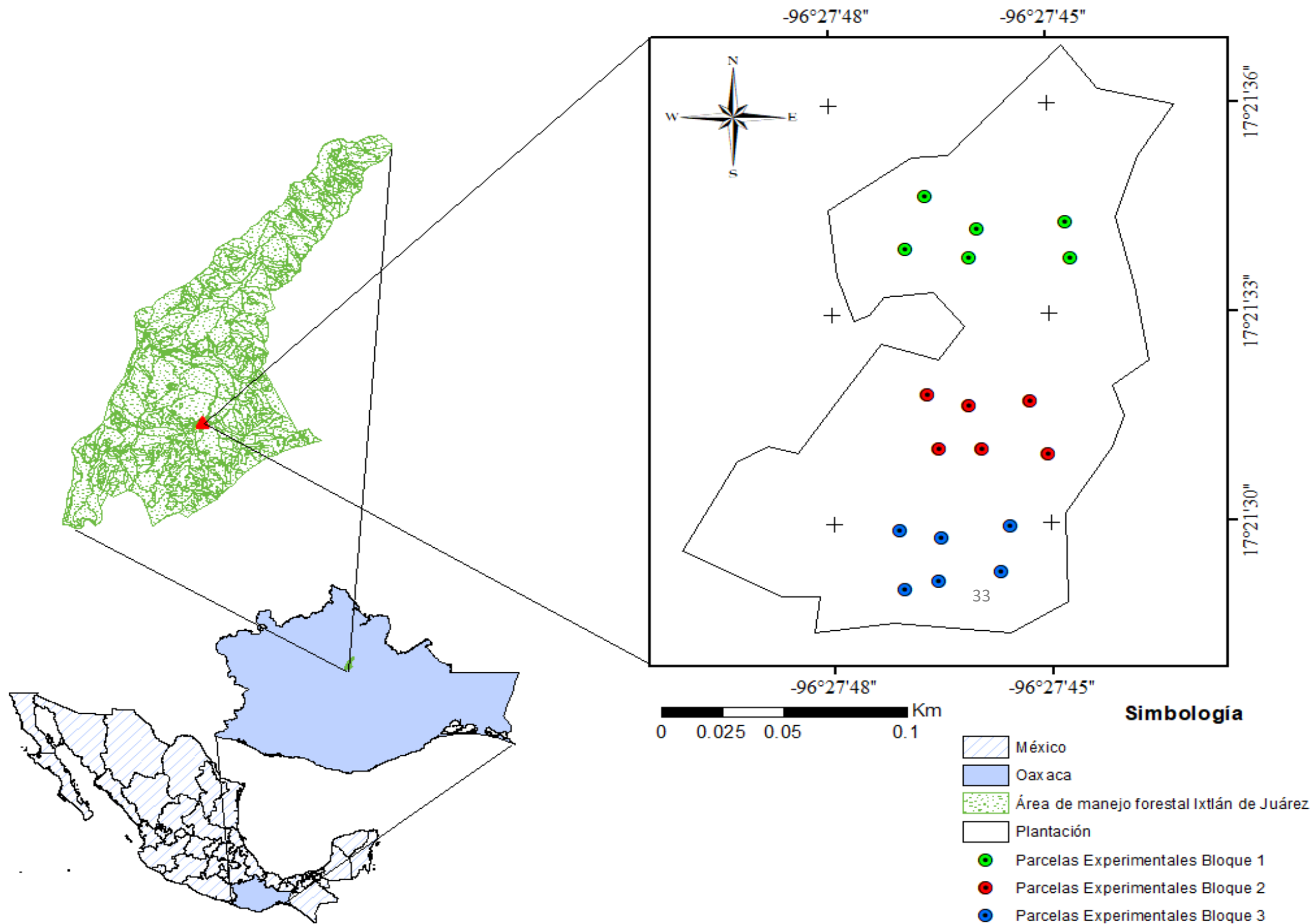
**Realizar análisis
financieros**

**Explorar alternativas
silviculturales**

**Determinar un régimen
de manejo**

(Vanclay, 1994)

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE ACLAREOS EN UNA
PLANTACIÓN DE *Pinus patula* Schiede ex Schtdl. et Cham.**



Diseño experimental en bloques completos al azar

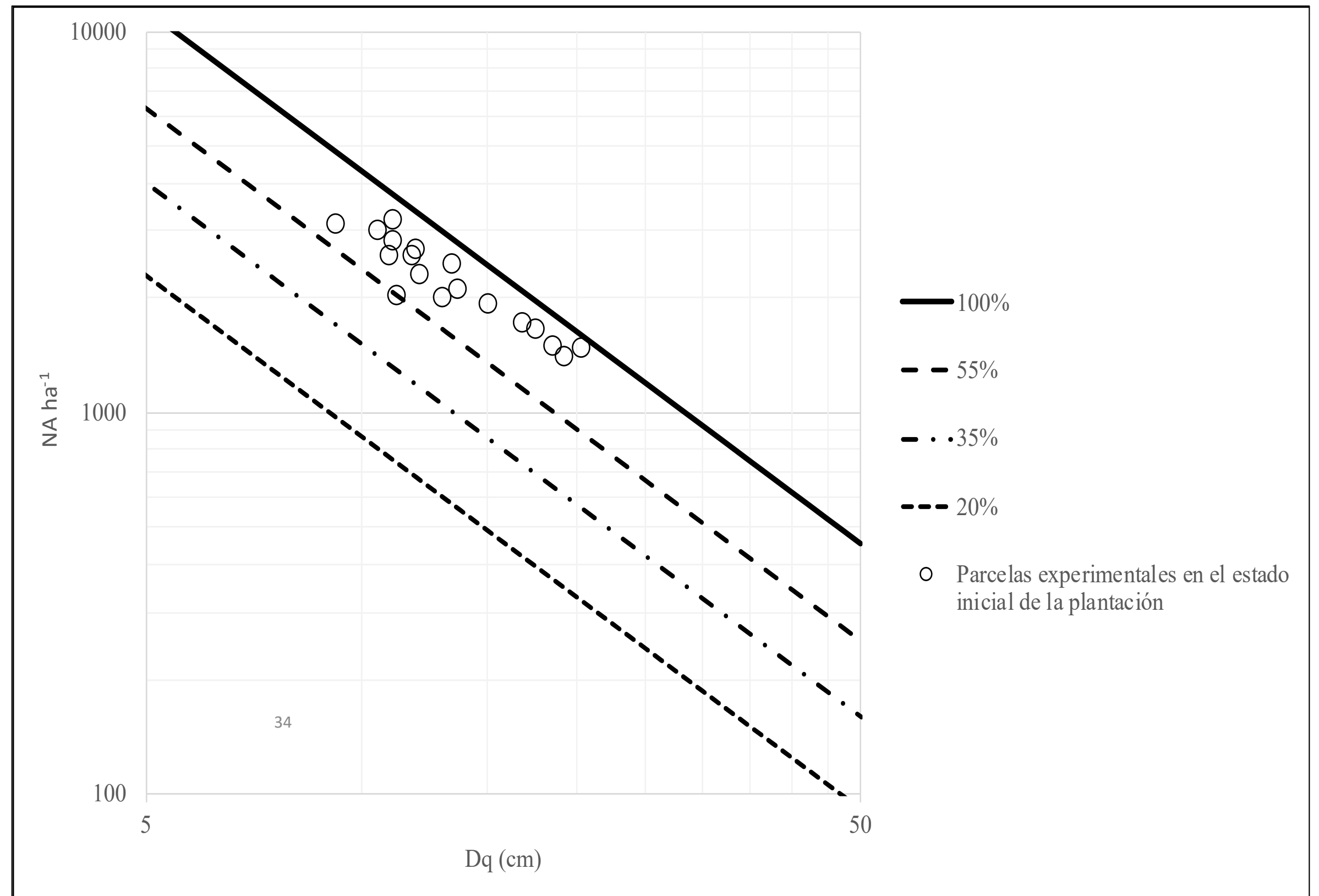
$$y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

$$i = 1, 2, 3 \dots 6; j = 1, 2, 3$$

La afirmación a probar es que la respuesta media poblacional lograda con cada tratamiento es la misma y que, por lo tanto, cada respuesta, es igual a la media global poblacional.

La densidad inicial de la plantación de *P. patula*, se estimó con la guía de densidad propuesta por Camacho-Montoya *et al.* (2018).

$$IDR = Na \times \left(\frac{15}{Dq}\right)^{\beta_1}$$



Densidad del estado inicial de las parcelas experimentales de *Pinus patula* proyectadas en una guía para el manejo de la densidad.

RESULTADOS

Estado inicial

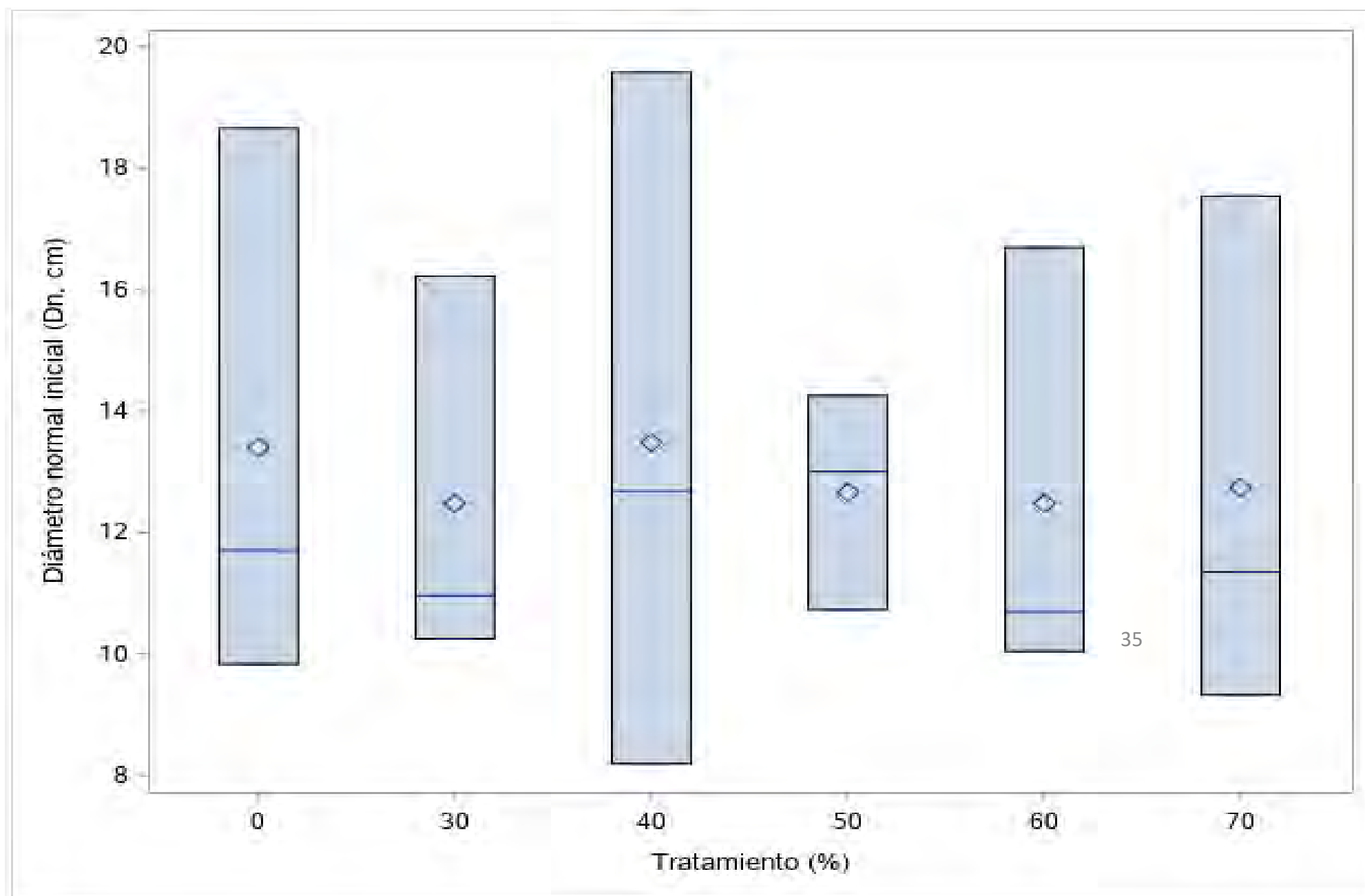


Diagrama de la distribución del diámetro normal (cm) previo a la aplicación de los tratamientos asignados.



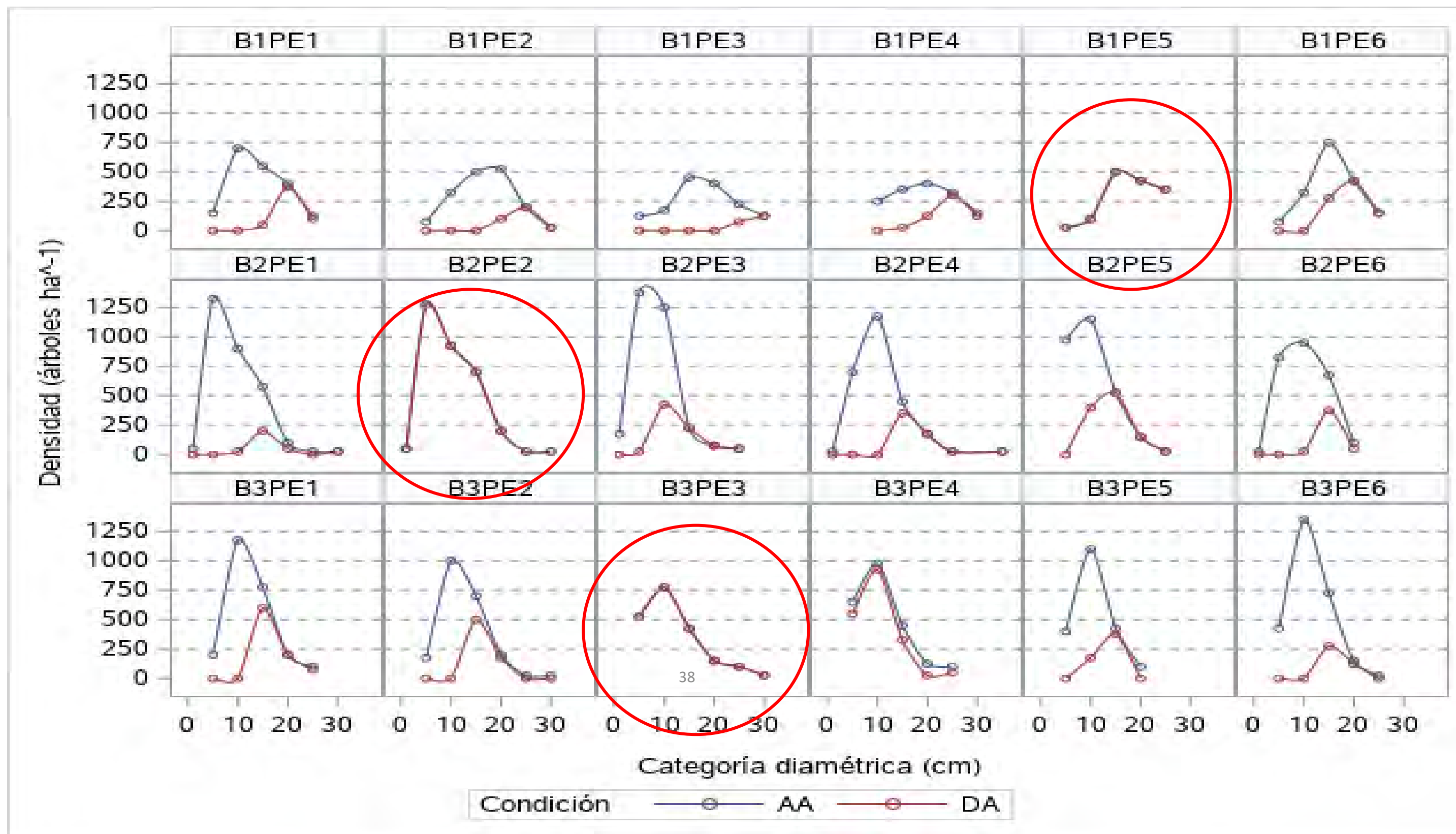
Homogeneidad de promedios del diámetro normal entre tratamientos asignados bajo la prueba de Tukey en el estado inicial previo al aclareo.

Aplicación de los tratamientos (año 2021)



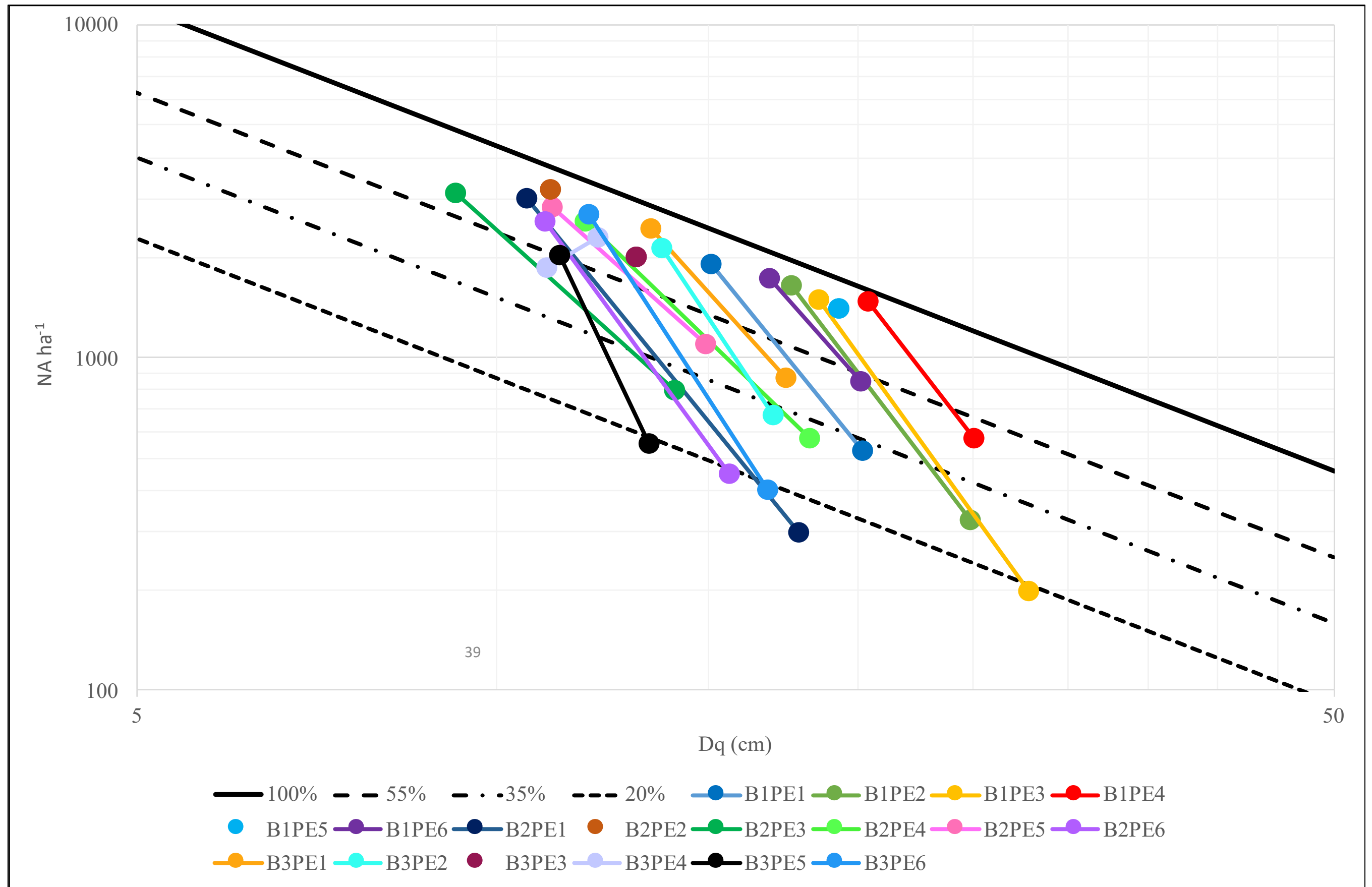
Caracterización posterior a los aclareos





Distribución de las categorías diamétricas por unidad experimental antes y después de los aclareos. B1PE: parcelas experimentales correspondientes al bloque 1; B2PE: parcelas experimentales correspondientes al bloque 2; B3PE: parcelas experimentales correspondientes al bloque 3; AA: densidad de las parcelas experimentales antes del aclareo; DA: densidad de las parcelas experimentales posterior a los aclareos.

Guía de densidad
después de la corta



Ubicación de las unidades experimentales antes y después de la aplicación de los tratamientos en el diagrama de densidad para *Pinus patula*.

Posterior a la aplicación de los tratamientos

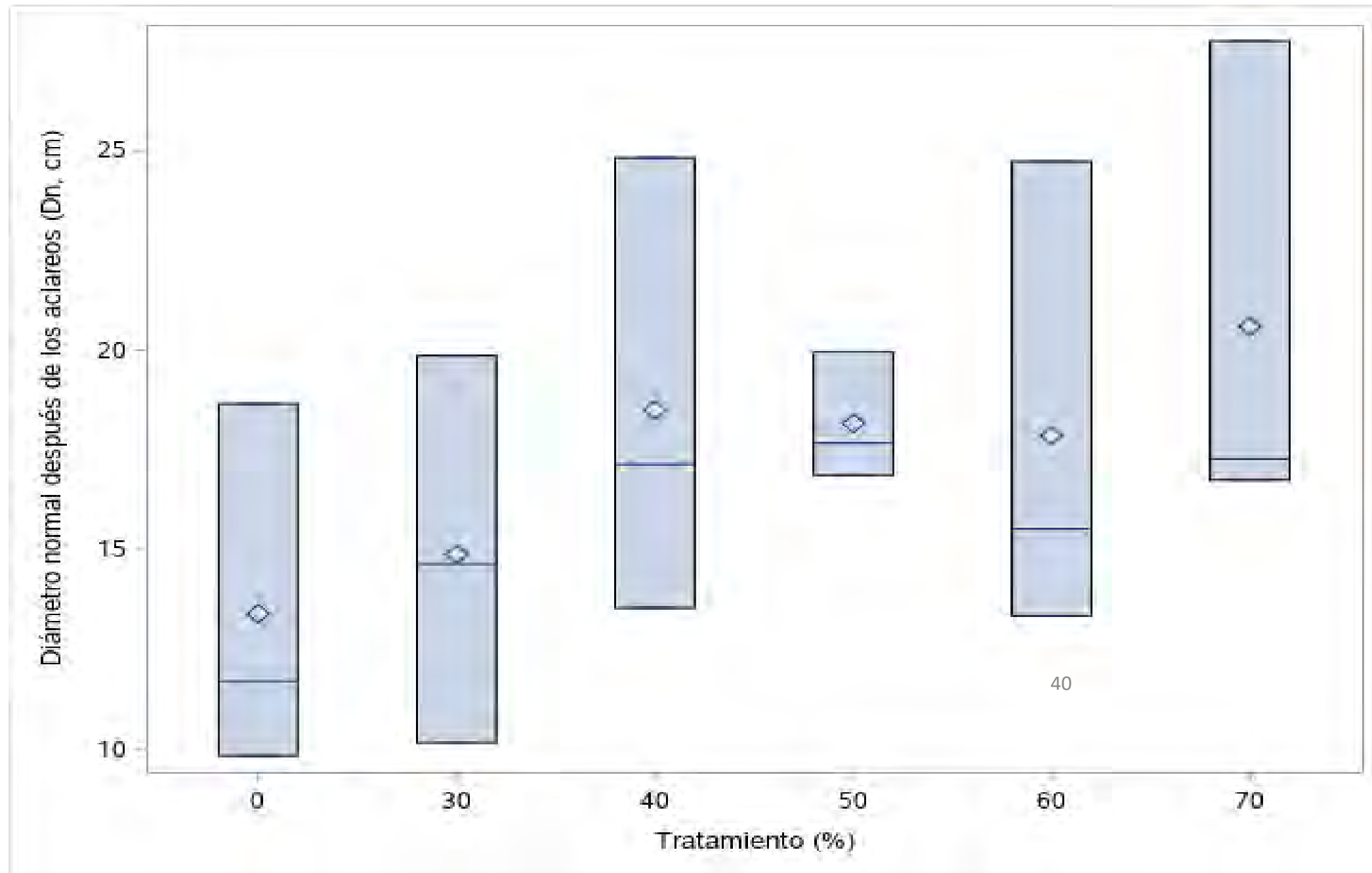
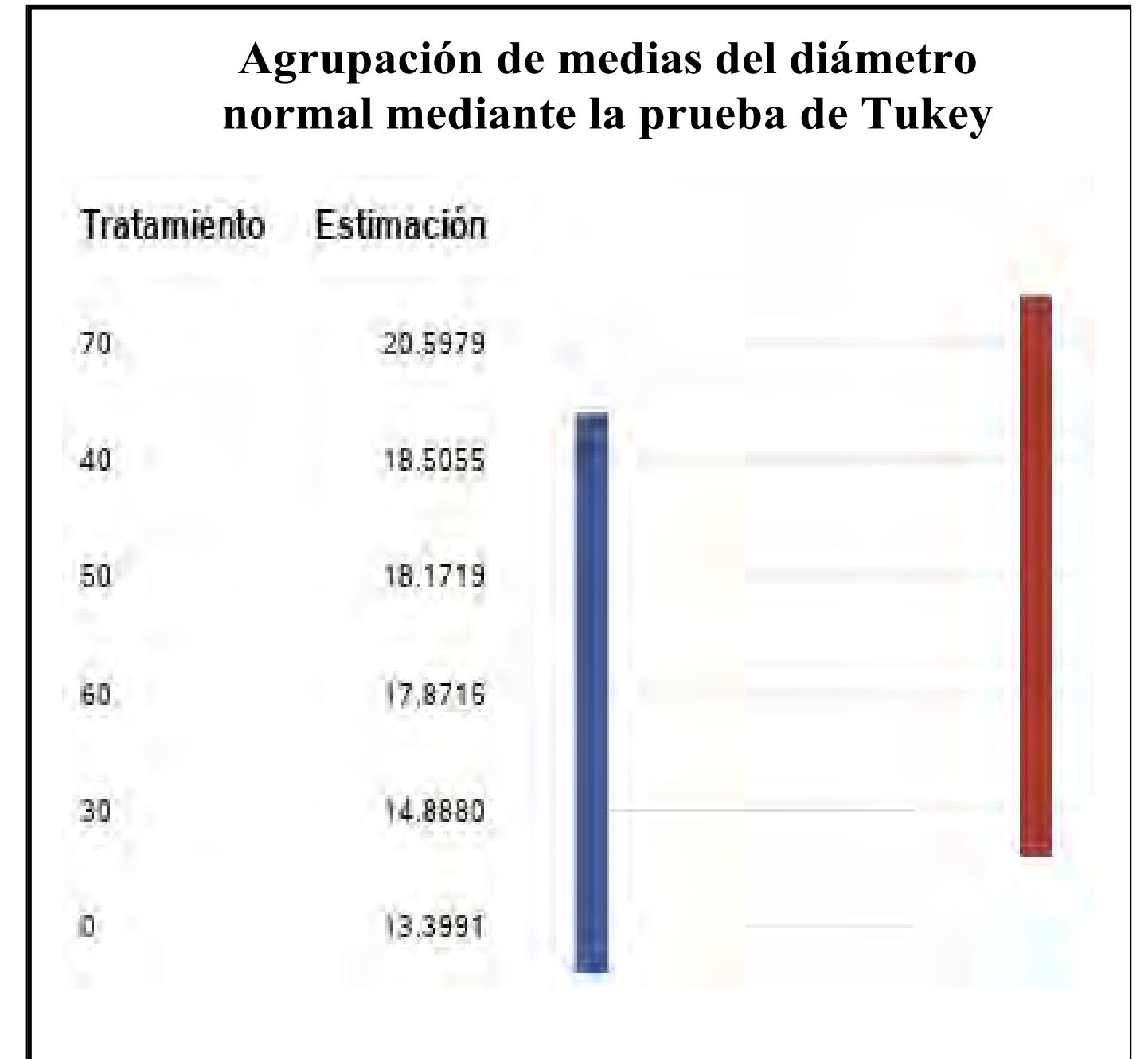


Diagrama de la distribución del diámetro normal promedio (Dn) posterior a la aplicación de los tratamientos.

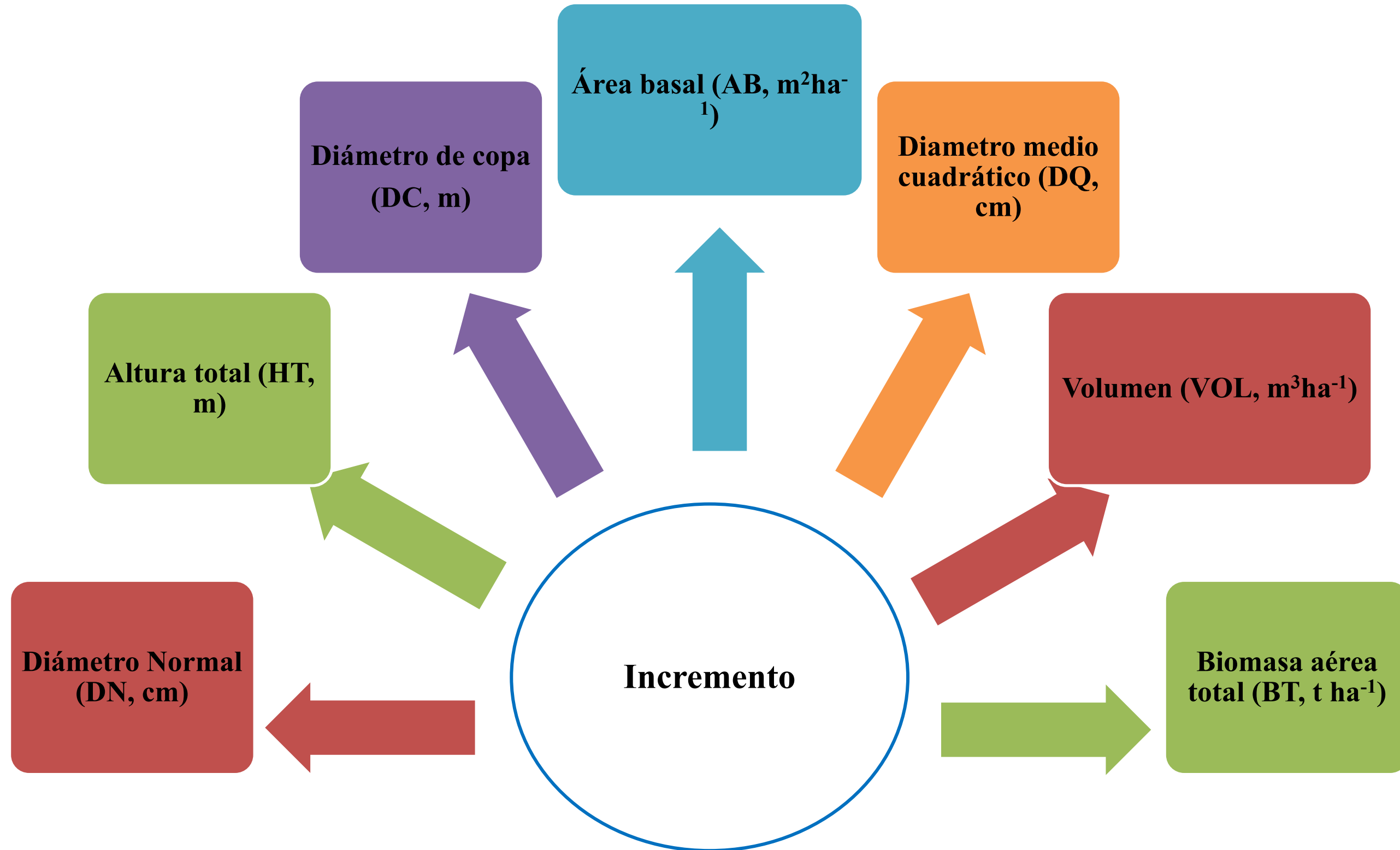


Prueba de comparaciones múltiples de Tukey posterior a la aplicación de los tratamientos.

Remediación de las parcelas experimentales (año 2022)



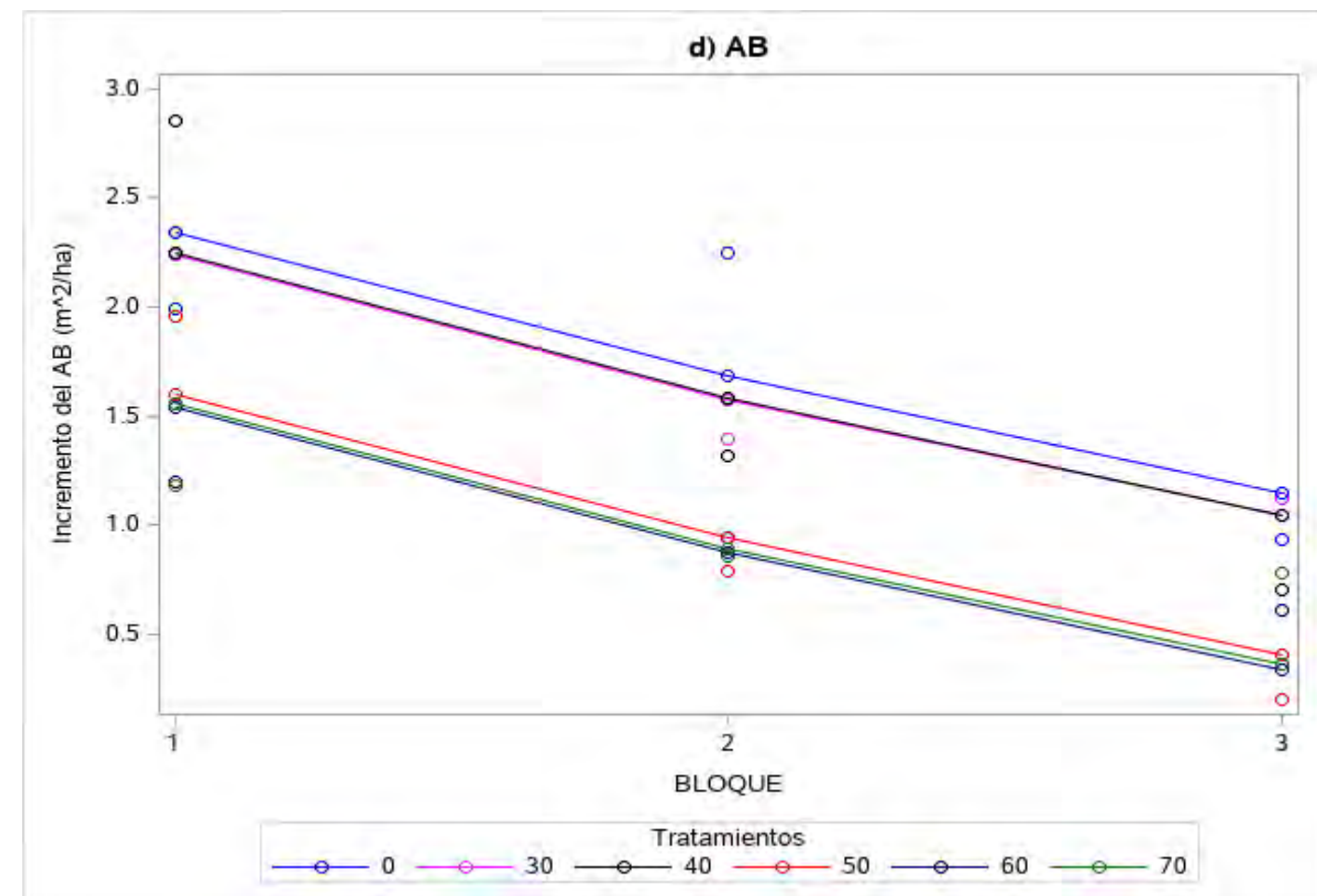
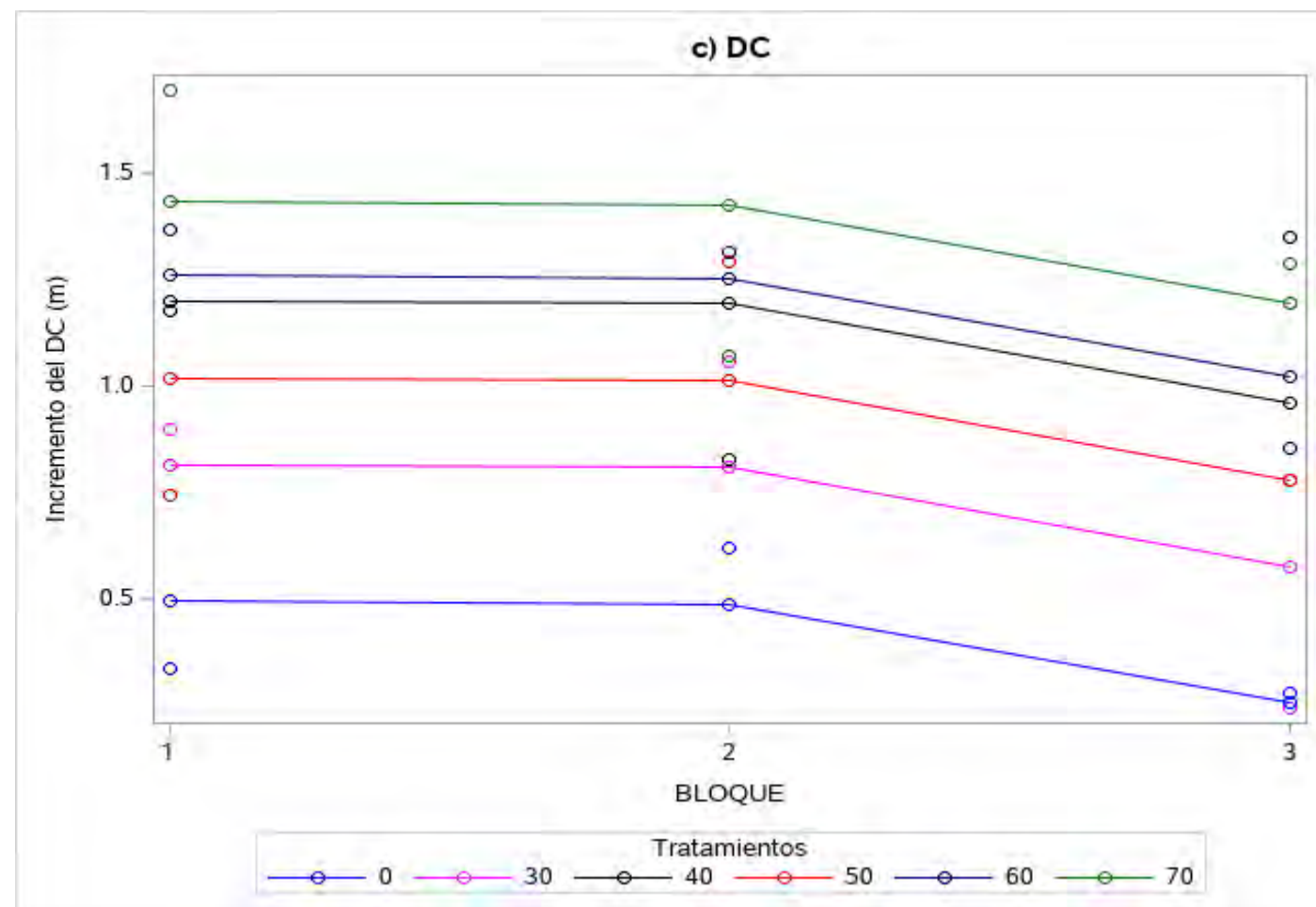
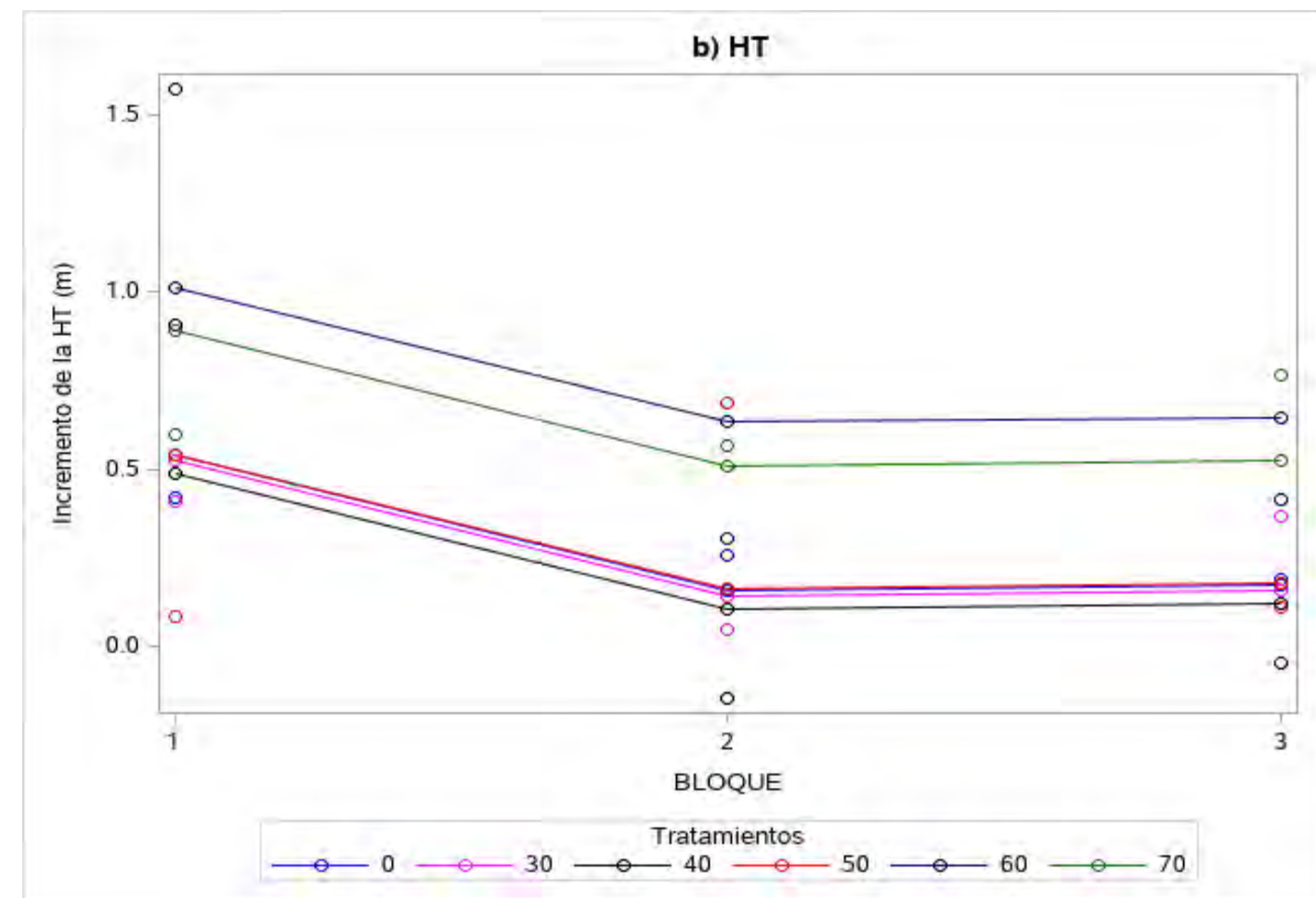
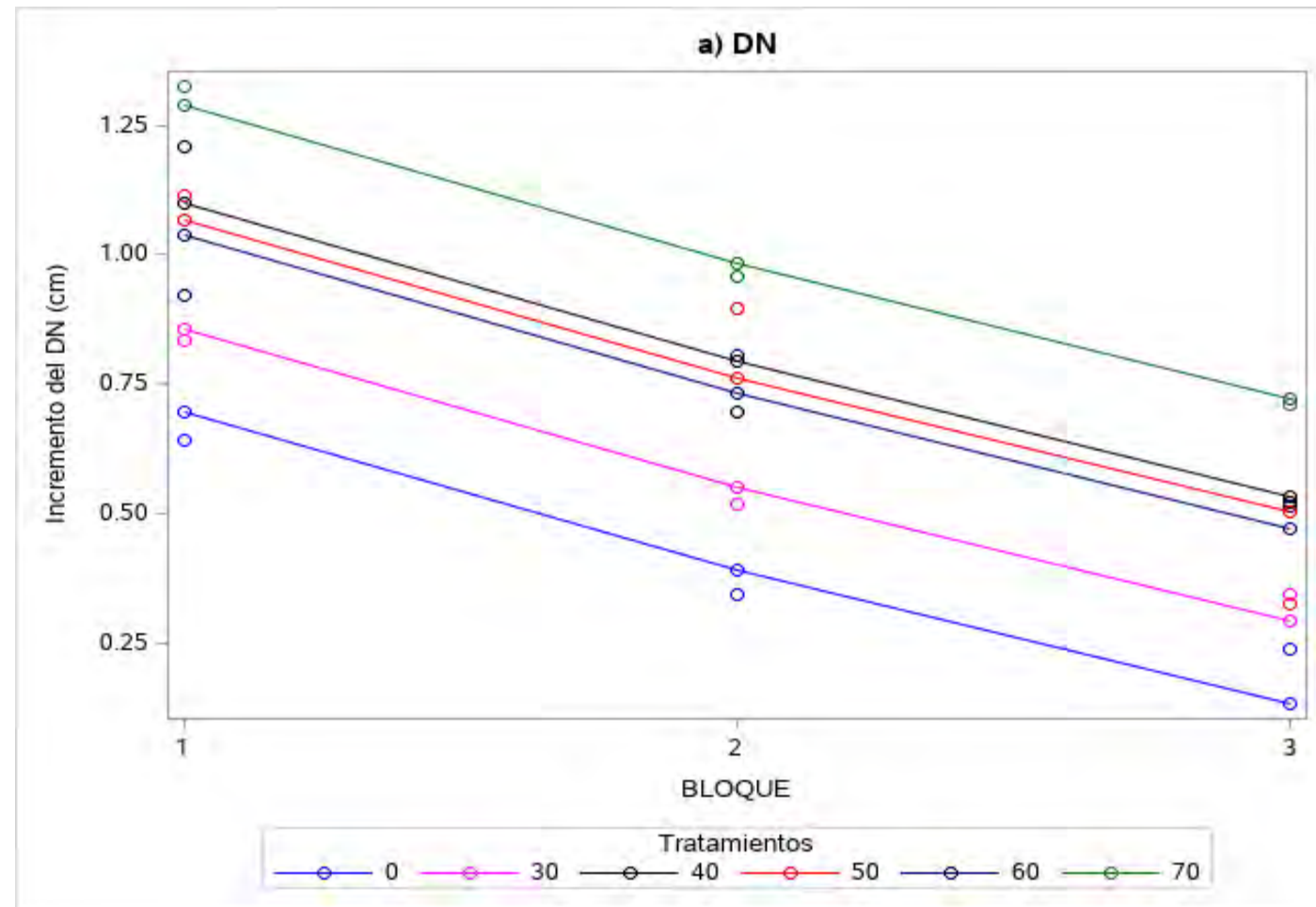
Variables Analizadas

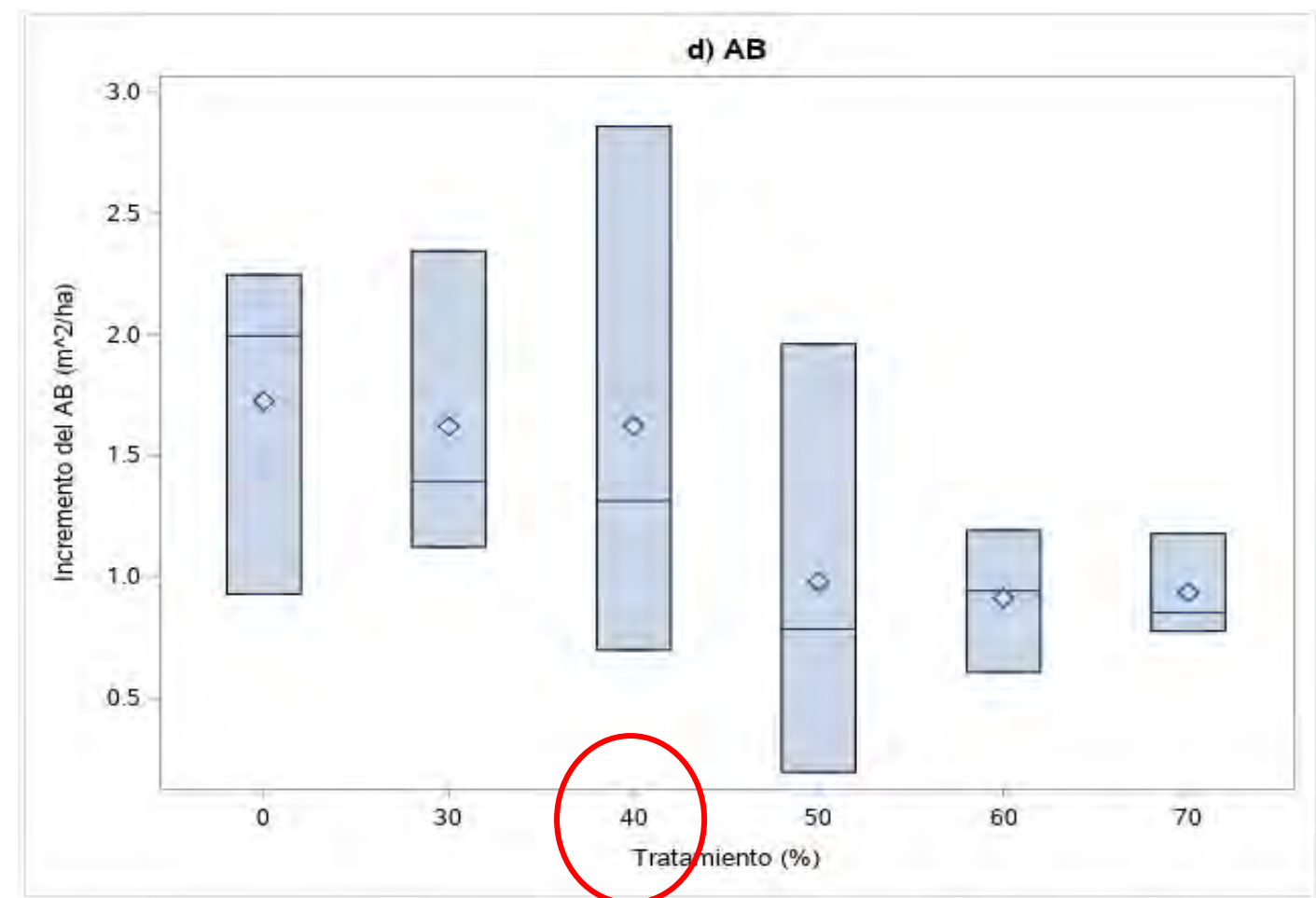
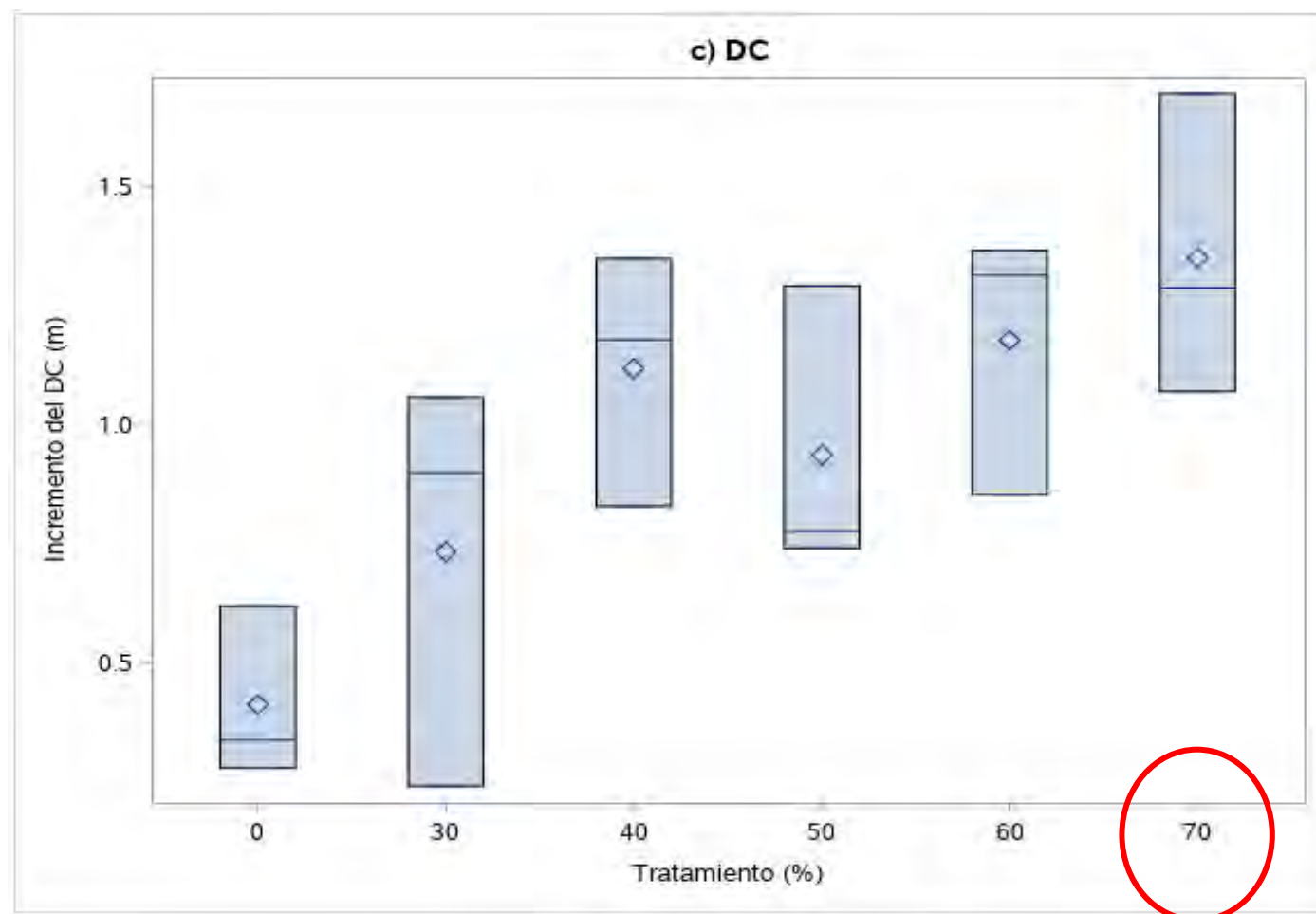
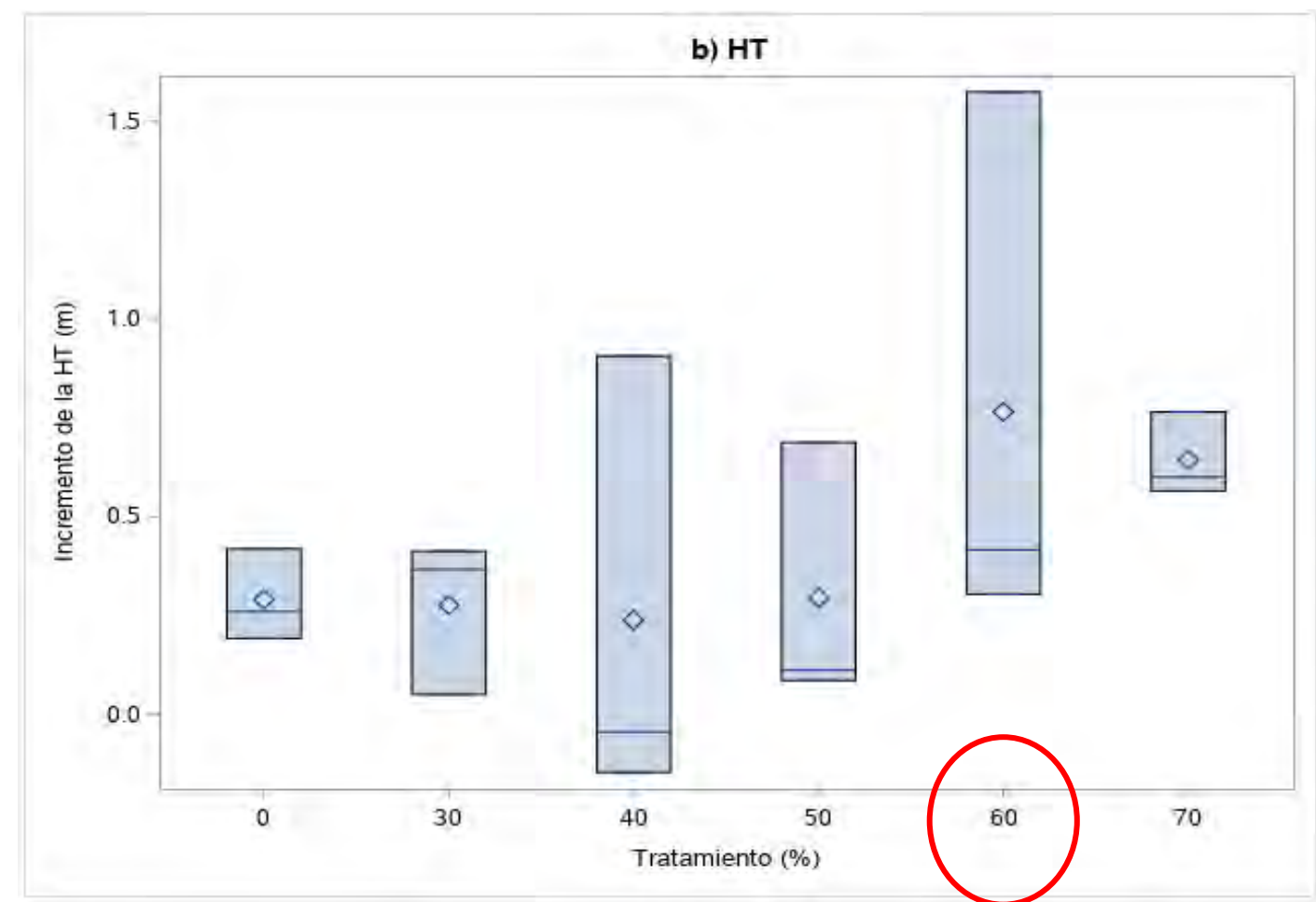
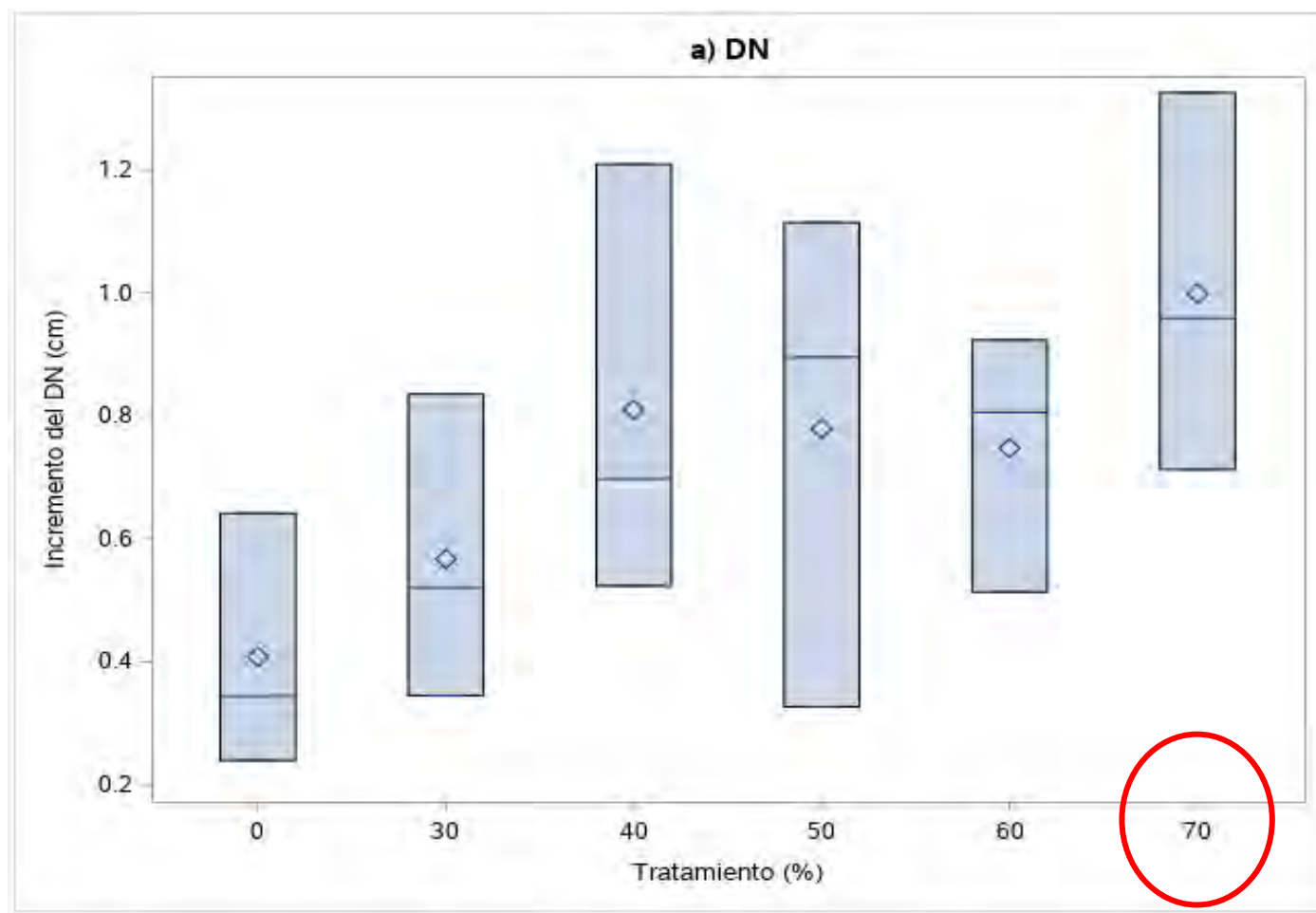


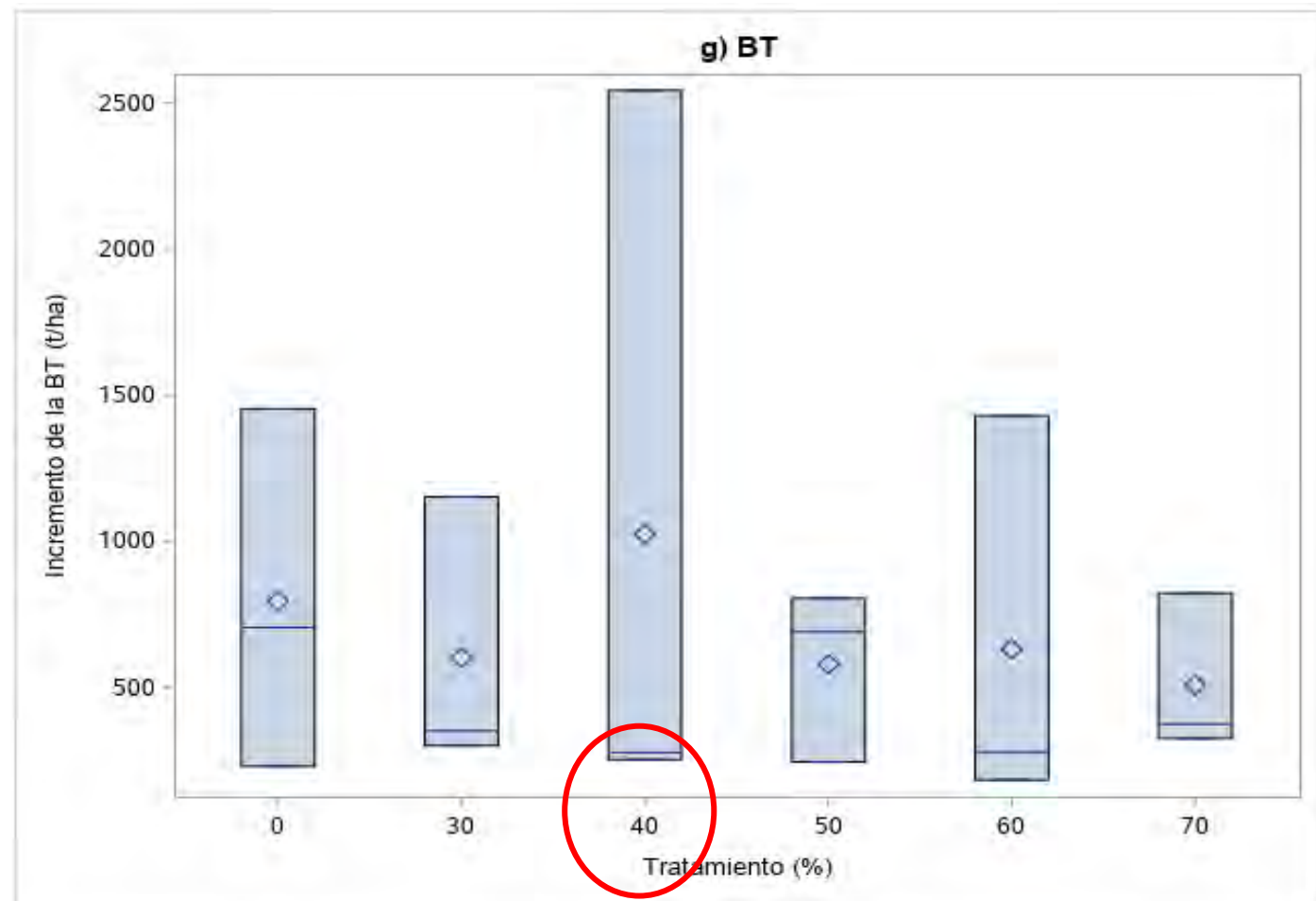
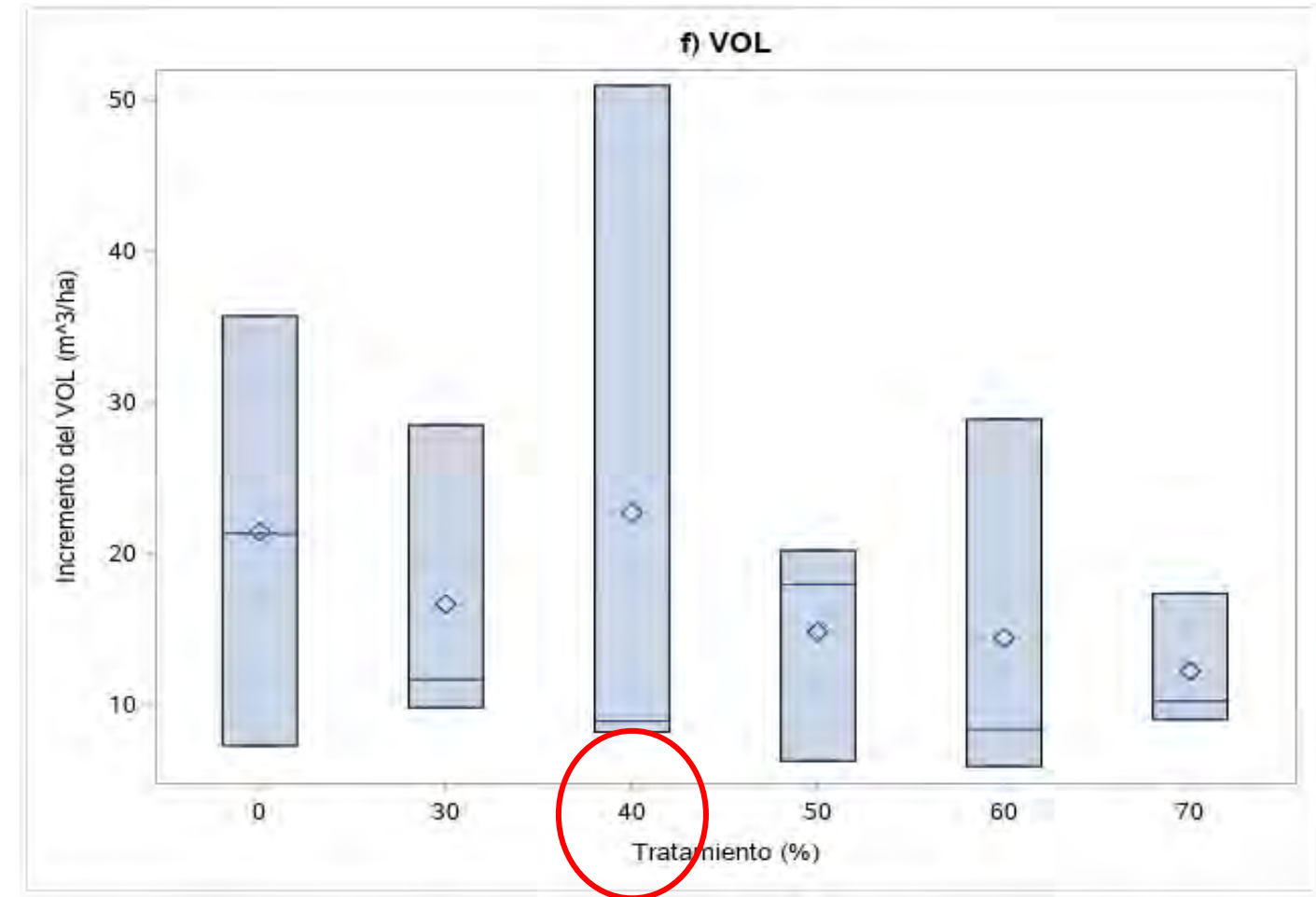
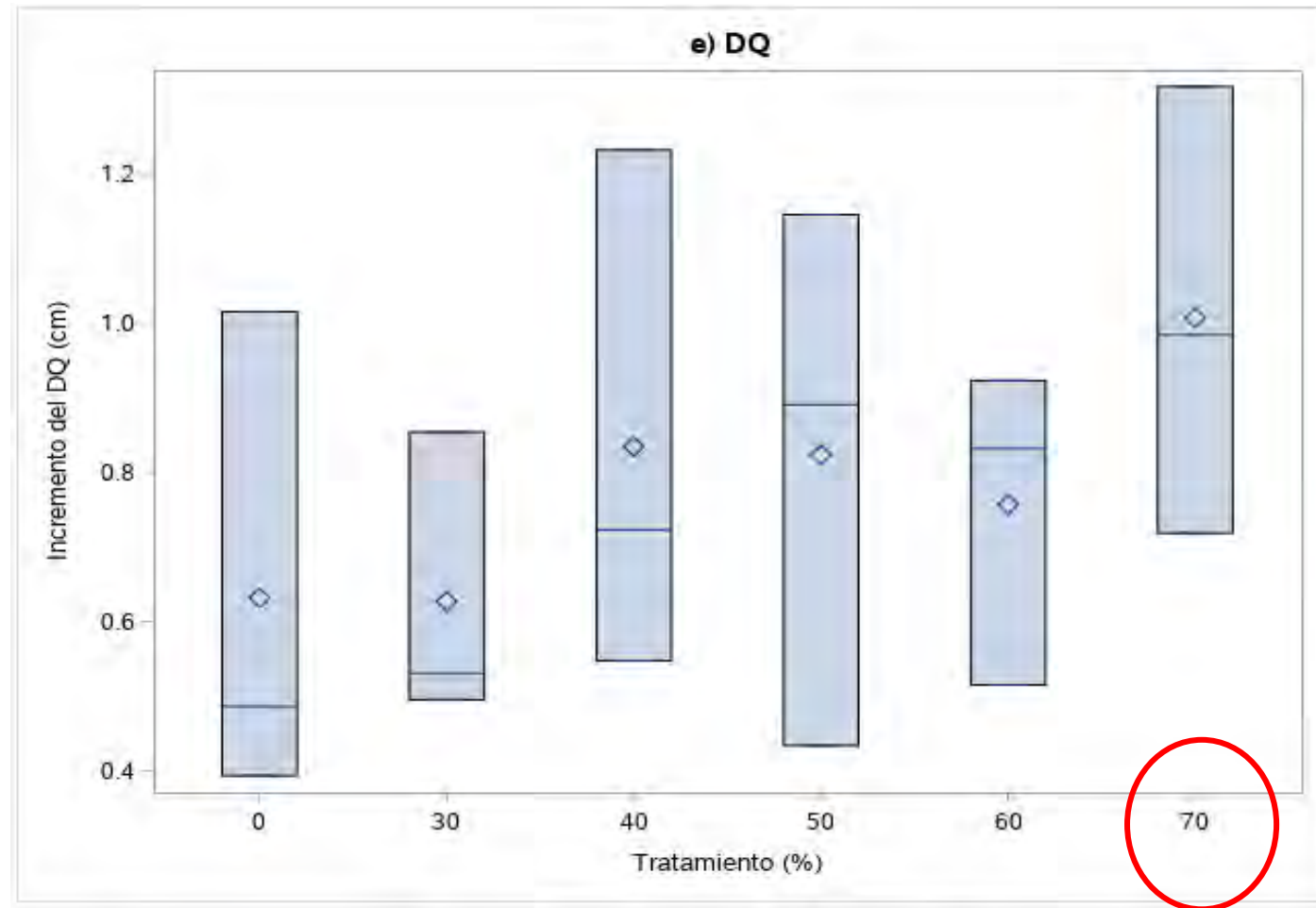
Análisis de varianza de los incrementos de las variables de estado y valores de p para los supuestos del diseño en bloques al azar.

No.	Variable	Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F	Normalidad	Homogeneidad de varianzas	
									Bloque	Tratamiento
1	DN	Modelo	7	1.59	0.23	19.6	<0.0001	0.86	0.49	0.48
		Error	10	0.12	0.01	-	-	-	-	-
		Total	17	1.70	-	-	-	-	-	-
2	HT	Modelo	7	1.32	0.19	1.29	0.3471	0.39	0.32	0.08
		Error	10	1.47	0.15	-	-	-	-	-
		Total	17	2.79	-	-	-	-	-	-
3	DC	Modelo	7	1.96	0.28	3.07	0.0532	0.34	0.26	0.48
		Error	10	0.91	0.09	-	-	-	-	-
		Total	17	2.87	-	-	-	-	-	-
4	AB	Modelo	7	51415.40	7345.06	3.11	0.0513	0.06	0.31	0.17
		Error	10	23645.93	2364.59	-	-	-	-	-
		Total	17	75061.33	-	-	-	-	-	-
5	DQ	Modelo	7	3257.98	465.43	7.48	0.0026	0.40	0.22	0.65
		Error	10	622.21	62.22	-	-	-	-	-
		Total	17	3880.19	-	-	-	-	-	-
6	VOL	Modelo	7	1884.65	269.24	4.09	0.0224	0.72	0.11	0.09
		Error	10	658.20	65.82	-	-	-	-	-
		Total	17	2542.85	-	-	-	-	-	-
7	BT	Modelo	7	4738675.98	676953.71	3.84	0.0274	0.41	0.14	0.07
		Error	10	1764574.63	176457.46	-	-	-	-	-
		Total	17	6503250.61	-	-	-	-	-	-

DN: diámetro normal; HT: altura total; DC: diámetro de copa; AB: área basal; DQ: diámetro cuadrático; VOL: volumen promedio; BT: biomasa aérea total; GL: grados de libertad.







Valores de p de los contrastes ortogonales para los tratamientos de intensidad de aclareos en el análisis del incremento de las variables dasométricas de *Pinus patula*.

Contraste	Variables							
	DN	HT	DC	AB	DQ	VOL	BT	
T0 vs. T30	0.10	0.97	0.22	0.77	0.95	0.49	0.58	
T30 vs. T40	0.02	0.91	0.15	0.99	0.04	0.38	0.25	
T30 vs. T50	0.04	0.95	0.43	0.09	0.05	0.79	0.95	
T30 vs. T60	0.07	0.15	0.10	0.07	0.17	0.74	0.93	
T30 vs. T70	0.001	0.27	0.03	0.07	0.001	0.52	0.79	
T40 vs. T50	0.73	0.86	0.48	0.09	0.90	0.26	0.22	
T40 vs. T60	0.49	0.12	0.81	0.06	0.40	0.24	0.28	
T40 vs. T70	0.06	0.22	0.37	0.07	0.08	0.15	0.16	
T50 vs. T60	0.73	0.16	0.35	0.85	0.47	0.95	0.89	
T50 vs. T70	0.03	0.29	0.12	0.90	0.06	0.70	0.84	
T60 vs. T70	0.02	0.71	0.50	0.95	0.01	0.75	0.73	
T0 vs. T70	<0.0001	0.29	0.003	0.04	0.001	0.19	0.42	
T40 T50 T60 vs. T70	0.01	0.43	0.20	0.42	0.02	0.37	0.42	

DN: diámetro normal; HT: altura total; DC: diámetro de copa; AB: área basal; DQ: diámetro medio cuadrático; VOL: volumen; BT: biomasa aérea total.

Incrementos de las variables dasométricas con respecto a los tratamientos de intensidad de corta en aclareos.

Tratamientos	Variables dasométricas					
	DN	HT	DC	AB	DQ	VOL
T0	0.40	0.29	0.41	1.72	0.63	21.49
T30	0.56	0.28	0.73	1.62	0.62	16.71
T40	0.80	0.24	1.12	1.62	0.83	22.73
T50	0.77	0.29 ⁴⁸	0.94	0.98	0.82	14.87
T60	0.74	0.76	1.18	0.91	0.74	14.45
T70	0.99	0.64	1.35	0.93	1.0	12.26

DN: diámetro normal promedio (cm); HT: altura total promedio (m); DC: diámetro de copa promedio (m); AB: área basal (m^2ha^{-1}); DQ: diámetro medio cuadrático (cm); VOL: volumen total promedio (m^3ha^{-1}).

Crecimiento de masas con mezcla de especies



Cuadro 7. Estimadores de inventario obtenidos para el volumen con el esquema de muestreo simple al azar estratificado (MSAE).

Subrodal	Superficie (ha)	nh	Nh	Volumen promedio por sitio 2018	Volumen total del subrodal 2018	Volumen por hectárea 2018	Volumen promedio por sitio 2021	Volumen total del subrodal 2021	Volumen por hectárea 2021	ICA	Edad promedio 2021	IMA
A0210	88.464	5	884.6	30.4	26878.9	303.8	32.1	28367.3	320.7	5.6	47.6	6.7
A0212	229.953	2	2300	34.3	78985.5	343.5	37.9	87110.8	378.8	11.8	53.8	7.0
B0101	60.034	3	600.3	39.9	23950.1	398.9	41.6	24954.1	415.7	5.6	56.5	7.4
B0103	103.043	4	1030	37.7	38885.1	377.4	41.9	43162.4	418.9	13.8	53.7	7.8
B0105	3.628	2	36.28	63.9	2316.9	638.6	67.1	2433.3	670.7	10.7	48.1	14.0
B0107	190.18	2	1902	40.7	77376.1	406.9	43.6	82823.7	435.5	9.5	60.3	7.2
B0203	237.773	11	2378	55.2	131351.0	552.4	56.8	135060.0	568.0	5.2	58.2	9.8
D0101*	19.46	1	194.6	51.9	10102.1	519.1	47.8	9308.3	478.3		49.1	
D0104	29.635	1	296.4	27.7	8208.9	277.0	30.8	9133.4	308.2	10.4	31.8	9.7
L0115	33.615	2	336.2	40.6	13645.7	405.9	47.2	15855.8	471.7	21.9	35.4	13.3
L0201	7.155	2	71.55	41.4	2961.5	413.9	47.7	3412.5	476.9	21.0	35.7	13.4
L0202*	10.569	1	105.7	56.5	5973.2	565.2	52.0	5496.5	520.1		36.4	
Q0501	198.704	3	1987	49.8	98893.7	497.7	52.1	103552.7	521.1	7.8	53.9	9.7
Q0502	39.535	1	395.4	23.9	9460.0	239.3	28.0	11051.1	279.5	13.4	48.9	5.7

11.4 m³ 9.3 m³

Dónde: nh= número de unidades muestrales en el estrato h incluidas en la muestra; Nh = marco de muestreo por estrato h; ICA: incremento corriente anual (m³ ha⁻¹ año⁻¹); IMA: incremento medio anual (m³ ha⁻¹ año⁻¹).

Estructura observada y estructura meta

Las hectáreas tipo se calcularon por año de medición (2018 y 2021).

La estructura meta se implementó con fines ilustrativos, considerando un valor q de 1.52, obtenido a partir de los datos observados y 20 árboles por hectárea de 35 cm como meta.

La curva de equilibrio de Liocourt obtenida presenta la estructura siguiente:

$$NA = 374.9 \times \exp(-0.0837 \times CD)$$

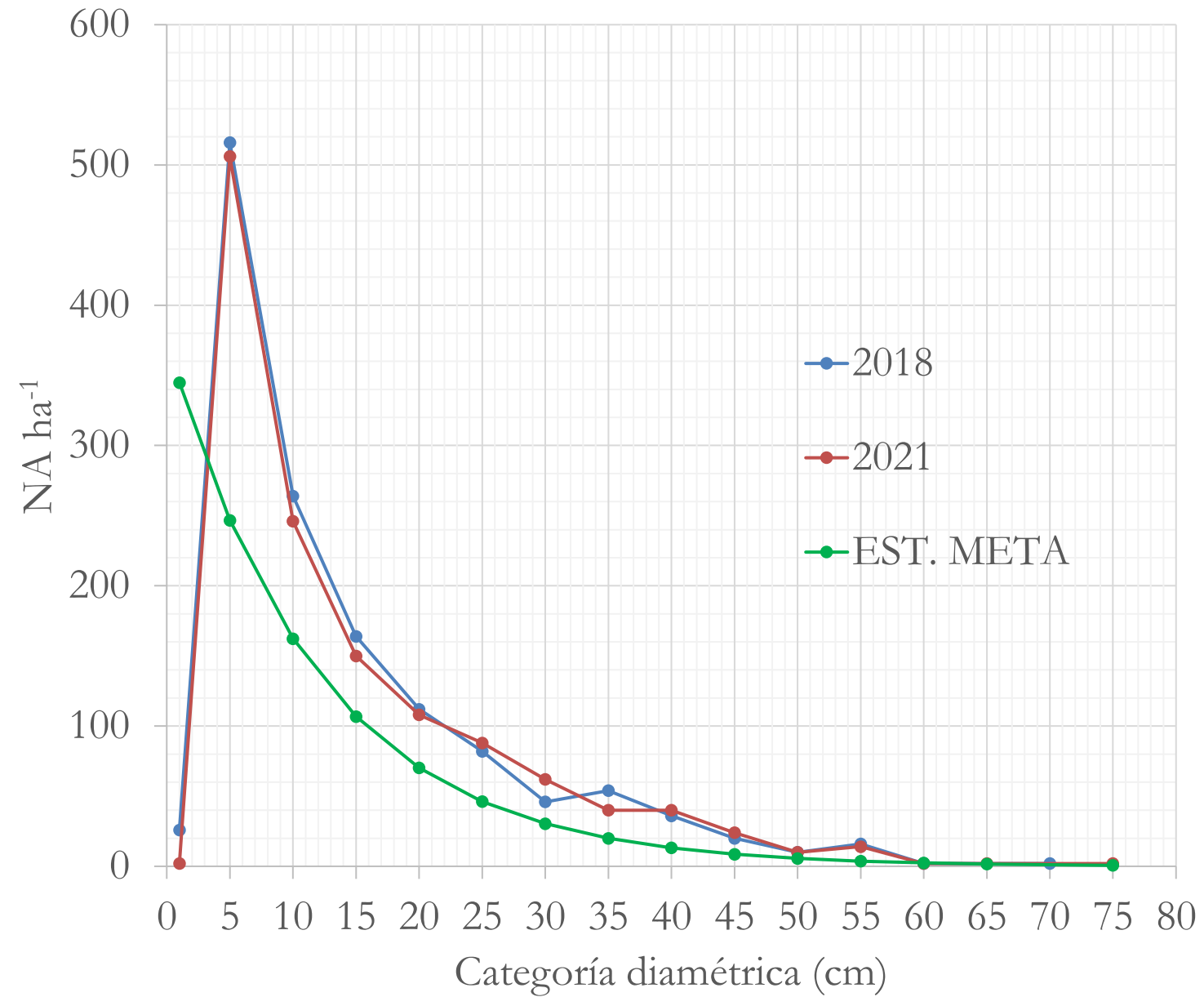
Cuadro 8. Hectárea tipo 2018 y estructura meta estimada para el subrodal A0210.

AÑO	CD	ALT PROM. CD	VOL. PROM. CD	VOL HA	AB. PROM. CD	AB HA	NA PROM. CD	NA HA	NA META	VOL META
2018	1	1.85	0.00	0.02	0.00	0.01	2.6	26	345	0.4
2018	5	4.70	0.31	3.14	0.10	1.01	51.6	516	247	1.7
2018	10	9.27	0.87	8.69	0.20	1.97	26.4	264	162	5.8
2018	15	12.63	1.63	16.30	0.29	2.91	16.4	164	107	10.7
2018	20	15.37	2.20	21.97	0.34	3.43	11.2	112	70	14.3
2018	25	17.10	2.80	27.97	0.40	3.98	8.2	82	46	16.5
2018	30	19.48	2.50	25.04	0.31	3.09	4.6	46	30	16.4
2018	35	22.13	4.78	47.82	0.54	5.35	5.4	54	20	18.4
2018	40	22.41	4.25	42.45	0.45	4.52	3.6	36	13	15.1
2018	45	26.70	3.27	32.75	0.31	3.13	2	20	9	14.6
2018	50	24.52	1.99	19.91	0.20	1.96	1	10	6	12.3
2018	55	28.09	4.18	41.81	0.37	3.72	1.6	16	4	10.1
2018	60	27.00	0.65	6.52	0.06	0.57	0.2	2	2	7.3
2018	70	29.10	0.95	9.46	0.08	0.81	0.2	2	2	6.0
2018	75								1	3.7
$\Sigma=$		30.39	303.86	3.65	36.46	135.00	1350	1063	153.38	

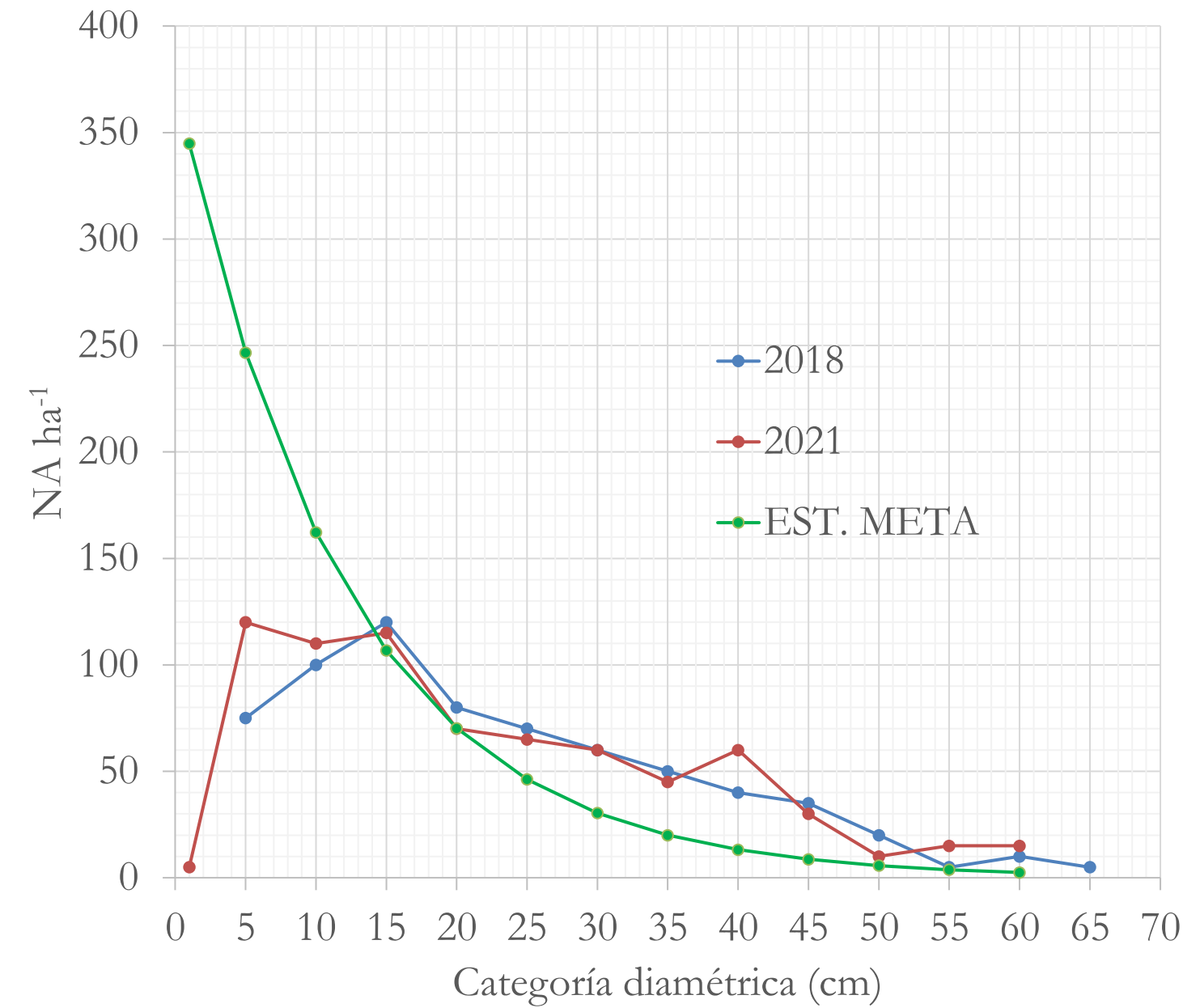
Cuadro 9. Hectárea tipo 2021 y estructura meta estimada para el subrodal A0210.

AÑO	CD	ALT PROM. CD	VOL. PROM. CD	VOL HA	AB. PROM. CD	AB HA	NA PROM. CD	NA HA	NA META	VOL META
2021	1	2.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.2	2	345	0.4
2021	5	5.08	0.35	3.53	0.11	1.08	50.6	506	247	1.7
2021	10	9.33	0.88	8.84	0.19	1.94	24.6	246	162	5.8
2021	15	13.29	1.50	15.02	0.26	2.59	15	150	107	10.7
2021	20	15.77	2.20	22.04	0.34	3.36	10.8	108	70	14.3
2021	25	18.00	3.15	31.47	0.42	4.21	8.8	88	46	16.5
2021	30	19.15	3.34	33.41	0.43	4.28	6.2	62	30	16.4
2021	35	22.22	3.68	36.85	0.40	4.02	4	40	20	18.4
2021	40	22.77	4.60	45.98	0.49	4.93	4	40	13	15.1
2021	45	26.27	4.04	40.41	0.39	3.88	2.4	24	9	14.6
2021	50	25.80	2.16	21.63	0.20	2.00	1	10	6	12.3
2021	55	28.60	3.77	37.69	0.33	3.33	1.4	14	4	10.1
2021	60	26.30	0.59	5.92	0.05	0.53	0.2	2	2	7.3
2021	65	27.70	0.74	7.41	0.06	0.64	0.2	2	2	6.0
2021	75	29.70	1.05	10.47	0.09	0.88	0.2	2	1	3.7
$\Sigma=$		32.07	320.65	3.77	37.68	129.60	1296	1063	153.38	

A0210

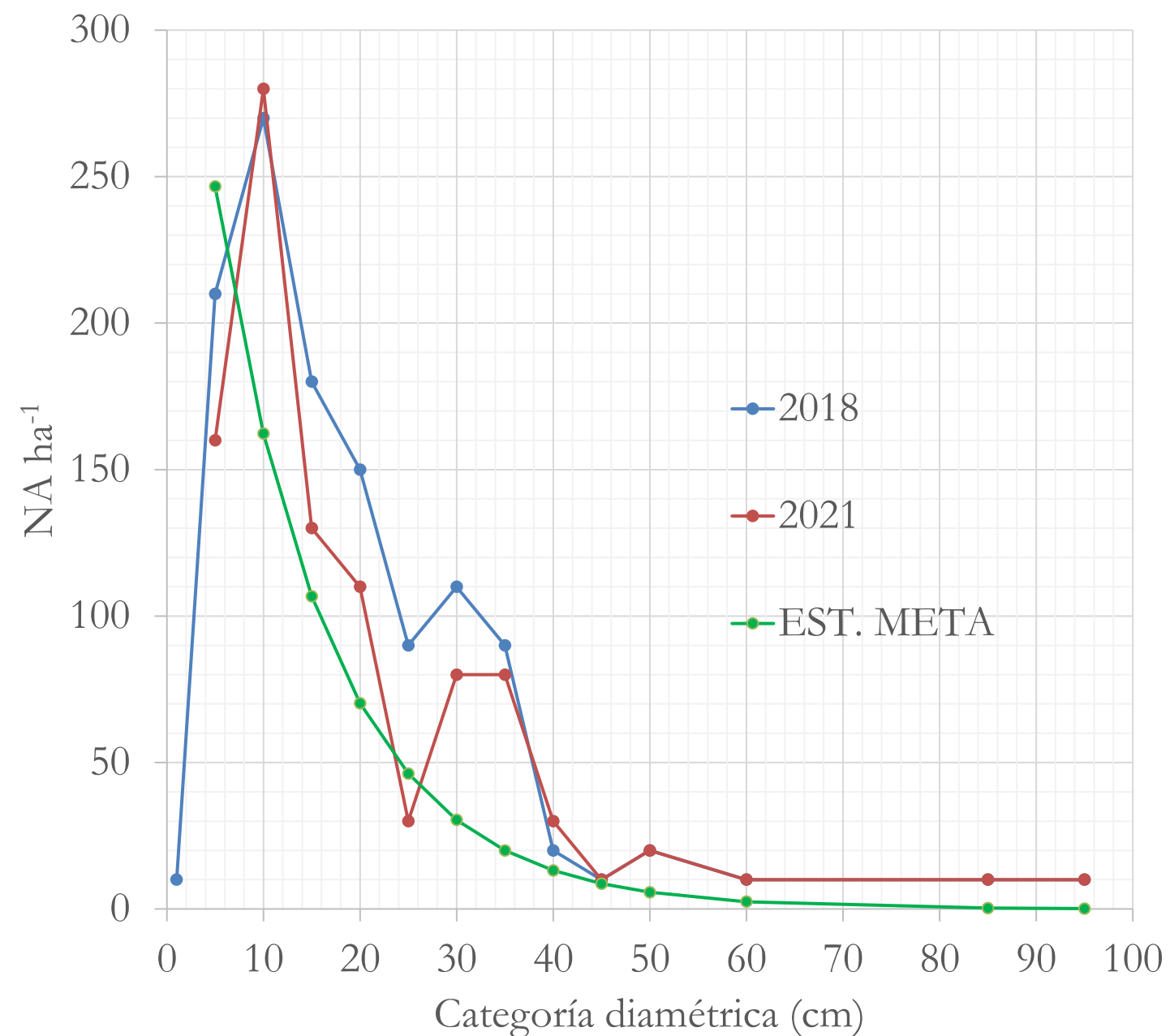


A0212

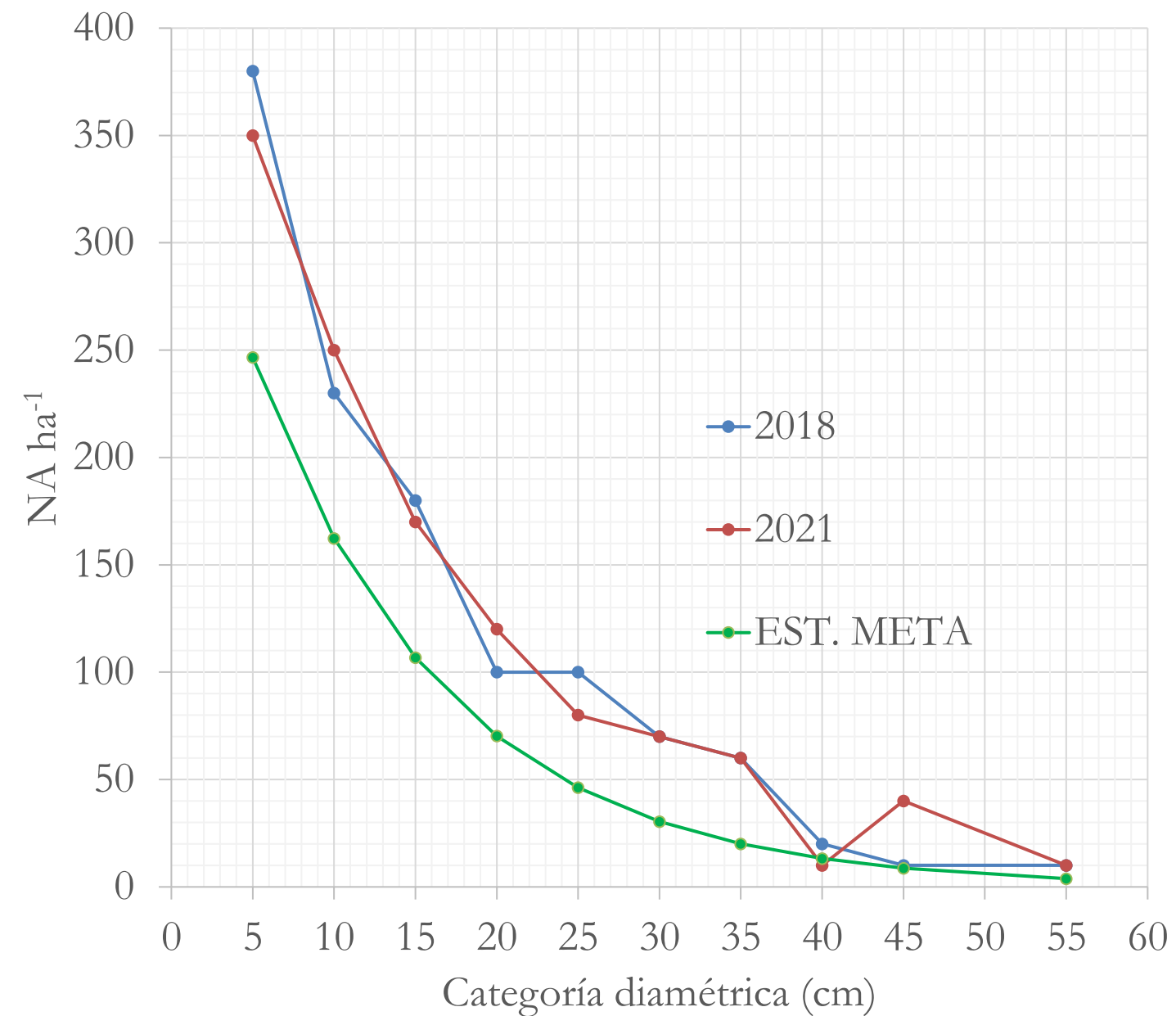


Tendencia de las estructuras observadas derivadas de la hectárea tipo por año de medición (2018 y 2021) en cada subrodal, contrastadas con la estructura meta definida.

D0101



Q0502



Tendencia de las estructuras observadas derivadas de la hectárea tipo por año de medición (2018 y 2021) en cada subrodal, contrastadas con la estructura meta definida.

Cuadro 10. Resultados de los índices de diversidad analizados para las 40 parcelas permanentes de muestreo por año de medición.

Sitio	S	Ind	D	Simpson (1-D)	Shannon_ (H')	Evenness (Ev)	Margalef (D _{MG})
Sitio1_2018	8	357	0.317	0.683	1.344	0.479	1.191
Sitio1_2021	7	313	0.324	0.675	1.318	0.533	1.044
Sitio2_2018	9	119	0.283	0.717	1.448	0.473	1.674
Sitio2_2021	8	96	0.271	0.729	1.473	0.545	1.534
Sitio3_2018	8	60	0.271	0.729	1.622	0.633	1.71
Sitio3_2021	6	43	0.315	0.684	1.378	0.661	1.329
Sitio4_2018	6	60	0.302	0.698	1.385	0.666	1.221
Sitio4_2021	6	55	0.289	0.711	1.420	0.689	1.248
Sitio5_2018	10	121	0.223	0.776	1.762	0.582	1.877
Sitio5_2021	9	110	0.246	0.753	1.648	0.577	1.702
Sitio6_2018	9	164	0.435	0.565	1.251	0.388	1.569
Sitio6_2021	9	169	0.377	0.623	1.366	0.435	1.559
Sitio7_2018	10	137	0.226	0.775	1.713	0.554	1.829
Sitio7_2021	11	127	0.219	0.781	1.770	0.534	2.064
.							
.							
.							






Herramientas biométricas y silvícolas publicadas

Resultados del
establecimiento y análisis
de parcelas
permanentes de medición
en Ixtlán de Juárez



Article

A Dynamic System of Growth and Yield Equations for *Pinus patula*

Wenceslao Santiago-García ^{1,*} , Eloísa Pérez-López ¹, Gerónimo Quiñonez-Barraza ² , Gerardo Rodríguez-Ortiz ³ , Elías Santiago-García ⁴, Faustino Ruiz-Aquino ¹ and Juan Carlos Tamarit-Urías ⁵

¹ Instituto de Estudios Ambientales-División de Estudios de Postgrado-Ingeniería Forestal, Universidad de la Sierra Juárez, Avenida Universidad s/n, 68725 Ixtlán de Juárez, Oaxaca, Mexico; elois_agle@hotmail.com (E.P.-L); ruiz.aquino@unsij.edu.mx (F.R.-A.)

² Centro de Investigación Regional Norte Centro, Campo Experimental Valle del Guadiana, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Carretera Durango-Mezquital Km 4.5, 34170 Durango, Durango, Mexico; gero2723@hotmail.com

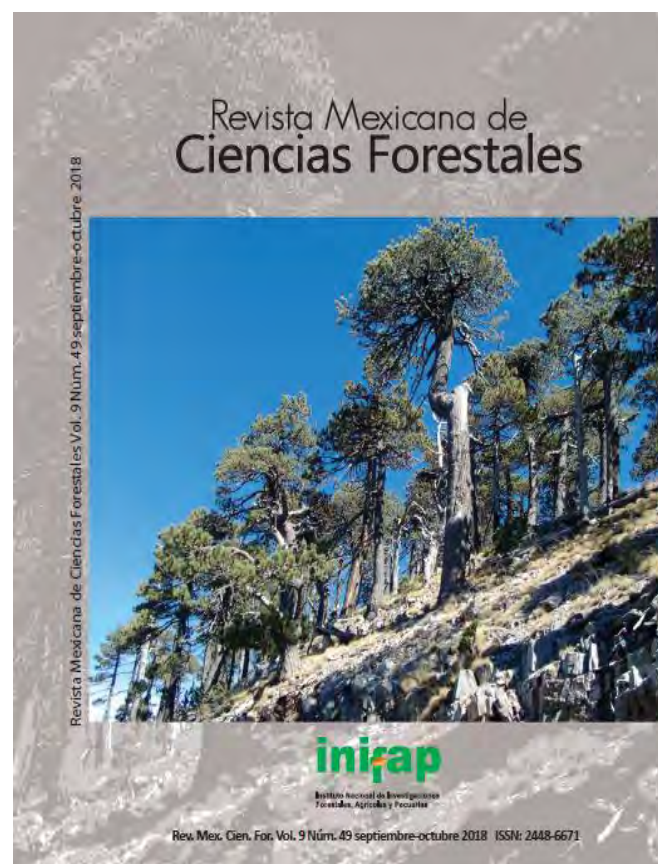
³ División de Estudios de Posgrado e Investigación-Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, Ex Hacienda de Nazareno s/n, 71230 Xoxocotlán, Oaxaca, Mexico; geraro65@gmail.com

⁴ Dirección Técnica Forestal de la Comunidad de Ixtlán de Juárez, Oaxaca, Carretera Oaxaca-Tuxtepec s/n, 68725 Ixtlán de Juárez, Oaxaca, Mexico; forestal_esg@live.com

⁵ Centro de Investigación Regional Golfo Centro, Campo Experimental San Martinito, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Carretera Federal Mexico-Puebla Km 56.5, 74100 Santa Rita Tlahuapan, Puebla, Mexico; tamarit.juan@inifap.gob.mx

* Correspondence: wsantiago@unsij.edu.mx; Tel.: +52-951-220-3466

Received: 1 October 2017; Accepted: 23 November 2017; Published: 28 November 2017



DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i49.162>

Artículo

Autoaclareo y manejo de la densidad en rodales coetáneos de *Pinus patula* Schiede ex Schlechtdl. & Cham.

Self-thinning and density management in even-aged *Pinus patula* Schiede ex Schlechtdl. & Cham. stands

J. Alberto Camacho-Montoya¹, Wenceslao Santiago-García^{2*}, Gerardo Rodríguez-Ortiz³, Pablo Antúnez², Elías Santiago-García y Mario Ernesto Suárez-Mota²

Abstract:

The community of *Ixtlán de Juárez, Oaxaca* has a significant timber potential due to the high productivity of the forest. One of the most important species is *Pinus patula*, because of the abundant distribution, high commercial value and rapid growth. Therefore, it is necessary to determine the limits of the possible maximum density that the stands can sustain to lead actions to control competition and growth space. In this study, the maximum density line (upper limit of self-thinning) was estimated under the Reineke model through two approaches: 1) ordinary least squares (OLS) and 2) stochastic frontier regression (SFR), the last with half-normal and truncated-normal models. A total of 64 permanent sampling plots of 400 m² in even-aged stands of *P. patula* were used. The estimate of the upper bound of the self-thinning with SFR approach with half-normal form was more efficient and let to know the maximum density index of even-aged stands. The upper bound of self-thinning line is the primary input for the construction of a stand density management diagram, which is essential tool for the definition of regimes of thinning and growth space optimization.

Key words: Competition, density management diagram, stand density index, thinning regime, stochastic frontier regression model, Reineke.

MODELOS DE CRECIMIENTO EN ALTURA DOMINANTE E ÍNDICES DE SITIO PARA *Pinus ayacahuite* Ehren

MODELS OF DOMINANT HEIGHT GROWTH AND SITE INDEXES FOR *Pinus ayacahuite* Ehren

Miguel Hernández-Cuevas¹, Wenceslao Santiago-García^{2*}, H. Manuel De los Santos-Posadas³,
Pablo Martínez-Antúnez², Faustino Ruiz-Aquino²

¹Universidad de la Sierra Juárez. Avenida Universidad s/n, Ixtlán de Juárez, 68725, Oaxaca, México. ²Instituto de Estudios Ambientales-División de Estudios de Postgrado. Universidad de la Sierra Juárez. ³Ciencias Forestales. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México. (wsantiago@unsij.edu.mx)

RESUMEN

El desarrollo de modelos matemáticos con bases técnicas y científicas es importante para tomar decisiones en el mane-

ABSTRACT

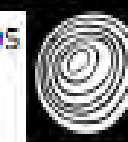
The development of mathematical models with technical and scientific bases is important in forest management



doi: 10.21829/myb.2018.2421496

Madera y Bosques vol. 24, núm. 2, e2421496 Verano 2018

Artículos Científicos



Modelación del perfil fustal y volumen total para *Pinus ayacahuite* Ehren

Taper and total volume model for *Pinus ayacahuite* Ehren

Agustín Ramírez-Martínez¹, Wenceslao Santiago-García^{2*}, Gerónimo Quiñonez-Barraza³,

Faustino Ruiz-Aquino² y Pablo Antúnez²

¹ Universidad de la Sierra Juárez, Ingeniería Forestal, Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México.

² Universidad de la Sierra Juárez, Instituto de Estudios Ambientales-División de Estudios de Posgrado, Oaxaca, México.

* Autor de correspondencia, wsantiago@unsij.edu.mx

³ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional Norte Centro, Campo Experimental Valle del Guadiana, Durango, Durango, México.

RESUMEN

El perfil del fuste o ahusamiento describe el cambio del diámetro conforme aumenta la altura del árbol a partir del tocón. Para describir esta variación y cuantificar las secciones del fuste de árboles en pie, se han utilizado modelos matemáticos, los cuales constituyen una herramienta estadística flexible para procesar datos y determinar existencias y productos maderables. El objetivo de esta investigación fue modelar el ahusamiento de *Pinus ayacahuite* Ehren que se distribuye en rodales mezclados bajo manejo forestal, en la región Sierra Norte de Oaxaca. Con datos de 55 individuos de la especie estudiada se ensayaron cinco modelos de ahusamiento cuyos ajustes fueron por regresión lineal y no lineal. La evaluación y selección de los modelos más apropiados se hizo con base en indicadores estadísticos de bondad de ajuste, además de un análisis gráfico. Dada la capacidad predictiva del modelo Cielito 2, este resultó ser el más adecuado para describir el perfil del fuste y determinar la distribución de productos maderables a un diámetro de punta y altura deseados. Al evaluar la estimación del volumen a través de diferentes alternativas, la más adecuada resultó ser mediante una ecuación de volumen de doble entrada, debido a que presentó el menor sesgo en la estimación. Aunque la ecuación de volumen total definida en la integración del modelo Cielito 2 posee la capacidad de estimar el volumen entre dos alturas a lo largo del fuste, la utilidad mayor es para la distribución de productos de árboles en pie.

PALABRAS CLAVE: ahusamiento, ajuste de modelos, distribución de productos, volumen total.



Estimación de distribuciones diamétricas para *Pinus patula* con la función Weibull

Estimation of diameter distributions for *Pinus patula* with the Weibull function

Eloísa Pérez-López¹, Wenceslao Santiago-García^{2*}, Gerónimo Quiñonez-Barraza³,

Gerardo Rodríguez-Ortiz⁴, Elías Santiago-García⁵ y Faustino Ruiz-Aquino²

¹ Universidad de la Sierra Juárez, Ingeniería Forestal, Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México.

² Universidad de la Sierra Juárez, Instituto de Estudios Ambientales-División de Estudios de Postgrado, Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México.

³ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional Norte Centro, Campo Experimental Valle del Guadiana, Durango, Durango, México.

⁴ Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Oaxaca, México.

⁵ Dirección Técnica Forestal de la Comunidad de Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México.

* Autor de correspondencia. wsantiago@unsij.edu.mx

RESUMEN

La predicción implícita es una herramienta valiosa para conocer el tipo de productos que se pueden obtener del bosque en un tiempo determinado y, de esta forma, planificar el manejo forestal sostenible. En la Sierra Norte de Oaxaca, México, existen rodales coetáneos de *Pinus patula*, una especie maderable de rápido crecimiento e importancia económica y ecológica. El objetivo de este estudio fue estimar el crecimiento y rendimiento maderable de esta especie a través de dos sistemas de predicción con el enfoque de modelos de distribución en clases diamétricas. La base de datos consistió en 132 distribuciones diamétricas, provenientes de 66 sitios permanentes de muestreo de 400 m² localizados en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. La distribución diamétrica del rodal se estimó mediante la función de densidad de probabilidades Weibull con los métodos de predicción de parámetros y predicción de percentiles. Asimismo, se ajustaron modelos de proyección del diámetro mínimo y diámetro medio cuadrático del rodal para recuperar los parámetros y estimar la estructura diamétrica de rodales a medida que cambia la edad. El mejor método fue el de predicción de parámetros, debido al sesgo menor en la predicción del volumen total con respecto a un sistema de proyección explícito diseñado para la especie. Por tanto, es preferente el uso de este sistema de predicción implícita para planificar el manejo de los rodales coetáneos de *P. patula*.

PALABRAS CLAVE: método de momentos, predicción de parámetros, predicción de percentiles, predicción implícita, prueba de Kolmogorov-Smirnov, regresión.



Generalized height-diameter models for five pine species at Southern Mexico

Wenceslao Santiago-García^a , Antonio Heriberto Jacinto-Salinas^b , Gerardo Rodríguez-Ortiz^b , Adan Nava-Nava^a , Elías Santiago-García^c , Gregorio Ángeles-Pérez^d  and José Raymundo Enríquez-del Valle^b 

^aDivisión de Estudios de Posgrado-Instituto de Estudios Ambientales, Universidad de la Sierra Juárez, Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México; ^bDivisión de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, Oaxaca, México; ^cDirección Técnica Forestal de la comunidad de Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México; ^dCiencias Forestales, Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Montecillo, Texcoco, México

ABSTRACT

Generalized height-diameter at breast height (D) models are essential for the estimation of the timber stocks of a forest stand, as well as in the generation of base information to develop forest growth models, and as basic inputs in the development of forest management plans. Generalized models were developed to estimate total height (TH) based on the D and stand variables, of five *Pinus* species in forests under forest management of Ixtlán de Juárez, Oaxaca, Mexico. The data used come from a timber forest inventory, where $n = 1041$ sampling plots of 1000 m^2 each were established based on a stratified-systematic sampling design. The species selected according to their relative abundance were: *Pinus patula*, *Pinus oaxacana*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus teocote* and *Pinus leiophylla*. Five nonlinear equations were fitted using regression techniques to predict the TH of the trees under several silviculture regimes and forest management conditions. The statistical criteria of goodness of fit used were: adjusted coefficient of determination (R^2_{adj}), root mean square error (RMSE) and absolute average bias in the prediction (E). Likewise, the graphic analysis of the predictive capacity of the equations was considered. The D and the stand variables (quadratic mean diameter, dominant diameter and dominant height) for these species explained between 75 and 83% of the variability of the TH data. The predicting variables to apply the developed generalized models to estimate tree's total height require less sampling effort and are derived from conventional forest inventory data, which allows to reduce costs and time in field work.

ARTICLE HISTORY

Received 3 February 2020
Accepted 19 March 2020

KEYWORDS

Nonlinear models; forest inventory; *Pinus*; allometric relationships



Artículo Científico



Rev. Fitotec. Mex. Vol. 43 (4): 461 - 470, 2020

ECUACIONES DINÁMICAS DE CRECIMIENTO EN ALTURA DOMINANTE E ÍNDICE DE SITIO PARA *Pinus patula* SCHIEDE ex SCHLTDL. & CHAM.

DYNAMIC EQUATIONS OF GROWTH IN DOMINANT HEIGHT AND SITE INDEX FOR *Pinus patula* SCHIEDE ex SCHLTDL. & CHAM.

Adan Nava-Nava¹, Wenceslao Santiago-García^{2*}, Gerardo Rodríguez-Ortiz³, Héctor M. De los Santos-Posadas⁴, Faustino Ruiz-Aquino², Elías Santiago-García⁵ y Mario E. Suárez-Mota²





¹Universidad de la Sierra Juárez (UNSIJ), Maestría en Ciencias en Conservación de los Recursos Forestales, Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México.

²UNSIJ, División de Estudios de Postgrado-Instituto de Estudios Ambientales, Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. ³Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Xoxocotlán, Oaxaca, México. ⁴Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Posgrado en Ciencias Forestales, Texcoco, Estado de México, México. ⁵Dirección Técnica Forestal de la Comunidad de Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México.

*Autor de correspondencia (wsantiago@unsij.edu.mx)

Article

Climatic and Topographic Variables Improve Estimation Accuracy of Patula Pine Forest Site Productivity in Southern Mexico

Adan Nava-Nava ¹, Wenceslao Santiago-García ^{2,*}, Gerónimo Quiñonez-Barraza ³, Héctor Manuel de los Santos-Posadas ¹, José René Valdez-Lazalde ¹ and Gregorio Ángeles-Pérez ^{1,*}

- ¹ Ciencias Forestales, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Carretera México-Texcoco km 36.5, Texcoco 32910, Mexico
 - ² División de Estudios de Postgrado, Instituto de Estudios Ambientales, Universidad de la Sierra Juárez, Avenida Universidad S/N, Ixtlán de Juárez, Oaxaca 68725, Mexico
 - ³ Campo Experimental Valle del Guadiana, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Carretera Durango-Mezquital km 4.5, Durango 34170, Mexico
- * Correspondence: wsantiago@unsij.edu.mx (W.S.-G.); gangeles@colpos.mx (G.Á.-P.)

Abstract: Sustainable forest management requires accurate biometric tools to estimate forest site quality. This is particularly relevant for prescribing adequate silvicultural treatments of forest management planning. The aim of this research was to incorporate topographic and climatic variables into dominant height growth models of patula pine stands to improve the estimation of forest stand productivity. Three generalized algebraic difference approach (GADA) models were fit to a dataset from 66 permanent sampling plots, with six re-measurements and 77 temporary inventory sampling plots established on forest stands of patula pine. The nested iterative approach was used to fit the GADA models, and goodness-of-fit statistics such as the root mean square error, Akaike's Information Criterion, and Bias were used to assess their performance. A Hossfeld IV GADA equation type that includes altitude, slope percentage, mean annual precipitation, and mean annual minimum temperature produced the best fit and estimation. Forest site productivity was negatively affected by altitude, while increasing the mean annual minimum temperature suggested the fastest-growing rates for dominant tree height.

Keywords: generalized algebraic difference approach; Hossfeld IV equation; precipitation; site index; temperature



Citation: Nava-Nava, A.; Santiago-García, W.; Quiñonez-Barraza, G.; Santos-Posadas, H.M.d.l.; Valdez-Lazalde, J.R.; Ángeles-Pérez, G. Climatic and Topographic Variables Improve Estimation Accuracy of Patula Pine Forest Site Productivity in Southern Mexico. *Forests* **2022**, *13*, 1277. <https://doi.org/10.3390/f13081277>

Academic Editor: Karol Bronisz



Ajuste y validación de modelos de crecimiento en altura dominante e índices de sitio para *Pinus oaxacana* del sur de México

Fit and validation of models for growth of dominant height and site indices for *Pinus oaxacana* in Southern Mexico

**Edith Beteta-Montaña ^a, Wenceslao Santiago-García ^{a*}, Gerardo Rodríguez-Ortiz ^b,
Mario Ernesto Suárez-Mota ^a, Martín Aquino-Ramírez ^c, Adán Nava-Nava ^d,
Faustino Ruiz-Aquino ^a**

*Autor de correspondencia: ^a Universidad de la Sierra Juárez, División de Estudios de Postgrado-Instituto de Estudios Ambientales, Avenida Universidad s/n, Ixtlán de Juárez, CP 68725, Oaxaca, México, wsantiago@unsij.edu.mx

^b Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Oaxaca, México.

^c Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Edzná, Campeche, Campeche, México.

^d Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Ciencias Forestales, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.



04:

Comentarios finales

Resultados del
establecimiento y análisis
de parcelas
permanentes de medición
en Ixtlán de Juárez

Conclusiones

Los sitios permanentes de investigación silvícola son herramientas clave para la gestión sostenible de los recursos forestales y el conocimiento de los procesos ecológicos en los bosques. Estos sitios proporcionan información valiosa sobre la evolución del bosque, la biodiversidad, los servicios ecosistémicos, el crecimiento y rendimiento de las masas forestales, lo que ayuda a desarrollar políticas y estrategias de conservación y manejo sostenible de los bosques.

Recomendaciones

Aumentar el número de parcelas permanentes, sobre todo en masas mezcladas, porque al aumentar el tamaño de muestra, se obtiene mayor representatividad de las unidades de manejo.

Continuar con el monitoreo de las parcelas permanentes de masas puras y mezcladas para conocer a corto, mediano y largo plazo, la dinámica de desarrollo de los bosques de la comunidad.

Incrementar el acervo de herramientas biométricas y silvícolas con miras a la actualización del programa de manejo forestal de la comunidad.

Agradecimientos

Comisariado de Bienes Comunales
Dirección Técnica Forestal
Estudiantes





Literatura citada

Corral-Rivas, J. J., Vargas-Larreta, B., Wehenkel, C., Aguirre-Calderón, O., & Crecente-Campo, F. 2013. Guía para el establecimiento, seguimiento y evaluación de sitios permanentes de monitoreo en paisajes productivos forestales. Durango, México: Conafor-Conacyt.

Gadow K.v., Rojo-Alboreca A., Álvarez-González J.G., Rodríguez-Soalleiro R. 1999. “Ensayos de crecimiento. Parcelas permanentes, temporales y de intervalo”. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales. Fuera de Serie, núm. 1. 229-310.

Musálem-Santiago, M. A., & Fierros, A. M. 1996. Apuntes de curso: silvicultura de bosques templados (No. 634.95 M89).

Pérez-Vásquez, K. M. 2020. Análisis de estructura y crecimiento de *Pinus ayacahuite* Ehrenb. ex Schltdl. en bosques de Ixtlán de Juárez, Oaxaca. Tesis de Ingeniería Forestal. Universidad de la Sierra Juárez. 103 p.

Santiago-García, W., H.M. De los Santos-Posadas, G. Ángeles-Pérez, J.R. Valdez-Lazalde, J.J. Corral-Rivas, G. Rodríguez-Ortiz y E. Santiago-García. 2015. Modelos de crecimiento y rendimiento de totalidad del rodal para *Pinus patula*. Madera y Bosques 21(3):95-110.

Vanclay, J. K. 1994. Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests. CAB international.



Dr. Wenceslao Santiago García
Universidad de la Sierra Juárez
wsantiago@unsij.edu.mx

A misty forest with tall, moss-covered trees. The ground is covered in ferns and other vegetation. A person in a yellow jacket is visible in the distance, standing near a tree. The word "GRACIAS" is written in yellow text in the center of the image.

GRACIAS



Colegio de
Postgraduados



GESTIÓN FORESTAL COMUNITARIA: AVANCES CIENTÍFICOS, TÉCNICOS
Y SILVÍCOLAS EN BOSQUES DE SAN PEDRO EL ALTO

SILVICULTURA EN LA SIERRA SUR DE OAXACA

MC. DISRAELI HERNANDEZ PEREZ
ASESOR FORESTAL

Abril 2023

ANTECEDENTES

En Oaxaca el 80% de los bosques son propiedad de comuneros y ejidatarios, población en su mayor parte indígena, presentan un profundo rezago social y económico, que afecta gravemente su calidad de vida

Cerca de 660 mil habitantes (19.2% de la población de Oaxaca) viven y dependen de los bosques, cuyo aprovechamiento genera 40 mil empleos directos.

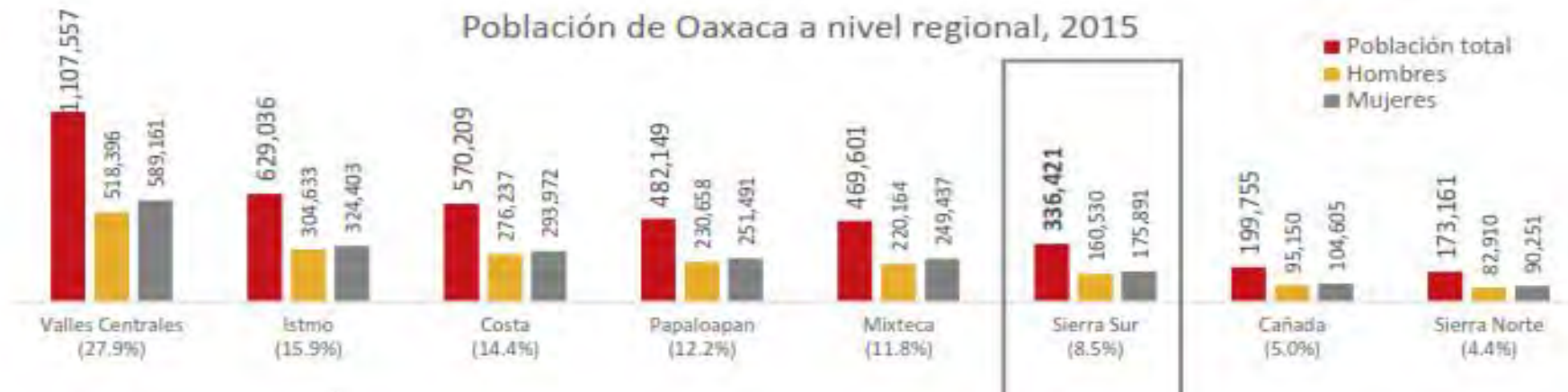


SIERRA SUR DE OAXACA



a) Aspectos Demográficos

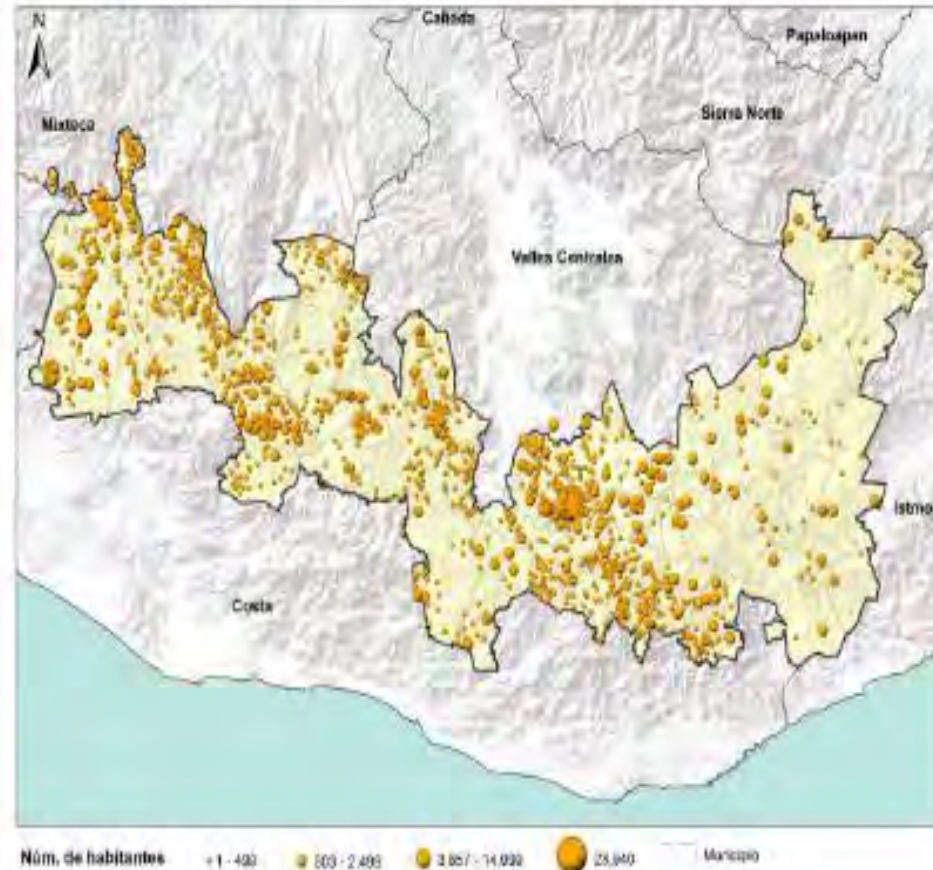
- La región Sierra Sur abarca una superficie de 14,753.26 km², se subdivide en 70 municipios agrupados en cuatro distritos: Putla, Sola de Vega, Miahuatlán y Yautepec.
- La región representa la sexta concentración poblacional en el estado y constituye 8.5% de su población total.
 - **336,421 habitantes.**
- El **municipio** con mayor presencia: Miahuatlán de Porfirio Díaz (42,312 hab); y el de menor población Santa Catarina Quijoquitani (482 hab).



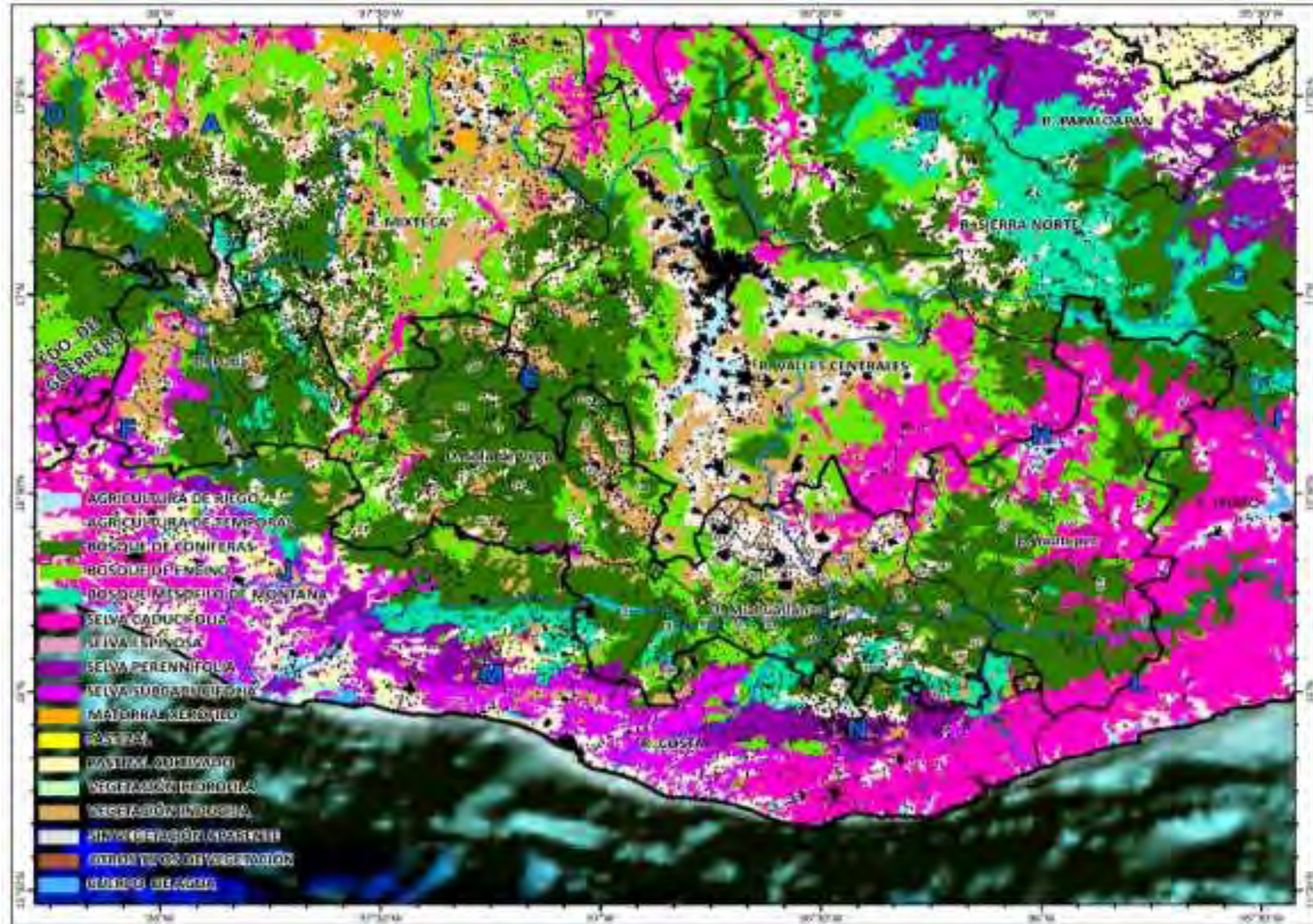
SIERRA SUR DE OAXACA

- **84.1%** de la población de la Sierra Sur vive en localidades con menos de 2,500 personas, que generalmente son localidades dispersas en zonas rurales de difícil acceso.

Distribución de la población por tamaño de localidad



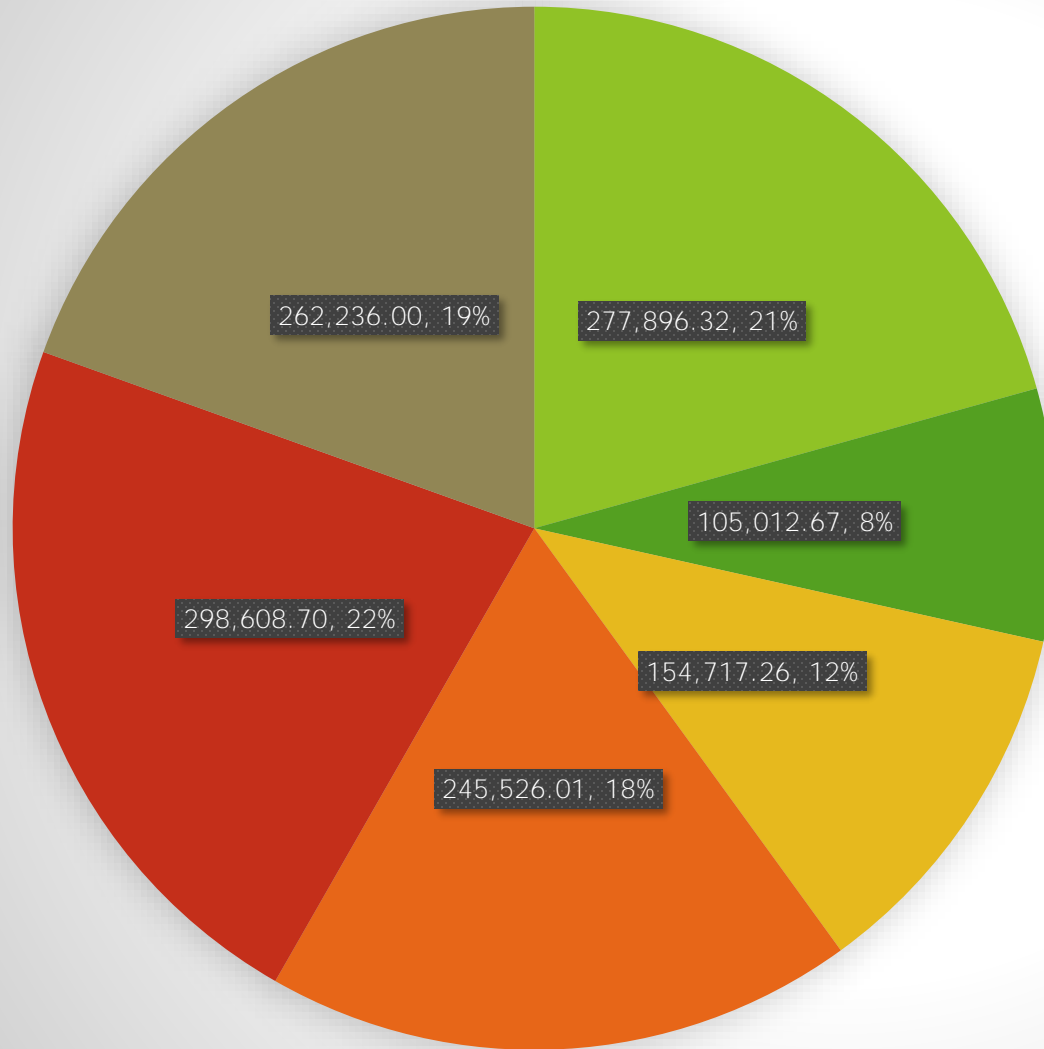
SIERRA SUR DE OAXACA



SUPERFICIE FORESTAL

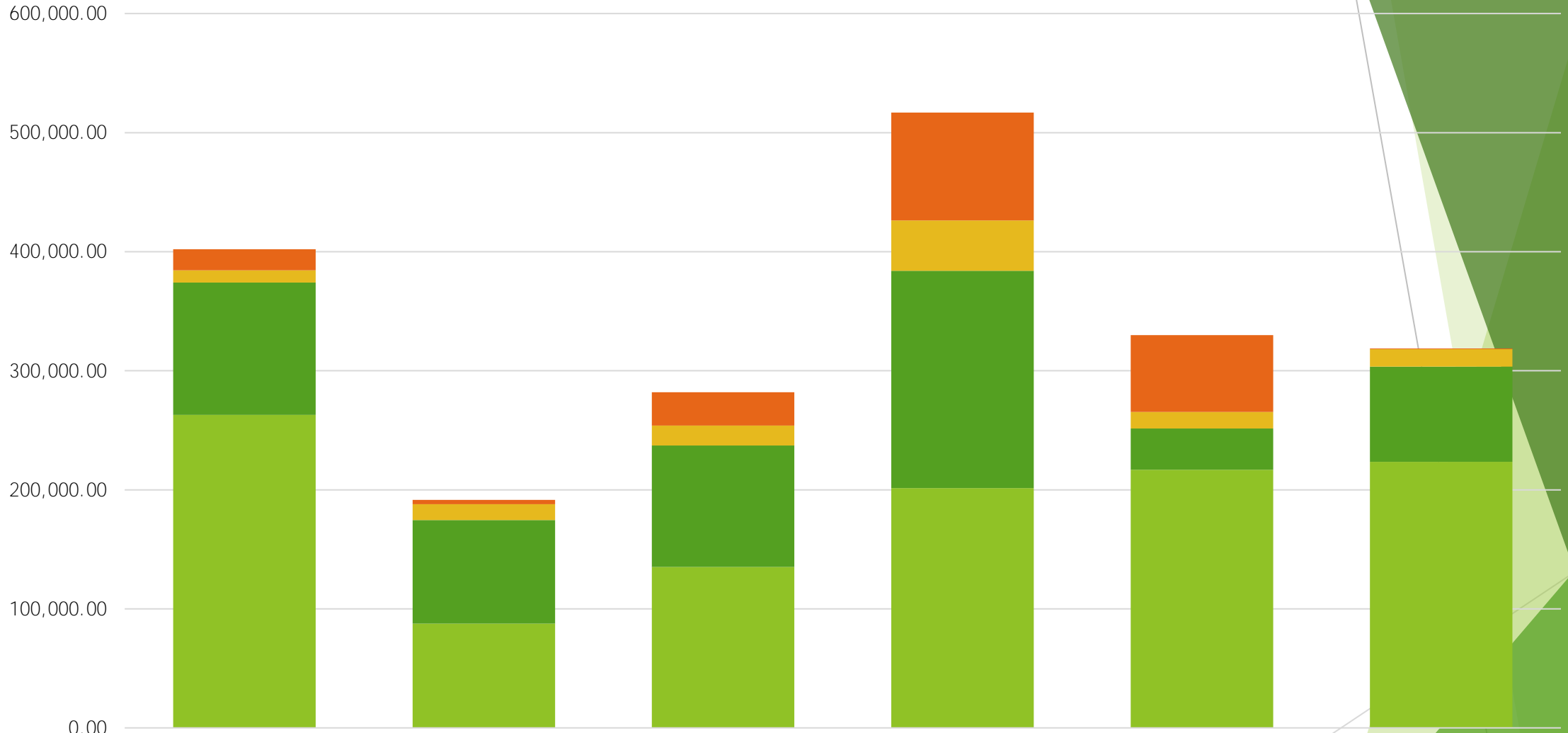
Región	Superficie Total (ha)	Superficie arbolada (ha)	Superficie aprovechable maderable (ha)	Superficie bajo manejo forestal (ha)	Superficie bajo protección especial (ha)
Sierra Sur Yahutepec	277,896.32	262,912.09	111,168.10	10,209.23	17,761.10
Sierra Sur Miahuatlan-Este	105,012.67	87,679.46	86,932.24	13,360.56	3,571.90
Sierra Sur Miahuatlan-Oeste	154,717.26	135,162.52	102,095.00	16,724.09	27,945.31
Sierra Sur Sola de Vega	245,526.01	201,526.00	182,569.94	42,175.75	90,625.11
Sierra Sur Pochutla (Mixteca Sur)	298,608.70	216,898.00	34,589.30	13,882.80	64,642
Sierra Sur Copalita	262,236.00	223,580.00	79,954	14,558	653.92
Total	1,343,996.96	1,127,758.07	597,308.58	110,910.43	205,199.34

Superficie Total (ha)



- Sierra Sur Yahutepec
- Sierra Sur Miahuatlan-Este
- Sierra Sur Miahuatlan-Oeste
- Sierra Sur Sola de Vega
- Sierra Sur Pochutla (Mixteca Sur)
- Sierra Sur Copalita

SUPERFICIE FORESTAL



■ Superficie arbolada (ha) ■ Superficie aprovechable maderable (ha) ■ Superficie bajo manejo forestal (ha) ■ Superficie bajo proteccion especial (ha)

OAXACA FORESTAL



LA CONTRIBUCIÓN DE LOS BOSQUES COMUNITARIOS AL DESARROLLO DE OAXACA

- a) *Cual es el potencial productivo de los bosques de Oaxaca?*
- b) *Se puede hacer compatible la producción con la conservación?*
- c) *Podemos generar desarrollo comunitario con el cultivo de los bosques?*
- d) *Cuales son los retos que hay que vencer?*

Podemos afirmar que Oaxaca presenta una alta participación del sector social y con experiencias significativas en materia de aprovechamiento y conservación forestal comunitaria

La participación social en la toma de decisiones relativas a la gestión forestal

La silvicultura es uno de los pilares fundamentales de manejo sustentable para mantener la generación de bienes y servicios de la sociedad, conforma uno de los sectores productivos más importantes del estado de Oaxaca



GOBERNANZA COMUNITARIA

Entendemos la gobernanza de los ejidos y las comunidades forestales como el proceso de construcción de acuerdos , que sostienen las decisiones y acciones colectivas sobre el uso de bienes comunes, y para el uso y la protección de los bienes comunes como los bosques (Merino, 2014)

Instrumentos de gobernanza comunitaria

- A) Ordenamientos Territoriales comunitarios (OTC)
- B) Estatutos comunales
- C) Programa de Manejo Forestal Maderable

PRODUCCION FORESTAL EN LA SIERRA SUR

Región	MMOBI		MDS		MIXTO		SICODESI	
	Superficie	Vol. Autorizado	Superficie	Vol. Autorizado	Superficie	Vol. Autorizado	Superficie	Vol. Autorizado
Sierra Sur Yahutepec	9,434.95	390,248.19	774.58	46,565.05				
Sierra Sur Miahuatlán-Este	347.24	11,272.00	1,132.31	98,026.46	11,880.08	920,716.00		
Sierra Sur Miahuatlán-Oeste	6,324.79	137,325.76	4,823.89	121,105.52	5,575.41	178,387.05		
Sierra Sur Sola de Vega	18,143.38	950,714.65	1,174.90	13,436.47			65,444.37	1,376,199.66
Sierra Sur Putla (Mixteca Sur)	9,827.20	39,792.60	1,777.50	13,160.80	2,278.10	70,260.50		
Sierra Sur Copalita	7,016.00	22,862.15	7,512.00	10,840.10	30.00	3,645.00		
Total	51,093.56	1,552,215.35	17,195.18	303,134.40	19,763.59	1,173,008.55	65,444.37	1,376,199.66

SILVICULTURA APLICADA EN LA SIERRA SUR

- ▶ Tratamientos silvícolas: Cortas de Regeneración



SILVICULTURA APLICADA EN LA SIERRA SUR

- Tratamientos silvícolas: Corta de liberación con prea clareo



SILVICULTURA APLICADA EN LA SIERRA SUR

- Tratamientos silvícolas: Aclareos



SILVICULTURA APLICADA EN LA SIERRA SUR

- Tratamientos silvícolas: Selección individual



SILVICULTURA APLICADA EN LA SIERRA SUR

- Tratamientos silvícolas: Selección por grupos



SILVICULTURA APLICADA EN LA SIERRA SUR

- Tratamientos complementarios





EL MODELO SUSTENTABLE DE MANEJO FORESTAL COMUNITARIO EN OAXACA

Un motor de desarrollo regional que genera riqueza económica y bienestar social, además de asegurar la conservación de los bosques y de otros importantes beneficios ambientales asociados a los ecosistemas forestales.



MANEJO FORESTAL COMUNITARIO

Un bosque bien administrado debe generar para los dueños un mejor bienestar para sus familias, beneficios sociales, mejores oportunidades de empleo y conservación de sus recursos naturales.



FODA



Potencial forestal

Organización de las comunidades

Buena calidad de la madera

Falta de cultura forestal

Informalidad del sector forestal

Altos costos de producción

Alta demanda de productos en México
Exportación de madera.

Demanda de productos con valor agregado certificado

Plagas e incendios forestales

Conflictos agrarios

Falta de cuerdos comerciales con otros países (TLC)

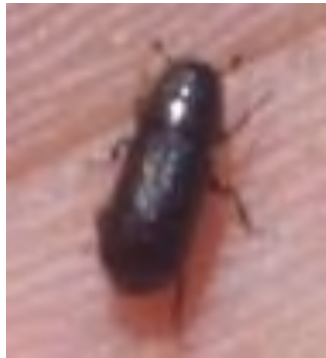
NECESIDADES Y RETOS

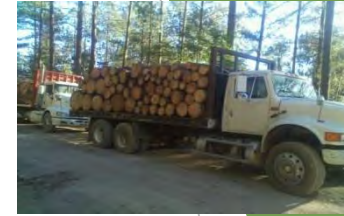
- *Apoyar al mejoramiento del manejo forestal*
- *Fortalecimiento del manejo forestal, como eje para mantener la generación de bienes y servicios.*
- *Fomentar el desarrollo forestal como pilar fundamental para el desarrollo rural de las regiones forestales.*
- *Fortalecer la capacitación, adiestramiento y transferencia de tecnología en toda la cadena de valores.*
- *Revisar y fortalecer las empresas sociales forestales.*
- *Difundir la cultura forestal y los valores de los bosques. Incorporar a las mujeres en las actividades forestales Apoyar al fortalecimiento operativo regional*
- *Proponer Iniciativas de instrumentos de política forestal*
- *Realizar convenios de coordinación en material forestal*
- *Uso de herramientas silvícolas para mejorar la toma de decisiones*





BOSQUE SIN MANEJO FORESTAL





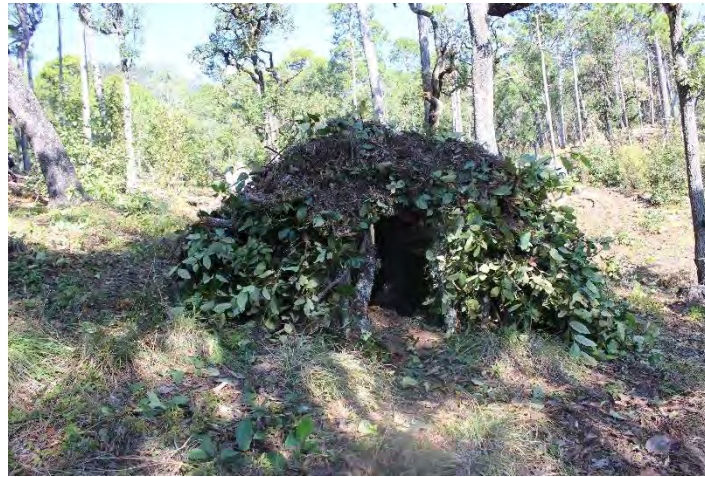
BOSQUE CON MANEJO FORESTAL





BOSQUE CON MANEJO FORESTAL





CONSERVACION DE LA BIODIVERSIDAD MEDIANTE PRACTICAS DE MANEJO



SEMARNAT
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ENERGÍA

CONAFOR
COMISIÓN NACIONAL FORESTAL

SOMOS
biodiversidad
EN ÁREAS DE CONSERVACIÓN

NO SE PERMITE:
EXTRAER AGUA DE LOS MANANTIALES, RÍOS Y ARROYOS
SIN AUTORIZACIÓN ALGUNA.
EXTRAER FLORA Y FAUNA SILVESTRE.
TIRAR BASURA Y OTROS DESECHOS.

AYUDANOS A CONSERVAR!!!...

¡ CUIDA LOS BOSQUES Y SELVAS !

CONSERVACION DE LA BIODIVERSIDAD MEDIANTE PRACTICAS DE MANEJO





Gracias por su atención!!!





Potencialidad
del uso de
drones y
LiDAR para
inventarios
operativos

Generalidades
de los drones
Sensores
montados en
drones
Fotogrametría
con drones
Escaneo
LiDAR
Inventarios
forestales con
drones

Potencialidad del uso de drones y LiDAR para inventarios operativos

Casimiro Ordóñez-Prado

Programa de Doctorado en Ciencias Forestales

Programa Forestal, Colegio de Postgraduados Campus Montecillo

Km 36.5 Carretera México-Texcoco Montecillo, Texcoco 56230, Estado de México

prado.casimiro@colpos.mx

19.04.2022



Esquema de la presentación



Potencialidad
del uso de
drones y
LiDAR para
inventarios
operativos

Generalidades
de los drones
Sensores
montados en
drones
Fotogrametría
con drones
Escaneo
LiDAR
Inventarios
forestales con
drones

1. Generalidades de los drones
2. Sensores montados en drones
3. Fotogrametría con drones
4. Escaneo LiDAR
5. Inventarios forestales asistidos con drones
6. Conclusiones



Generalidades de los drones



Potencialidad del uso de drones y LiDAR para inventarios operativos

Generalidades de los drones
Sensores montados en drones
Fotogrametría con drones
Escaneo LiDAR
Inventarios forestales con drones

Dron: **Aeronave no tripulada (RAE)**

Aeronave destinada a volar sin piloto a bordo y que se controla a distancia o que ha sido programada para realizar su vuelo sin intervención.

Componentes principales de un dron



Clasificación de los drones

Según su uso

Civiles

Militar

Tipo de ala

Ala rotatoria

Ala fija

Por peso

Clase C0 hasta C5

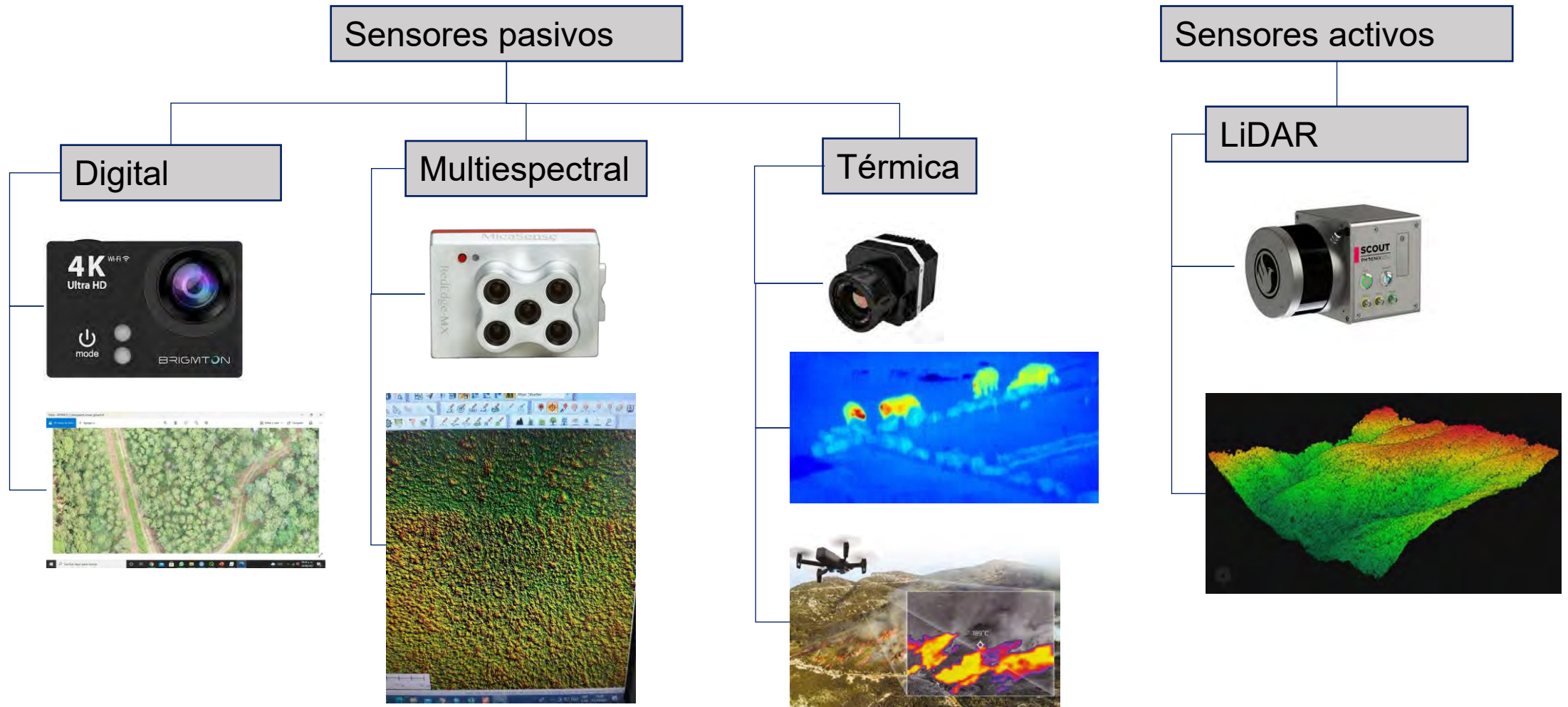


Sensores montados en drones



Potencialidad del uso de drones y LiDAR para inventarios operativos

Generalidades de los drones
Sensores montados en drones
Fotogrametría con drones
Escaneo
LiDAR
Inventarios forestales con drones





Fotogrametría con drones

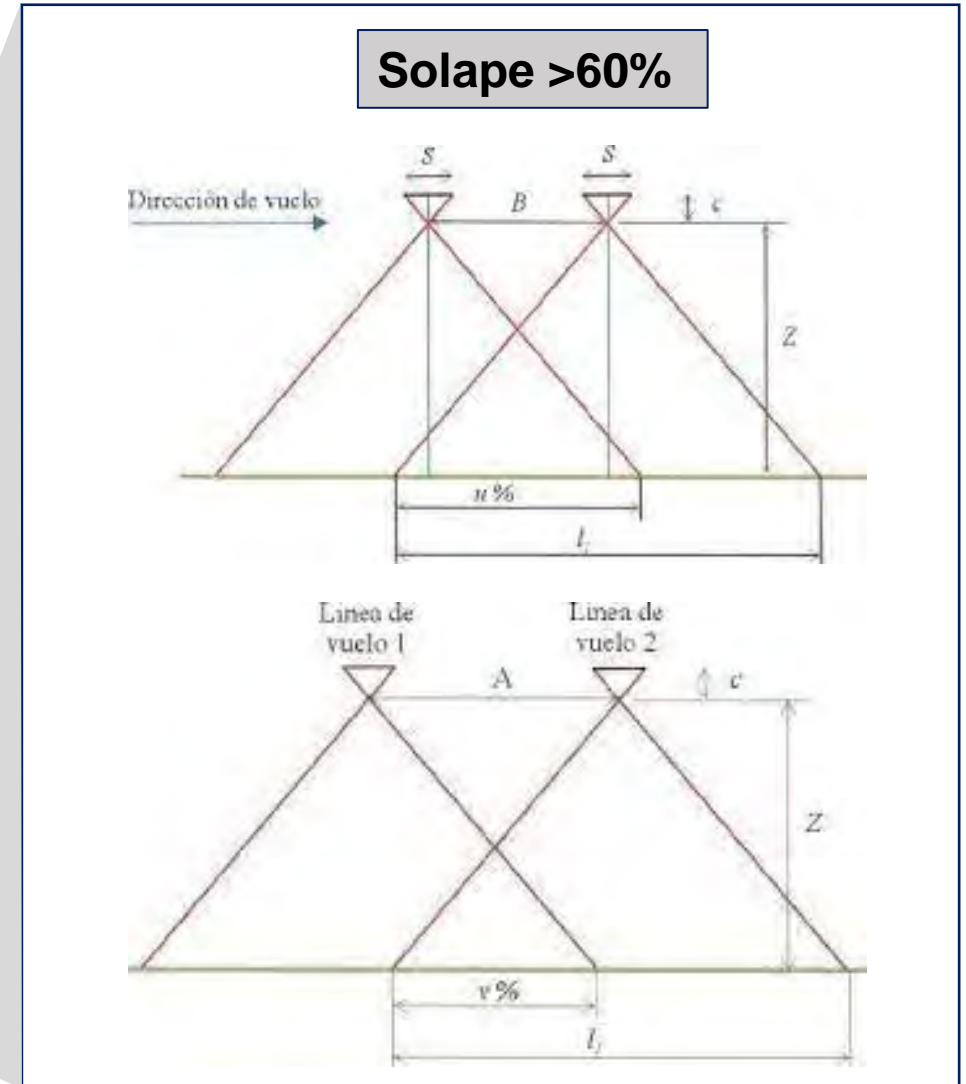
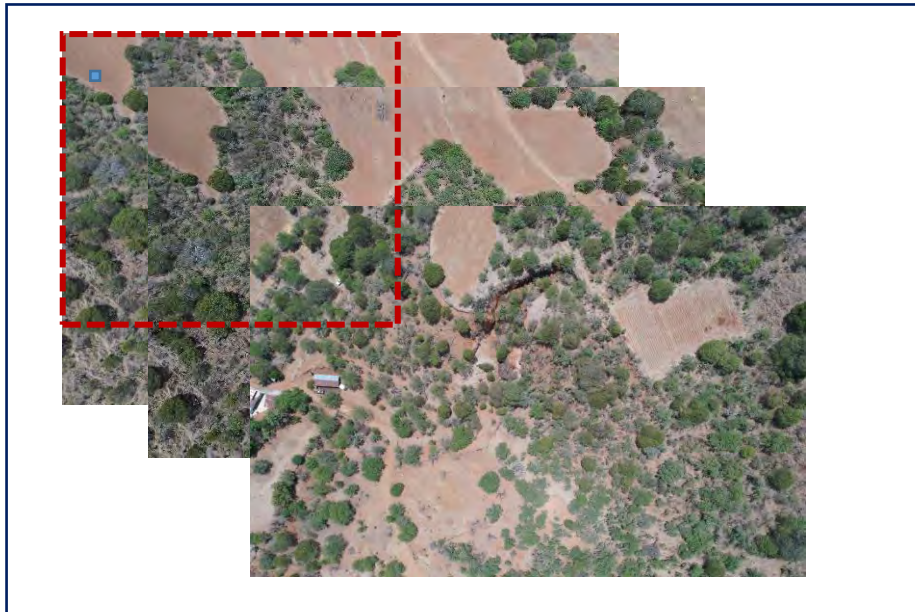


Potencialidad del uso de drones y LiDAR para inventarios operativos

Generalidades de los drones
Sensores montados en drones
Fotogrametría con drones
Escaneo LiDAR
Inventarios forestales con drones

Fotogrametría: permite hacer reconstrucciones de terrenos y medidas a partir de imágenes aéreas.

- Se requiere de una colección de fotografías aéreas secuenciales del terreno.





Vuelos programados

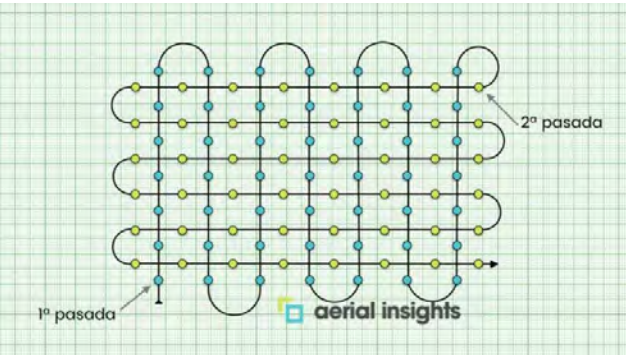
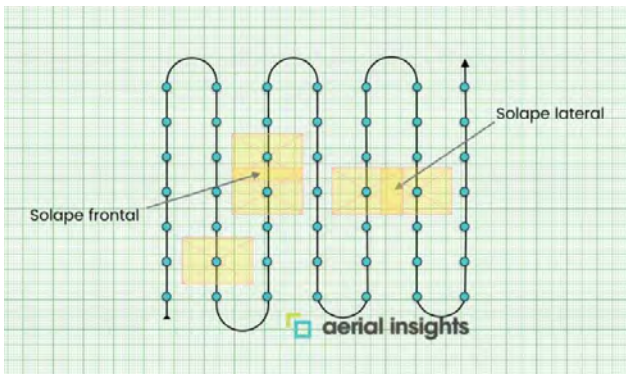


Potencialidad del uso de drones y LiDAR para inventarios operativos

Generalidades de los drones
Sensores montados en drones
Fotogrametría con drones
Escaneo LiDAR
Inventarios forestales con drones

La misión de vuelo: es la trayectoria que seguirá el dron sobre un mapa base.

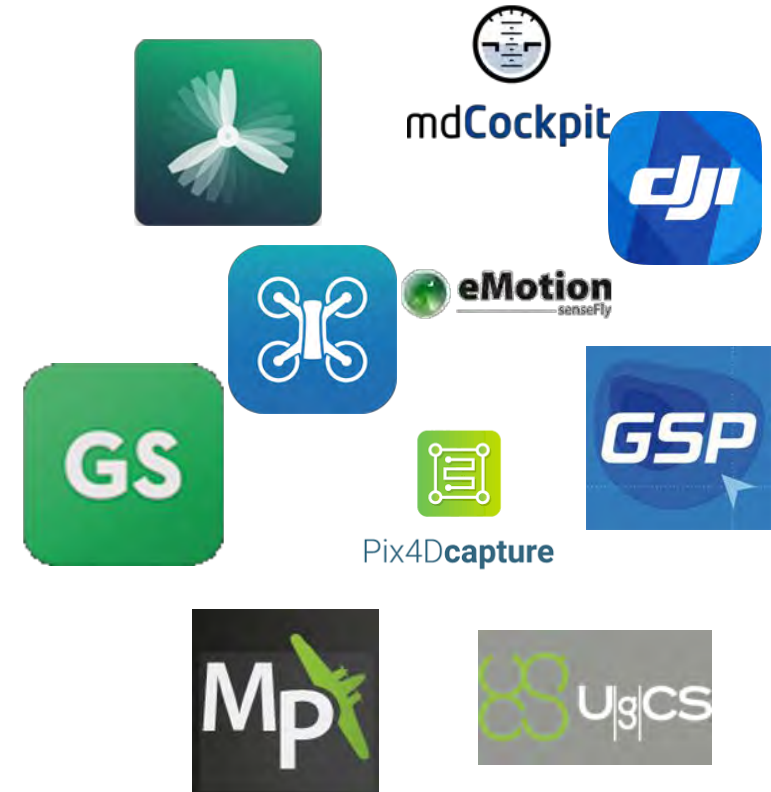
Vuelos simples vs vuelos cruzados



Puntos a tomar en cuenta en la ejecución del vuelo

- Velocidad del viento < 10 m/s
- Altura de vuelo
- Punto orográfico más alto
- Pendiente del terreno
- Altura del arbolado y/o cultivo
- Densidad del bosque

Aplicaciones para programar vuelos de dron





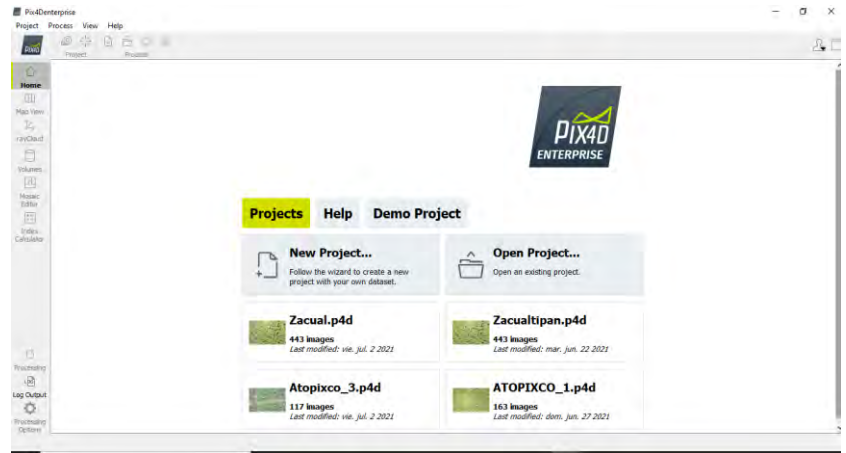
Procesamiento de imágenes



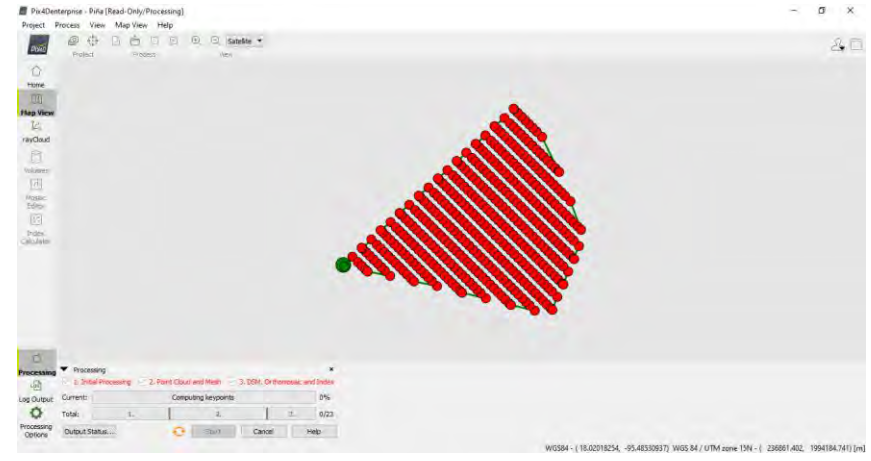
Potencialidad del uso de drones y LiDAR para inventarios operativos

Generalidades de los drones
Sensores montados en drones
Fotogrametría con drones
Escaneo LiDAR
Inventarios forestales con drones

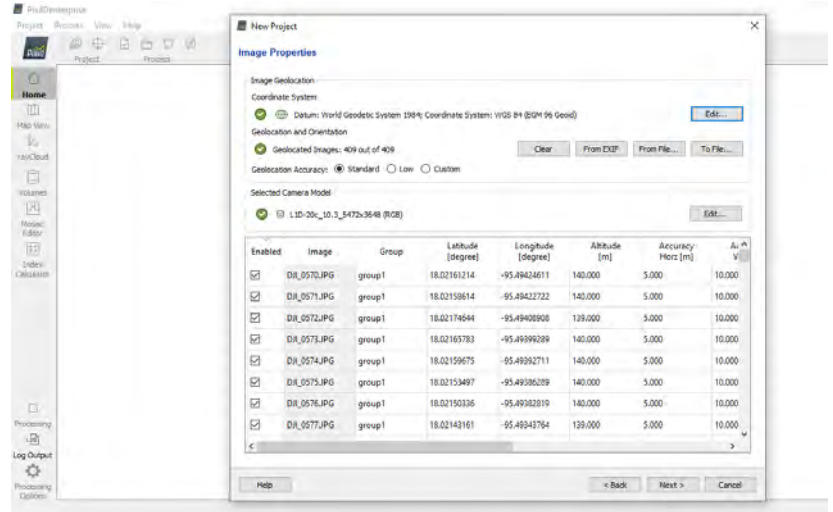
Generar un proyecto



Especificamos los productos a obtener



Incorporamos imagenes





Ej. resultados de la fotogrametría



Potencialidad del uso de drones y LiDAR para inventarios operativos

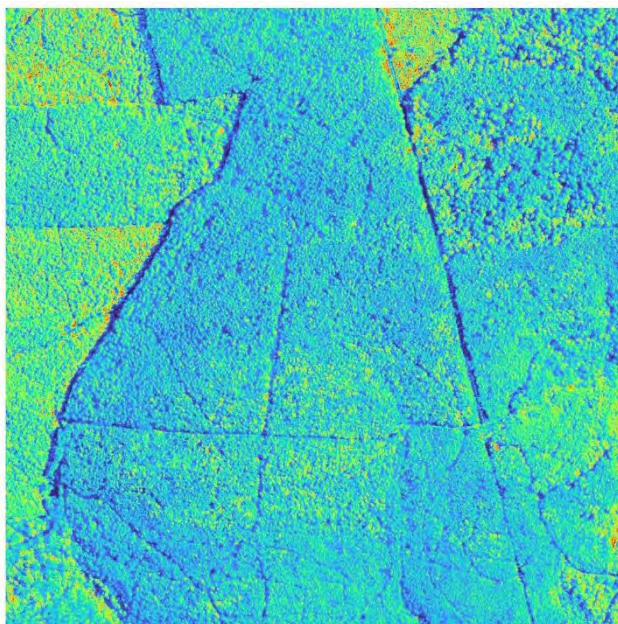
Generalidades de los drones
Sensores montados en drones
Fotogrametría con drones
Escaneo LiDAR
Inventarios forestales con drones

Sensor digital



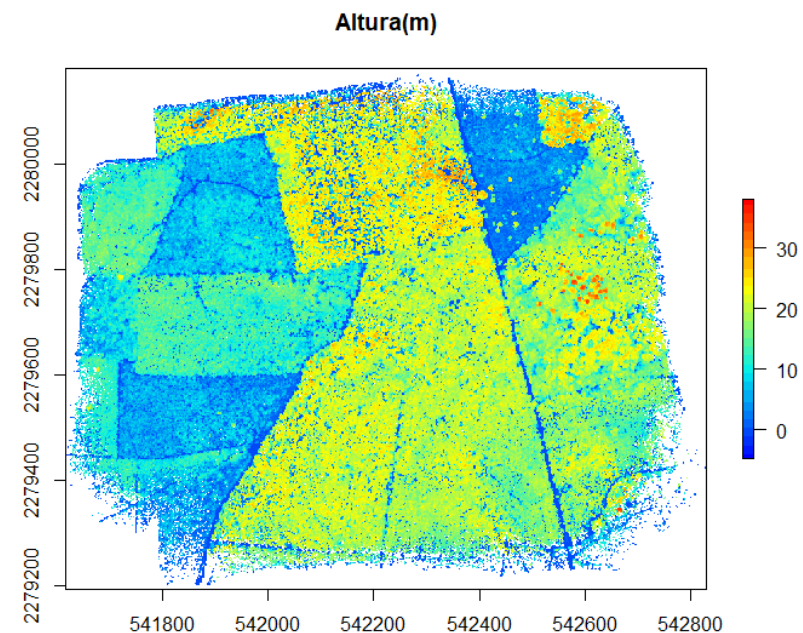
Orto-imagen

Sensor multiespectral



Información de la reflectancia de la vegetación

Sensor LiDAR



Información de la altura del arbolado



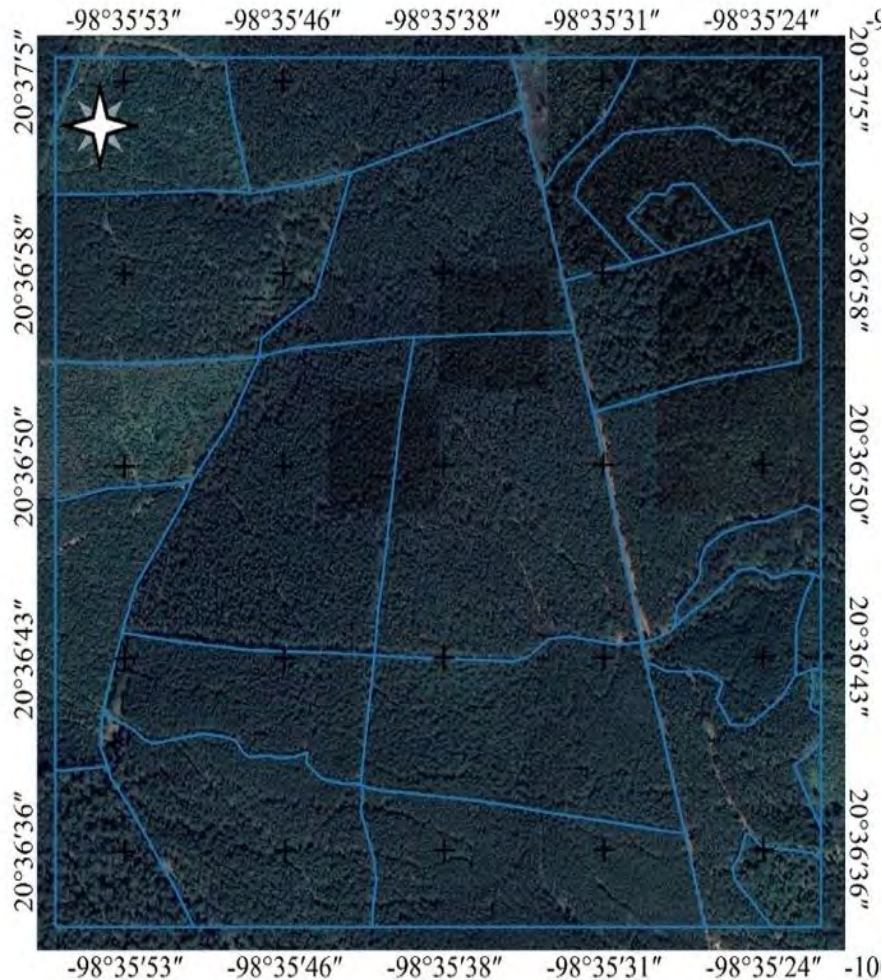
Ej. Mapeo de la vegetación



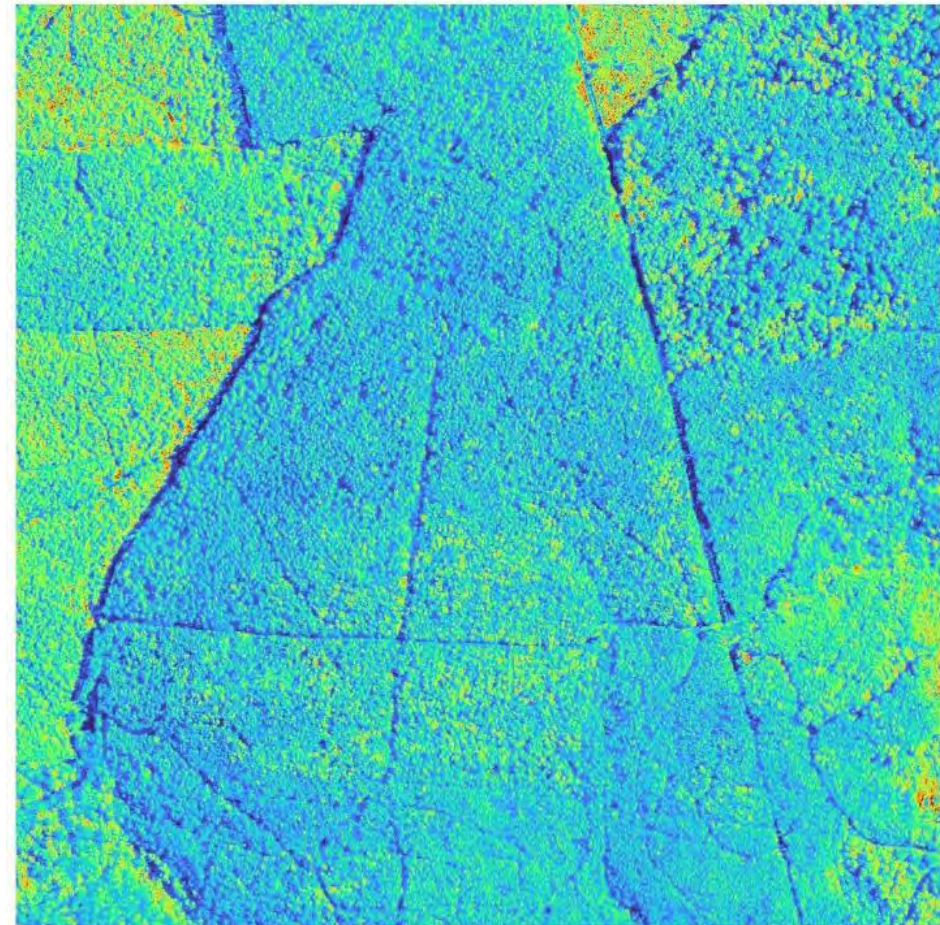
Potencialidad del uso de drones y LiDAR para inventarios operativos

Generalidades de los drones
Sensores montados en drones
Fotogrametría con drones
Escaneo LiDAR
Inventarios forestales con drones

Definimos una superficie



Generamos imágenes mediante fotogrametría



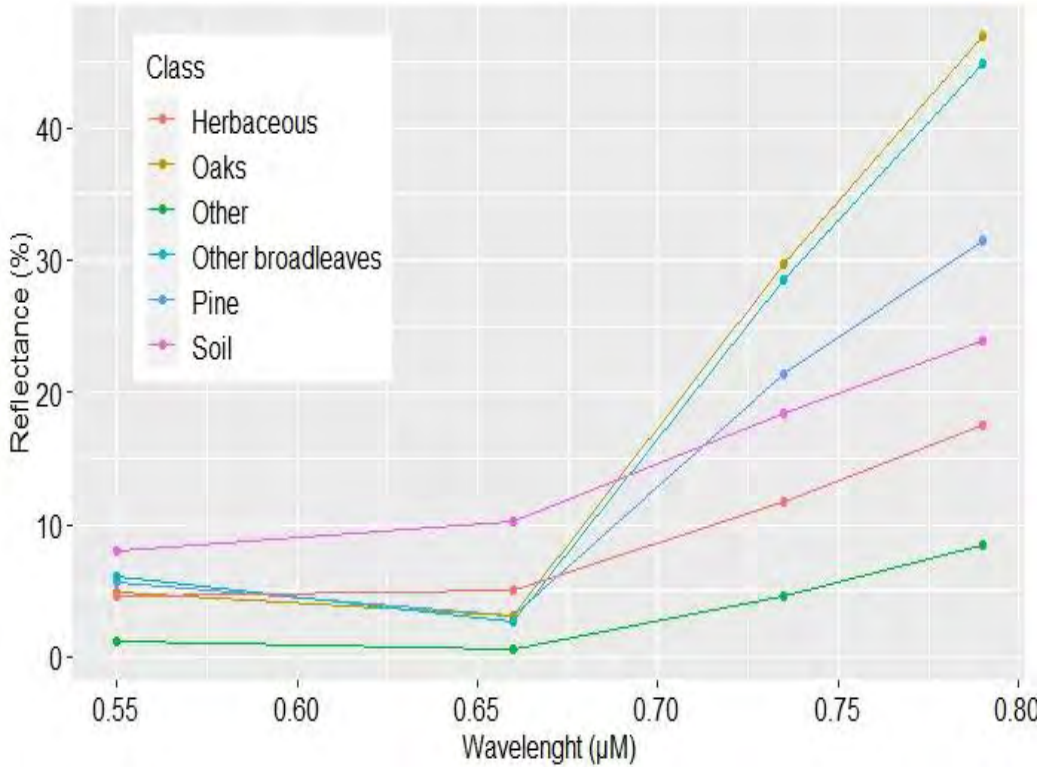


Ej. Mapeo de la vegetación

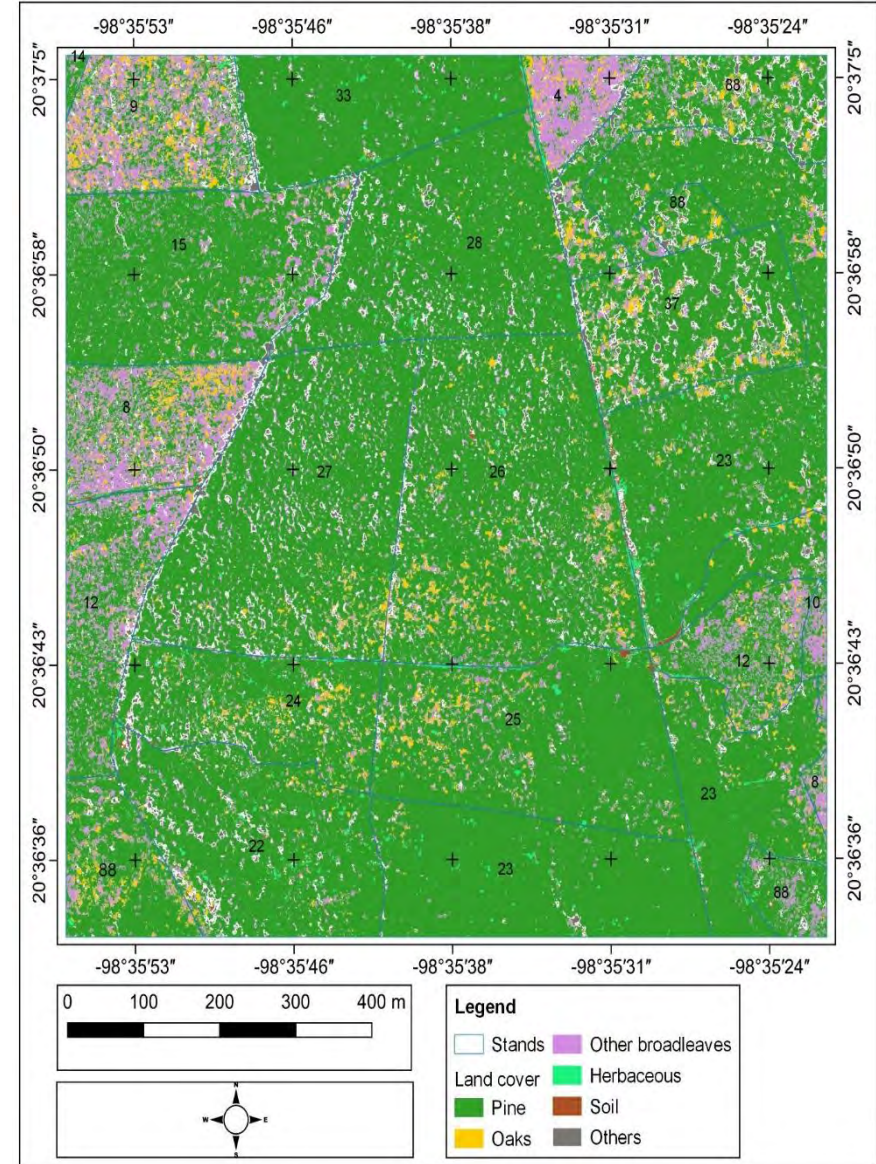


Potencialidad del uso de drones y LiDAR para inventarios operativos

Definimos las clases de vegetación



Generamos campos de entrenamiento
Aplicamos algún algoritmo de clasificación de pixeles





Escaneo LiDAR



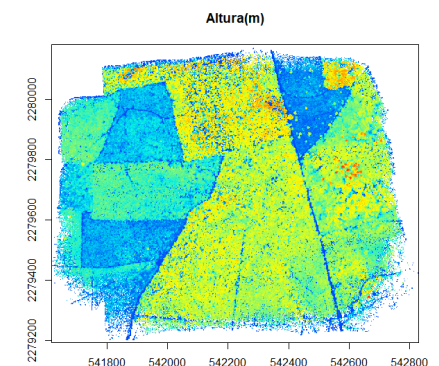
Potencialidad del uso de drones y LiDAR para inventarios operativos

Generalidades de los drones
Sensores montados en drones
Fotogrametría con drones
Escaneo LiDAR
Inventarios forestales con drones

Tipos de escaneo LiDAR

- ❑ Escaneo LiDAR aéreo (ALS): Se realiza con un sensor montado en un aeroplano o dron.
- ❑ Escaneo LiDAR Terrestre (TLS): Se realiza con un sensor desde un punto fijo en el suelo.
- ❑ Escaneo LiDAR Móvil (MLS): Se realiza con un sensor en movimiento desde el suelo.

ALS



TLS



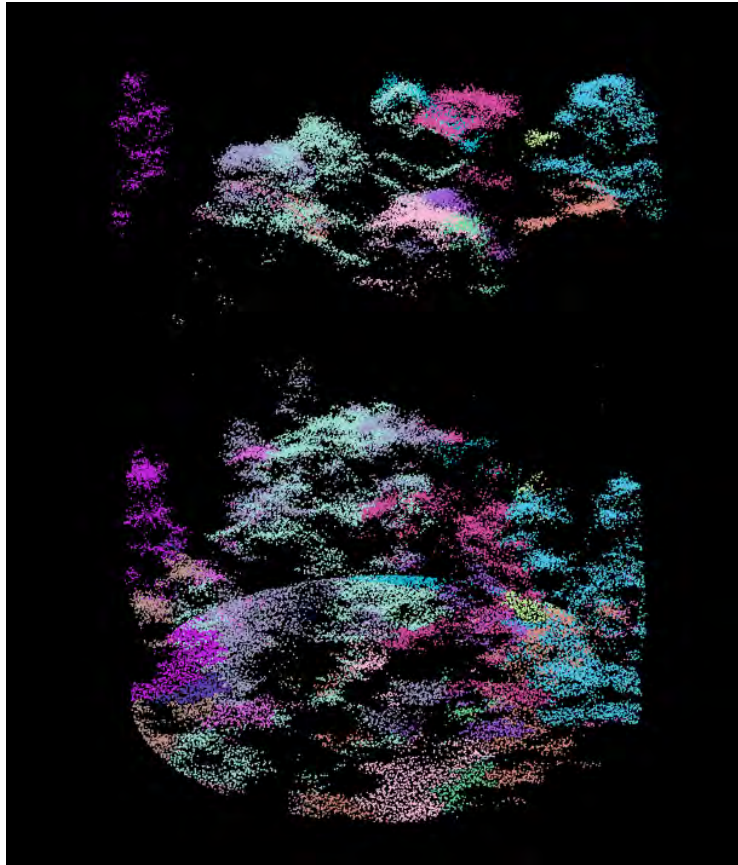


Información ALS



Potencialidad del uso de drones y LiDAR para inventarios operativos

Generalidades de los drones
Sensores montados en drones
Fotogrametría con drones
Escaneo LiDAR
Inventarios forestales con drones



Nube de puntos generada con sensor LiDAR montado en un dron

Métricas	Descripción	Variables
Métrica de Altura	Matrículas que miden la tendencia central de la distribución de la altura del eco ALS	h_{mean} Media q_{av} Altura media cuadrática
	Métricas que miden la dispersión de la distribución de la altura del eco ALS	h_{std} Desviación estándar h_{max}, h_{min} Máximo y mínimo
	Métricas que miden la forma de la distribución de la altura del eco ALS	h_{skw} Simetría h_{Kurt} Curtosis
	Percentiles de la distribución de altura de los ecos ALS	$h_{01}, h_{10}, \dots, h_{95}$ $5^{th}, 10^{th}, 15^{th}, \dots, 95^{th}$



Modelos predictivos de volumen y biomasa con LiDAR



Potencialidad del uso de drones y LiDAR para inventarios operativos

Generalidades de los drones
Sensores montados en drones
Fotogrametría con drones
Escaneo LiDAR
Inventarios forestales con drones

Método de masas: se basan en el ajuste de modelos de regresión que relacionan métricas LiDAR con variables dasométricas de parcelas de muestreo.

Método de árbol individual (pie a pie): se basan en el ajuste de modelos de regresión que relacionan métricas LiDAR con variables para árbol individual.

Estructura de un modelo lineal para el método de masa

$$y_i = f(X_i, \beta) = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_{1,i} + \beta_2 \cdot X_{2,i} + \dots + \beta_n \cdot X_{n,i} + \varepsilon_i$$

- y_i es la variable objetivo del inventario forestal en la parcela i .
- $X_1, X_2 \dots X_n$ son variables explicativas de ALS pertenecientes.
- $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$ son parámetros estimados mediante regresión.
- ε_i es el error aleatorio con media cero.



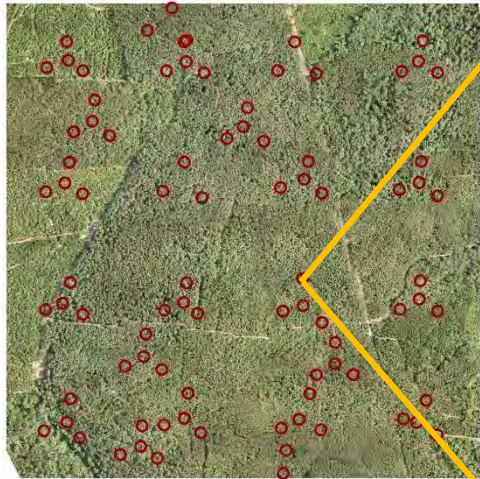
Ej. Ajuste de un modelo



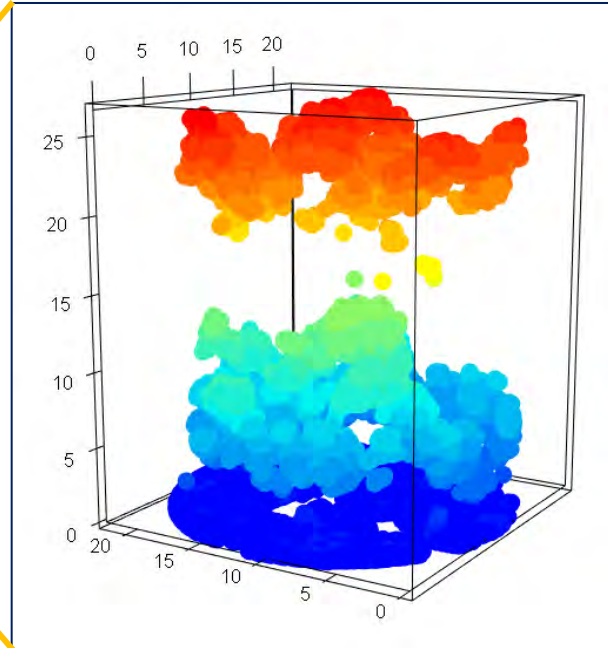
Potencialidad del uso de drones y LiDAR para inventarios operativos

Generalidades de los drones
Sensores montados en drones
Fotogrametría con drones
Escaneo LiDAR
Inventarios forestales con drones

Parcelas de muestreo



Extracción de métricas LiDAR



Medición de parcelas



Base de datos

Volumen (m ³)	zmax	zmean	zsd	zskew	zq50	zq95
236.9	26.6026	10.72292	9.818732	0.3220072	7.40335	24.9654



Ej. Ajuste de un modelo



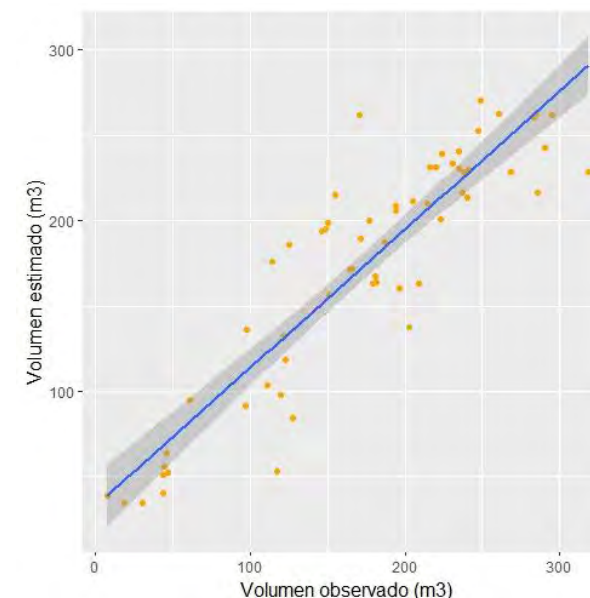
Sintaxis del ajuste de un modelo

```
volumen<-lm(Vol_2022~., data=base_10m)
model<-ols_step_both_p(volumen, penter = 0.05, prem = 0.1, details = TRUE)
```

Parámetro	Variable	Valor	Error Estándar	Sig
β_0	Intercepto	-36.420	14.938	0.018
β_1	zmean	21.026	1.456	0.000
β_2	zskew	45.628	8.221	0.000

Estadístico	Valor
R^2_{adj}	0.803
RMSE	34.476
MAE	25.159

RMSE: Root Mean Square Error
MAE: Mean Absolute Error



Volumen con datos de campo

173.1540984

Volumen con datos LiDAR

172.745289

Potencialidad del uso de drones y LiDAR para inventarios operativos

Generalidades de los drones
Sensores montados en drones
Fotogrametría con drones
Escaneo LiDAR
Inventarios forestales con drones

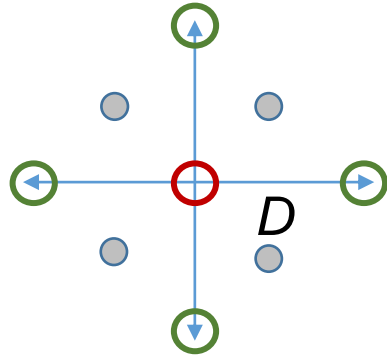


Ej. de Escaneo LiDAR Terrestre



Potencialidad del uso de drones y LiDAR para inventarios operativos

Generalidades de los drones
Sensores montados en drones
Fotogrametría con drones
Escaneo LiDAR
Inventarios forestales con drones



- Escaneo único
- + ○ Escaneo múltiple
- Esferas de control
- $D = distancia = 10\text{ m}$

Ubicamos el sitio de escaneo



Configuramos el equipo de escaneo



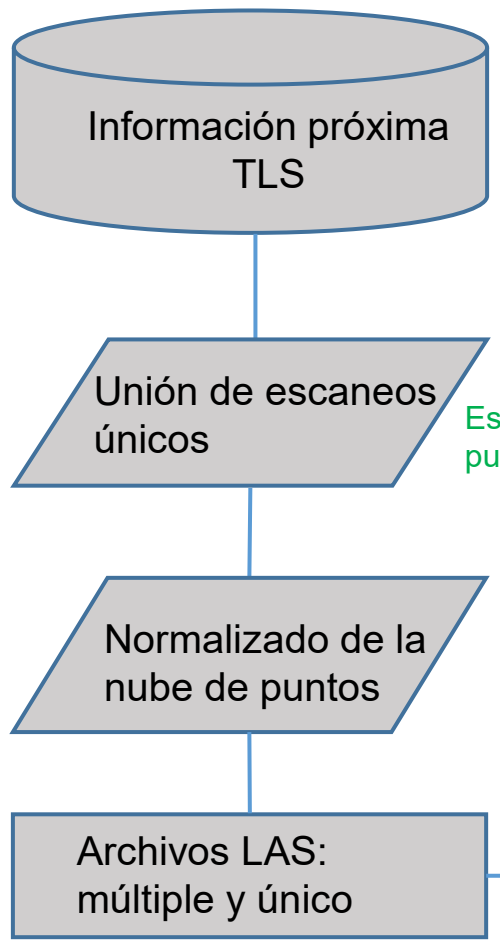


Procesamiento y análisis de datos TLS

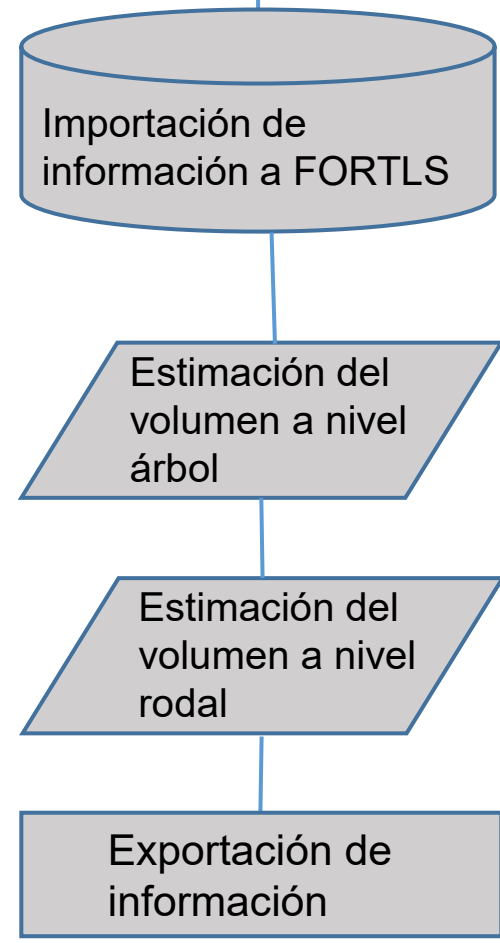


Potencialidad del uso de drones y LiDAR para inventarios operativos

Generalidades de los drones
Sensores montados en drones
Fotogrametría con drones
Escaneo LiDAR
Inventarios forestales con drones



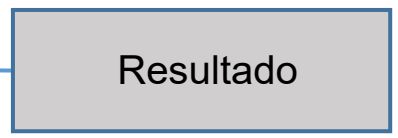
Esferas como puntos de unión



Molina-Valero *et al.* 2022

$$v = \int_{h_i}^{h_z} \frac{\pi}{40000} d^2 \left(\frac{h - h_i}{h - i30} \right)^{2\alpha} dh_i$$

Función de ahusamiento



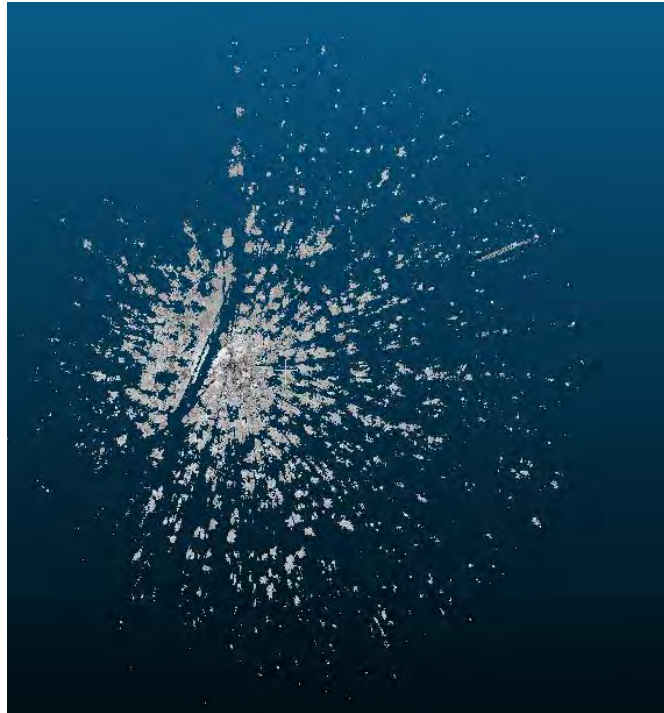


Información TLS



Potencialidad del uso de drones y LiDAR para inventarios operativos

Generalidades de los drones
Sensores montados en drones
Fotogrametría con drones
Escaneo LiDAR
Inventarios forestales con drones



Escaneo único



Escaneo múltiple



Vista vertical del TLS

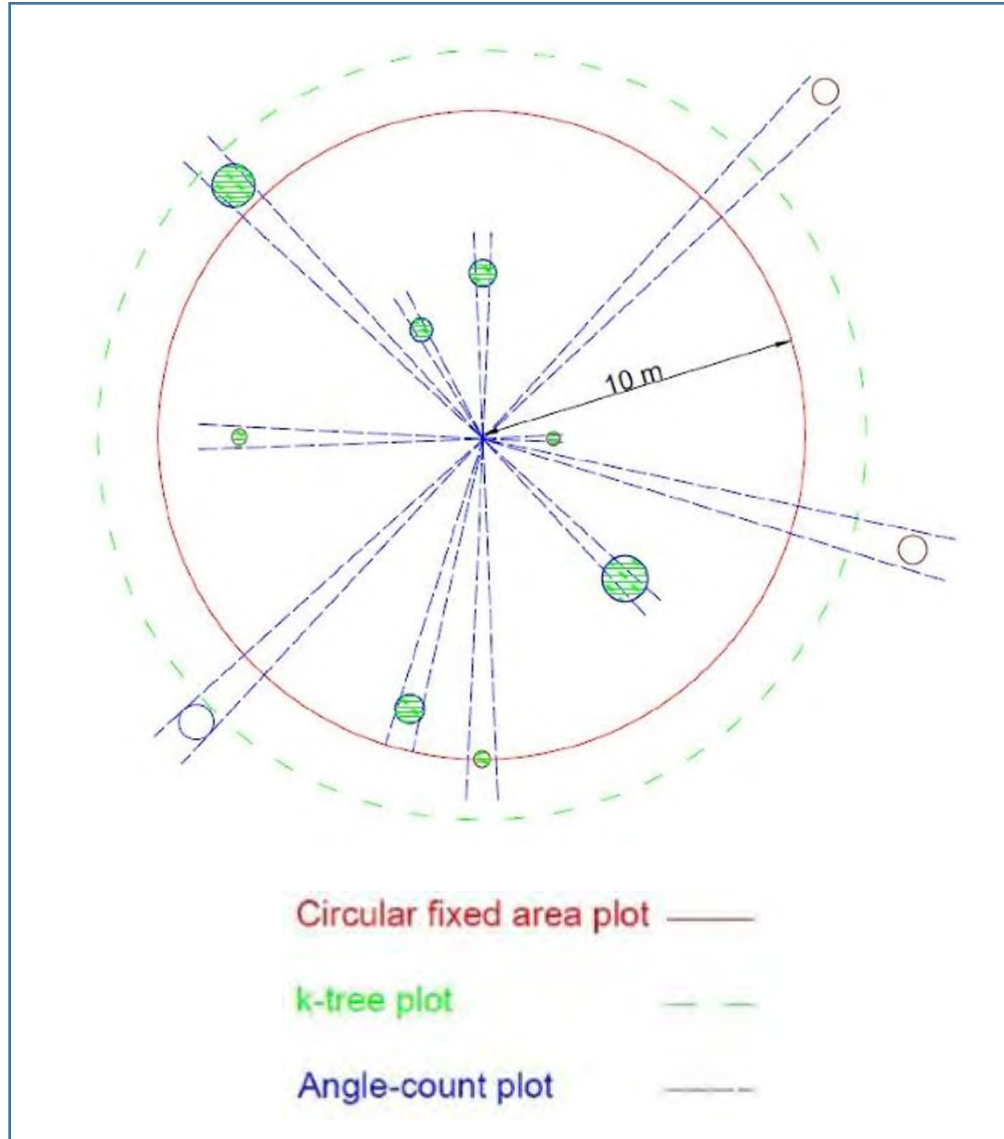


Estimación de volumen



Potencialidad del uso de drones y LiDAR para inventarios operativos

Generalidades de los drones
Sensores montados en drones
Fotogrametría con drones
Escaneo LiDAR
Inventarios forestales con drones



Fijas circulares: se miden los árboles incluidos dentro de un radio de parcela definido

Relascópicas: Se miden los árboles con un diámetro a 1.3 m aparentemente mayor a la banda del relascopeo definida

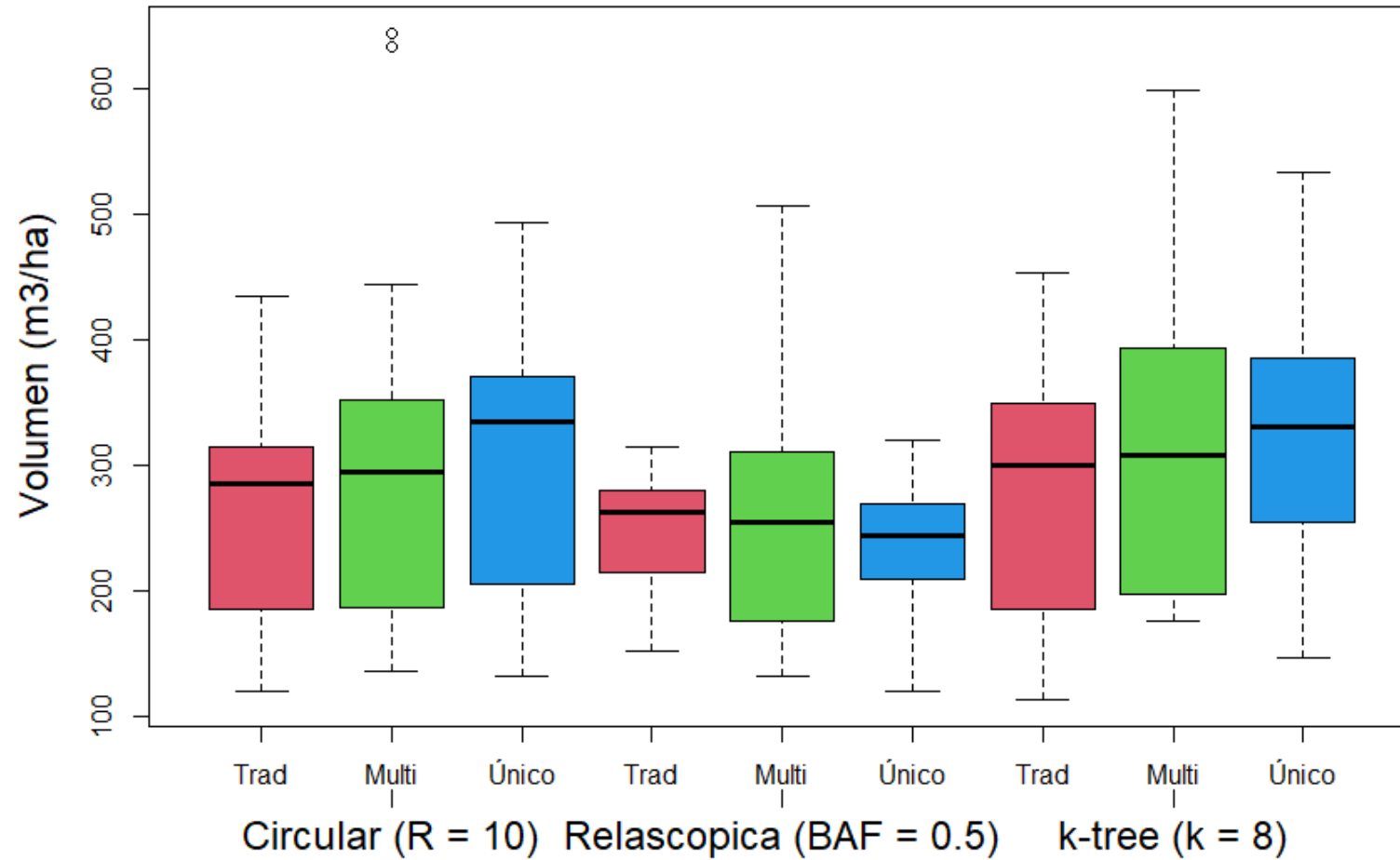
K-tree: se miden los k árboles más próximos al centro de la parcela



Potencialidad del uso de drones y LiDAR para inventarios operativos

Generalidades de los drones
Sensores montados en drones
Fotogrametría con drones
Escaneo LiDAR
Inventarios forestales con drones

Comparativa





Conclusiones



Potencialidad
del uso de
drones y
LiDAR para
inventarios
operativos

Generalidades
de los drones
Sensores
montados en
drones
Fotogrametría
con drones
Escaneo
LiDAR
Inventarios
forestales con
drones

Los drones nos permiten obtener información del bosque en poco tiempo

La información derivada de sensores remotos montados en drones nos permiten estimar:

- Vigilancia de los bosques
- Mapeo de la vegetación
- Monitoreo de incendios
- Detección de plagas y enfermedades
- ...

El ALS y TLS tienen potencial para generar inventarios forestales



Potencialidad
del uso de
drones y
LiDAR para
inventarios
operativos



GRACIAS

Casimiro Ordóñez Prado

prado.casimiro@colpos.mx

ordonez.casimiro@inifap.gob.mx