

SAN PEDRO EL ALTO, ZIMATLAN, OAXACA

“DIRECCIÓN TÉCNICA FORESTAL”

“Manejo forestal
comunitario”



Abril de 2023

ANTECEDENTES



San Pedro el Alto se fundó aproximadamente en el año 1,600 con pobladores de raza zapoteca



Nos regimos por usos y costumbres



Cuenta con 265 familias



De acuerdo a la Resolución Presidencial de 1954, la Superficie: 30,047 ha



ORGANIGRAMA DE LA COMUNIDAD



ETAPA DE CONCESIÓN Y APROPIACIÓN DEL BOSQUE (A 39 AÑOS DE LA APROPIACIÓN)

De 1954 a 1980 los bosques fueron explotados por la Compañía Forestal de Oaxaca (concesión)

Actualmente se tienen autorizados en promedio 100,000.000 m³ v.t.a. de pino mas encino y otras hojosas.

En 1984, la comunidad inició sus actividades al formarse la U.E.E.A.F.C. "San Pedro el Alto".
El volumen de la primera anualidad fue de 1,000.00 m³ r.t.a.



EL MANEJO FORESTAL EN LA COMUNIDAD

PROGRAMA DE MANEJO FORESTAL	PERIODO	CICLO DE CORTA	MÉTODO DE MANEJO FORESTAL	VOLUMEN AUTORIZADO PROMEDIO POR AÑO	AVANCE GRÁFICO DEL VOLUMEN AUTORIZADO
1984 (Inicio)	1 AÑO	1 año	SELECCIÓN	1,000.000 m ³ r.t.a.	
Primero	1990-1995	5 años	SICODESI	14,000.000 m ³ r.t.a.	
Segundo	1996-2000/2001-2005	10 años	MDS	25,000.000 m ³ r.t.a.	
Tercero	2006-2016	10 años	SICODESI	50,000.000 m ³ r.t.a.	
Cuarto	2016-2017/2025-2026	10 años	SICODESI	122,940.184 m ³ v.t.a.	
Modificación de la cuarta anualidad	2019-2020	10 años	SICODESI	89,594.440 m ³ v.t.a.	
Programa de contingencia	2019-2020	-----	Selección sobre arbolado muerto	60,545.060 m ³ v.t.a.	
Sexta anualidad	2021-2022	10 años	SICODESI	119,710.990 m ³ v.t.a.	
Séptima anualidad	2022-2023	10 años	SICODESI	116,302.066 m ³ v.t.a.	
Octava anualidad	2023-2024	10 años	SICODESI	124,470.343 m ³ v.t.a.	
Novena anualidad	2024-2025	10 años	SICODESI	129,992.065 m ³ v.t.a.	
Décima anualidad	2025-2026	10 años	SICODESI	118,308.862 m ³ v.t.a.	

MONITOREO SILVÍCOLA: INCREMENTO VOLUMÉTRICO EN SITIOS PERMANENTES

	VTA medio 2015	VTA medio 2022	Cambio medio VTA m ³ /ha/8años	ICA 2014-2022
Cosechado y no cosechado	300.3	385.735	85.435	10.679
No cosechados		383.691	83.391	10.424
Cosechados		389.252	88.952	11.119

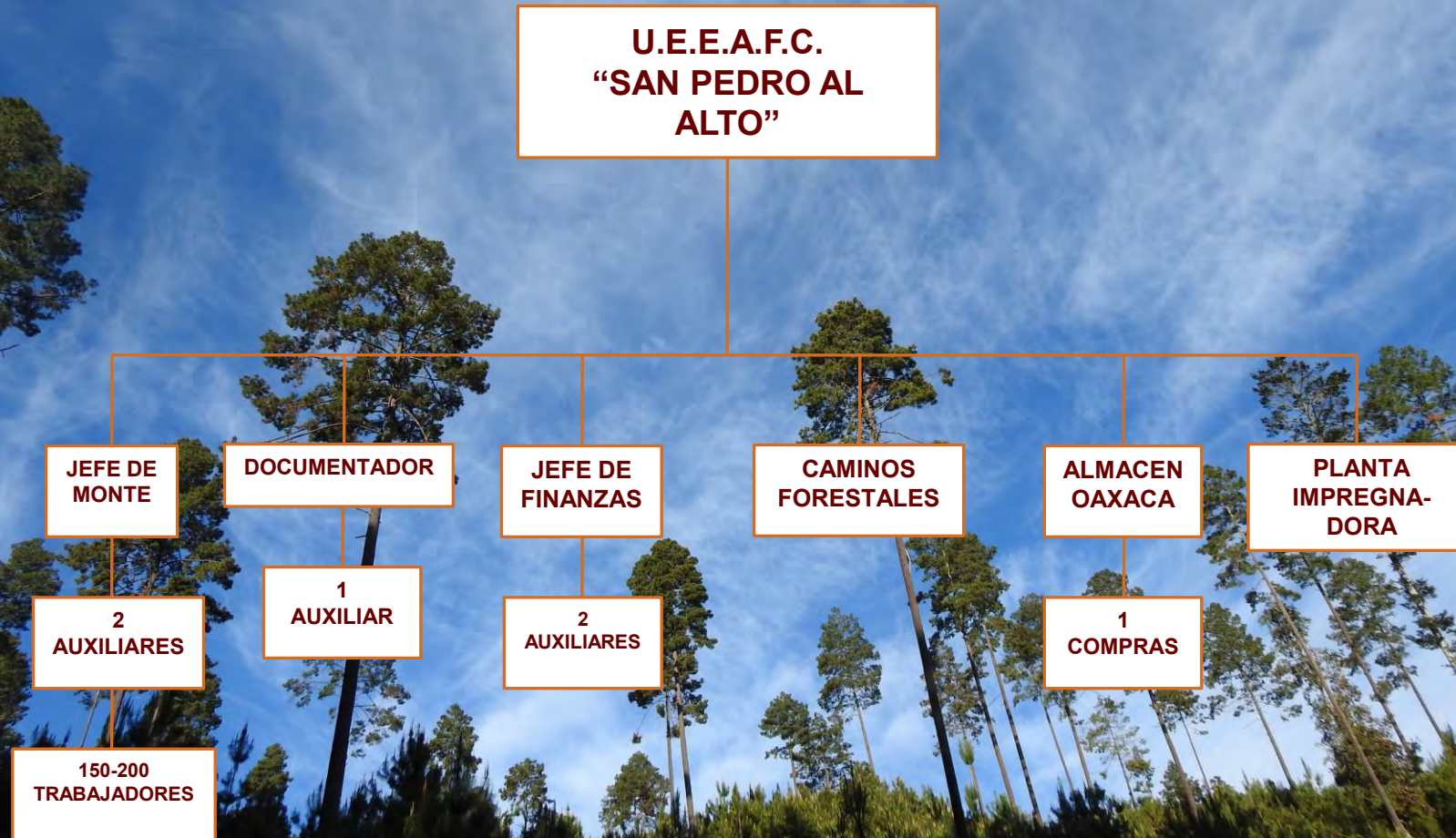


Proyecciones estimadas Comunidad San Pedro El Alto	
Periodo de emisión	VCUs a emitir
2022	325,000
2023	395,000
2024	423,000
2025	455,000
2026	485,000

Verified Carbon Unit
(Bonos de carbono)



ORGANIGRAMA DE LA U.E.E.A.F.C.



INFRAESTRUCTURA PARA EL APROVECHAMIENTO



Equipo para la apertura y mantenimiento de caminos



Equipo para corte



Equipo para extracción



Equipo para carga



Equipo para transporte



Contamos con 2 aserraderos



Dirección técnica forestal



Equipo de medición forestal



Vehículos para las labores operativas y administrativas



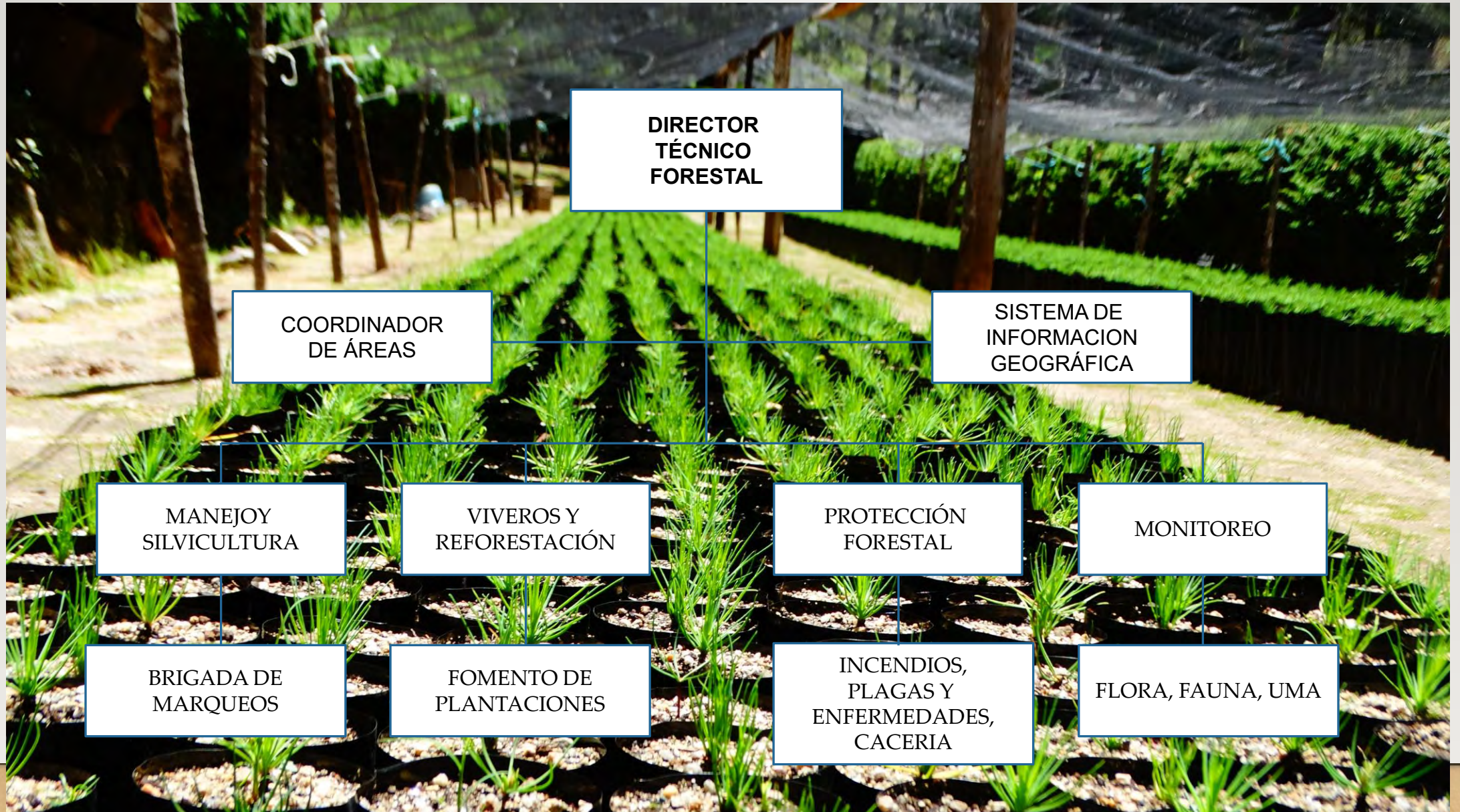
Oficinas administrativas en la Cd. de Oaxaca

SERVICIOS TÉCNICOS FORESTALES

En 1995, al concluir la ejecución del Programa de Manejo Integral Forestal elaborado conjuntamente con personal técnico Finlandés, un Ingeniero Forestal originario de la Comunidad, egresado de la Universidad Autónoma Chapingo, se hace cargo de la Dirección Técnica Forestal de San Pedro El Alto. El equipo de trabajo se conforma con personal propio de la comunidad y es el que actualmente desarrolla los trabajos técnicos y otros propios que se requieren en el bosque.



ESTRUCTURA DE LA DIRECCIÓN TÉCNICA FORESTAL



SISTEMA DE MANEJO

Sistema de conservación y desarrollo silvícola (SICODESI), creado en 1990







7 de diciembre de 2020



11 de abril de 2023



Evaluación de la regeneración natural
Edad: 6 años
Altura promedio: 7m, 1.16 m/año.
Crecimiento en diámetro anual: 1.66 cm/año.

MONITOREO Y CONTROL DE PLAGAS (*Dendroctonus spp.*)

Descortezadora mecánica

Motosierra con un implemento descortezador a base de cuchillas que logra un corte de alta velocidad, es decir, se tritura la corteza en fracciones muy pequeñas, provocando la muerte del insecto descortezador.



Brigada de protección



Área afectada



Etapa de huevecillos



Descortezadores adultos



Descortezadora mecánica



Descortezado del arbolado



Monitoreo



Aplicación de inyecciones

CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD. ATRIBUTOS DE ALTO VALOR PARA LA CONSERVACIÓN: Monitoreo de fauna



Monitoreo de flora



EL ROL DE LA MUJER EN LA SILVICULTURA





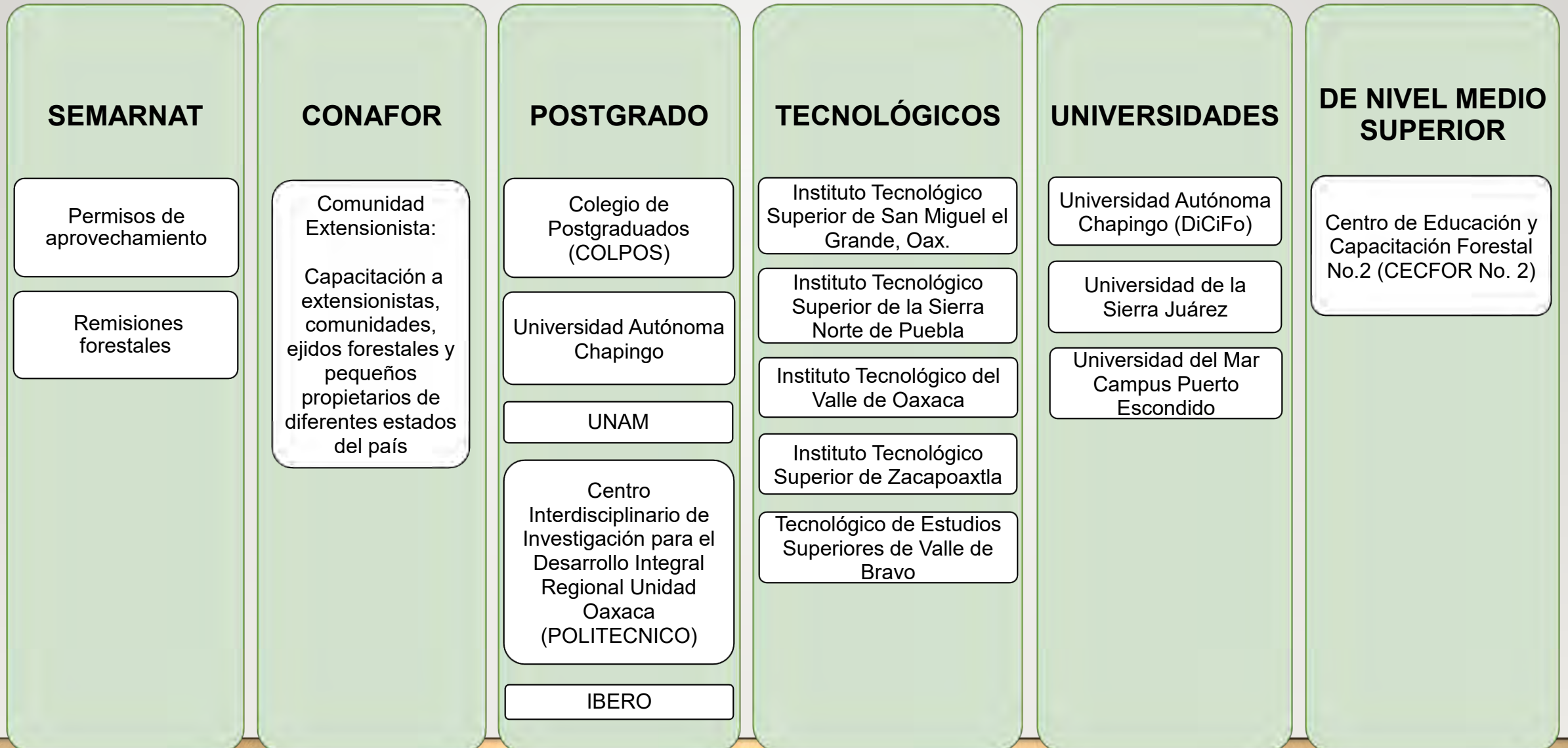
Planta de agua Beedani



Dimensionados "Oro Verde"



VINCULACIÓN CON INSTITUCIONES DE GOBIERNO Y EDUCATIVAS



Entre estas instituciones educativas han realizado más de 35 trabajos de investigación

RECONOCIMIENTOS Y LOGROS



PREMIO AL MÉRITO NACIONAL FORESTAL 1998. CATEGORÍA: “DESARROLLO FORESTAL”.



CERTIFICACIÓN DE BUEN MANEJO FORESTAL, MAYO DEL 2001. CODIGO: SW-FM/COC-143.



BIENESTAR DE LA COMUNIDAD.

NEPCon
Preferred by Nature™

FSC

NEPCon OÜ hereby confirms that the Forest Management and Chain of Custody system of
Comunidad San Pedro el Alto
Francisco Mier y Teran #603 - Altos, Centro
CP 68000 Oaxaca
Oaxaca
Mexico

has been assessed and certified as meeting the requirements of
Estándares Mexicanos para la Certificación de Manejo Forestal FSC V5-1

The certificate is valid from 23-11-2018 to 22-11-2023
Certificate version date: 23-11-2018

Scope of certificate
Certificate type: Single (SLIMF/Community Forestry) Forest Management and Chain of Custody

Certificate registration code
NC-FM/COC-000143
RA-FM/COC-000143

FSC License Code
FSC-C016813


Laura Terrall Kohler
Director, NEPCon Assurance
Filosoofi 31, Tartu
Estonia

Specific information regarding products and sites is listed in the appendix(es) of this certificate.
The validity and exact scope covered by this certificate shall always be verified at www.info.fsc.org.

FSC® A000535 | The mark of responsible forestry | www.ic.fsc.org

This certificate itself does not constitute evidence that particular product supplied by the certificate holder is FSC™ certified (or FSC Controlled Wood).

Products offered, shipped or sold by the certificate holder can only be considered covered by the scope of this certificate when the required FSC claim is clearly stated on invoices and shipping documents.
The physical printed certificate remains the property of NEPCon OÜ and shall be returned upon request.

Preferred by Nature™

ANCE
ASOCIACIÓN DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN, A.C.

CERTIFICADO
NMX-AA-169-SCFI-2016
Acreditación 01/10 vigente a partir del 08/06/2010 por la entidad mexicana de acreditación

Certificado No.: ANC2001C00003798

La Asociación de Normalización y Certificación A.C. como organismo de certificación de proceso debidamente acreditado y de conformidad con los artículos 1, 2, 3, 51-A, 51-B, 55, 68, 70, 70-B, 70-C, 73, 74, 80 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, otorga el presente Certificado de conformidad, con base en el dictamen positivo del Procedimiento de Evaluación de la Conformidad, bajo la norma NMX-AA-169-SCFI-2016, establecimiento de unidades productoras y manejo de germoplasma forestal-especificaciones técnicas. De acuerdo con los procedimientos de ANCE A.C. y con respecto a la solicitud N°. 2019GER00093 de fecha 19-julio-2019, se otorga el presente Certificado a Bienes Comunales de San Pedro el Alto con domicilio en Comunidad de San Pedro el Alto, Zimatlán de Álvarez, Oaxaca.

El Certificado avala la unidad productora de germoplasma forestal siguiente:

Unidades productoras de germoplasma forestal

Nombre	La Cofradía
Nombre del titular	Bienes Comunales de San Pedro el Alto
Categoría y clave	UPGF-RS
Especie	Pinus patula var. longipedunculata
Superficie (ha)	16.10
Capacidad anual de producción autorizada (Kg)	5.00
Ubicación	Comunidad de San Pedro el Alto, Zimatlán de Álvarez, Oaxaca
Zona de movimiento de germoplasma forestal	XII.4


Lesly Andrea Ortega Santillán
Gerente de Sustentabilidad

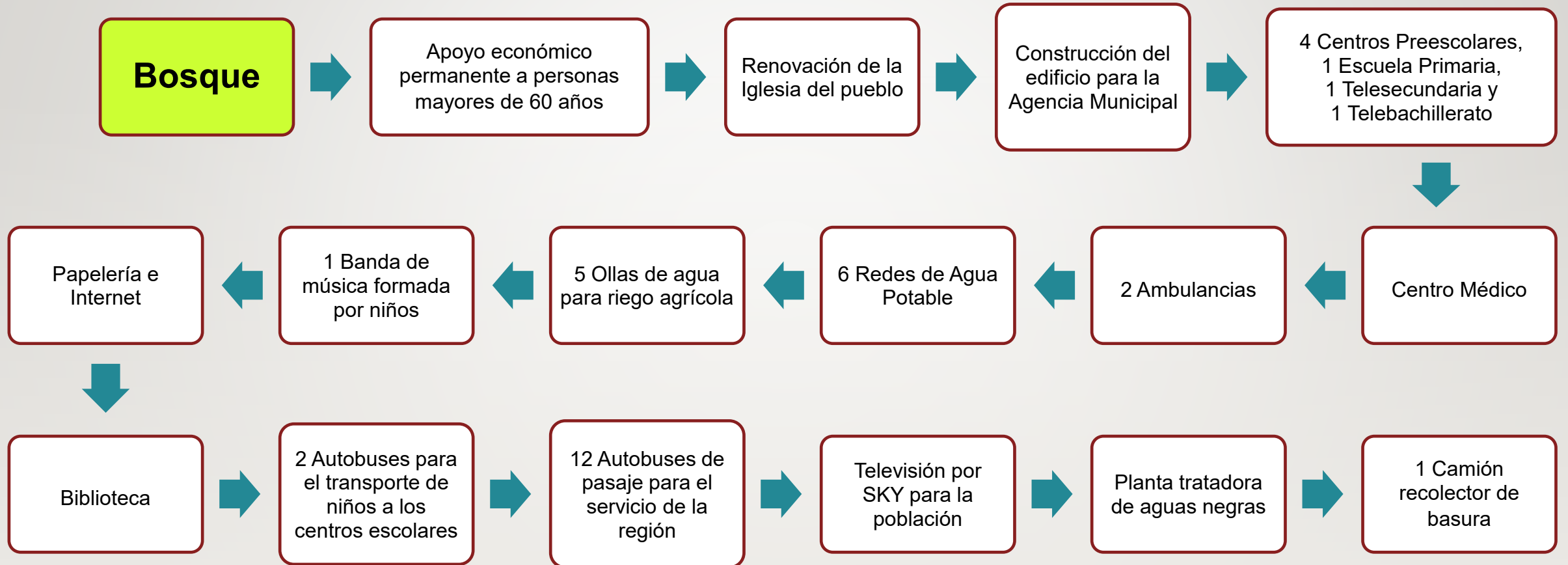
Página 1 de 2 FORAMB-P05.08.01

*ANEXO 1: MANEJO DE BIODIVERSIDAD EN UNIDADES PRODUCTORAS DE GERMOPLASMA FORESTAL
*MANEJO DE BIODIVERSIDAD EN UNIDADES PRODUCTORAS DE GERMOPLASMA FORESTAL
*MANEJO DE BIODIVERSIDAD EN UNIDADES PRODUCTORAS DE GERMOPLASMA FORESTAL

ASOCIACIÓN DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN, A.C. - CALLE DE REPRESENTACIÓN: CALLE DE LA INDUSTRIA 1300, MEXICO D.F. 06700, TEL. +52 (55) 5747 4555, www.ance.org.mx
DIRECCIÓN DE REPRESENTACIÓN: CALLE DE LA INDUSTRIA 1300, MEXICO D.F. 06700, TEL. +52 (55) 5747 4555, www.ance.org.mx
*TODOS LOS PRODUCTOS DEBEN SER VERIFICADOS EN EL SITIO DE ORIGEN

389991

BENEFICIOS DEL APROVECHAMIENTO FORESTAL







¡Gracias!





Colegio de
Postgraduados



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



17 – 20 de abril, 2023
Ciudad de Oaxaca, México



Bases ecológicas para la aplicación de la silvicultura en San Pedro El Alto



Manejo forestal (gestión forestal)

Es la rama de la ingeniería forestal que se ocupa de las actividades administrativas, económicas, legales, sociales, etc. de los bosques

Sigue principios científicos y técnicos de silvicultura, protección y regulación.

Silvicultura

La teoría y práctica de controlar el establecimiento, composición, constitución, crecimiento y desarrollo de los ecosistemas forestales para la continua producción de bienes y servicios (LGDFS, 2020).

La teoría y la práctica de controlar el establecimiento, composición, estructura y crecimiento del bosque (Smith et al., 1997).

¿Que se entiende por un ecosistema saludable?

Desde un punto de vista utilitario (antropocéntrico).

Una condición del bosque donde las influencias bióticas y abióticas (plagas, enfermedades, contaminación, sistemas silvícolas, aprovechamiento) no amenazan los objetivos de manejo actuales y futuros (Kolb et al., 1995).

Desde una perspectiva del ecosistema:

- 1) Un equilibrio funcional entre el suministro y la demanda de recursos esenciales (agua, nutrientes, luz, espacio de crecimiento) para la vegetación.**
- 2) Una diversidad de estadios seriales, tipos de coberturas y estructuras de rodales que proporcionan hábitat para muchas especies nativas y todos los procesos ecosistémicos esenciales.**

Ecología
aplicada

Silvics

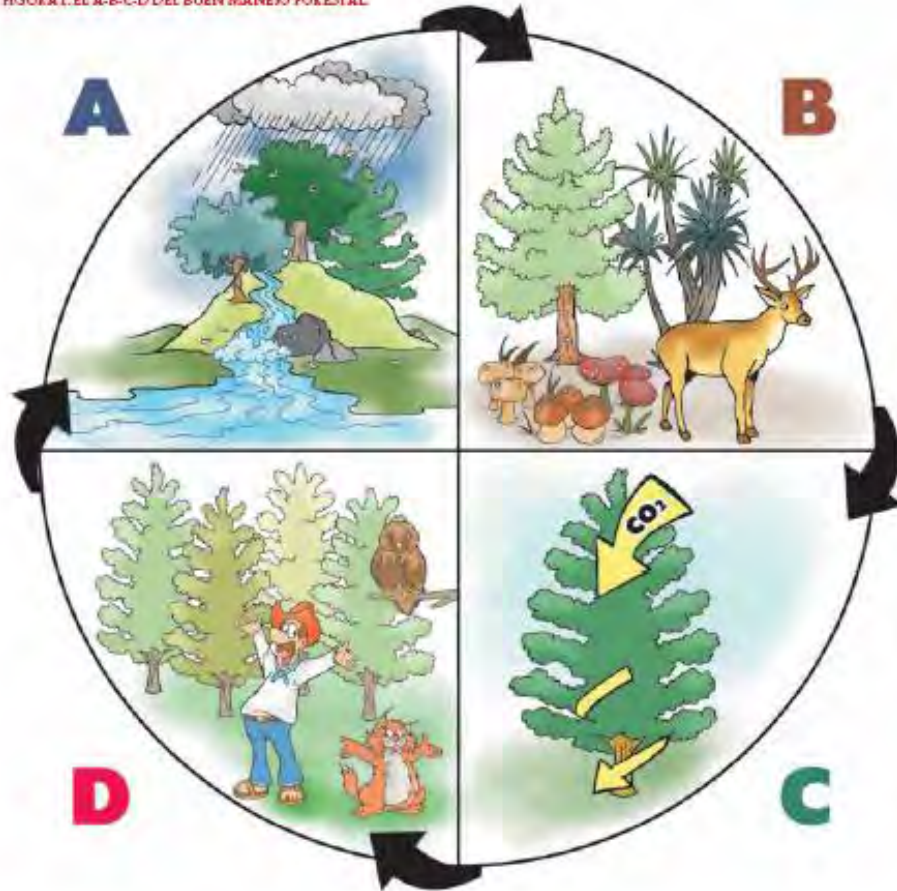


Manejo de
ecosistemas

**MANEJO FORESTAL
ECOLÓGICO**

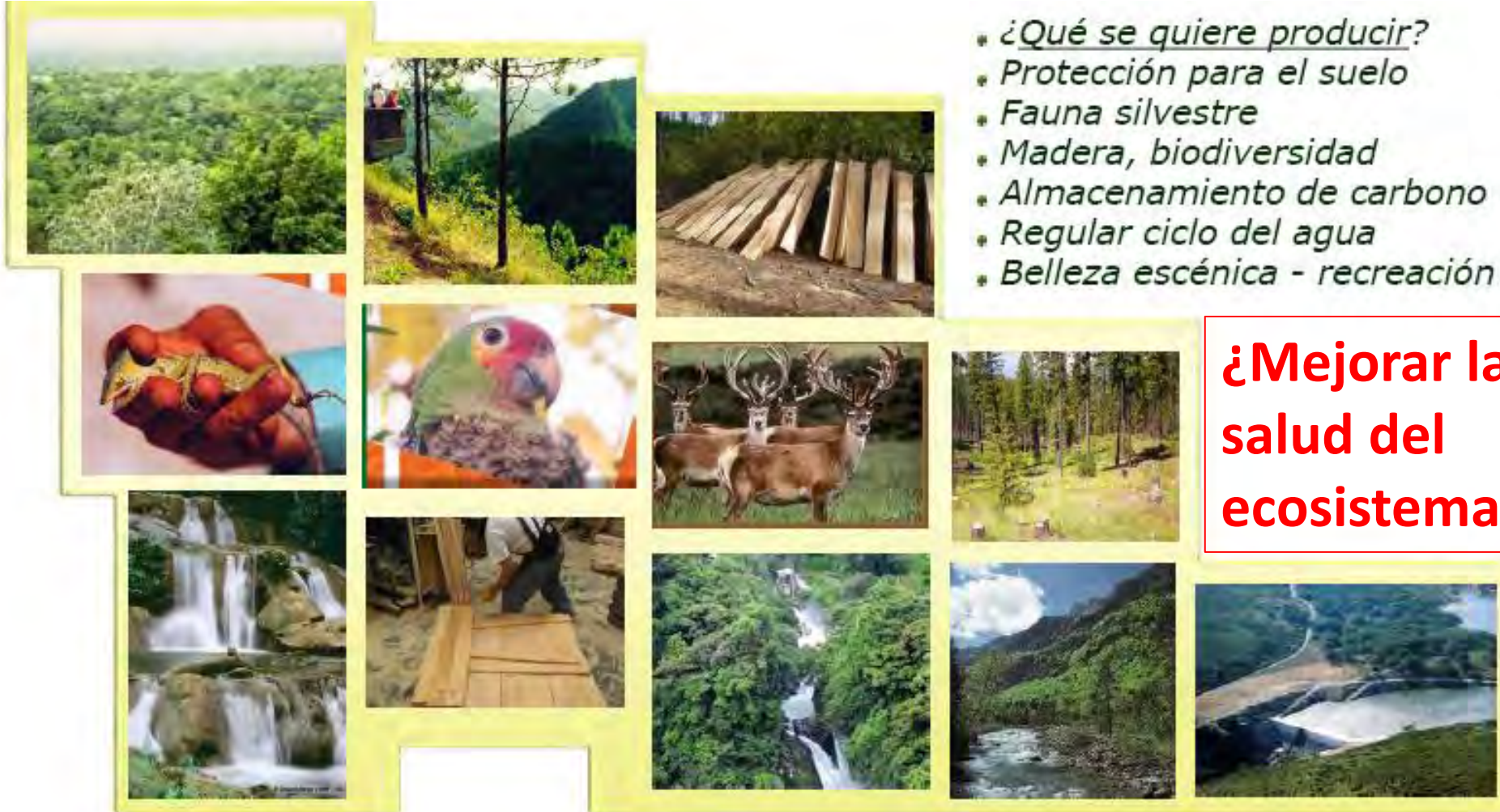
El A, B y C de una buena gestión forestal

FIGURA 1. EL A-B-C-D DEL BUEN MANEJO FORESTAL



- Visión de cambio y **adaptación continua**
- Mantener o aumentar el valor económico, social y ambiental del bosque
- Procuramos mantener:
 - 1) Extensión
 - 2. Diversidad biológica
 - **3. SALUD**
 - 4. Funciones productivas
 - 5. Funciones de Protección
 - 6. Funciones socioeconómicas

¿Para que queremos la silvicultura?



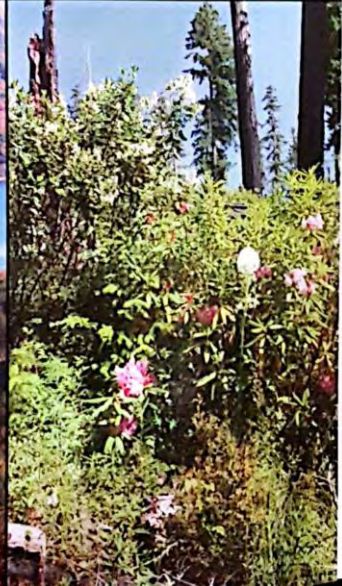
- *¿Qué se quiere producir?*
- *Protección para el suelo*
- *Fauna silvestre*
- *Madera, biodiversidad*
- *Almacenamiento de carbono*
- *Regular ciclo del agua*
- *Belleza escénica - recreación*

¿Mejorar la salud del ecosistema?



Ecological Forest Management

JERRY F. FRANKLIN
K. NORMAN JOHNSON
DEBORA L. JOHNSON



2018



Ecological Silviculture

Foundations and Applications

BRIAN J. PALIK
ANTHONY W. D'AMATO
JERRY F. FRANKLIN
K. NORMAN JOHNSON



2021

Silvicultura Ecológica

Mantiene los ecosistemas, y su arreglo de estructuras, funciones (procesos), y biota

Utiliza modelos de desarrollo natural del rodal, incluyendo los efectos de las perturbaciones, como la base de las prescripciones silvícolas

Valora la complejidad y la heterogeneidad de los atributos de los ecosistemas

Enfatiza la diversidad de los ecosistemas y su resiliencia para reducir los riesgos de perturbaciones mayores

Silvicultura enfocada a la producción de madera

Mantiene un subgrupo de estructuras del ecosistema, funciones, y biota consistentes con los objetivos económicos

Se basa en modelos agronómicos, por ejemplo espacio entre plantas, control de la vegetación, fertilización, como de las prescripciones silviculturales

Valora la simplicidad y homogeneidad de estructura y composición

Enfatiza la optimización del crecimiento de las especies cultivadas para reducir los riesgos

El manejo forestal, para que tenga éxito, debería estar fundamentado en una apreciación profunda de los ecosistemas, de sus orígenes, de su estructura, y del conocimiento del complejo de interrelaciones de todas las partes que lo componen (Kimmins, 2004).

El entendimiento de los ecosistemas nos permitirá mantenerlos sanos y productivos!

Aun queda mucho que entender y aprender del funcionamiento de los ecosistemas, pero todo parece indicar que un ecosistemas SANO es un prerrequisito para una TIERRA SANA



Composición de especies en el bosque adyacente y en la regeneración

Especie	Densidad (Ind·ha ⁻¹)	Area Basal (m ² ·ha ⁻¹)
Rodal adyacente 12		
<i>Pinus douglasiana</i>	1400.56	12.13
<i>Pinus tecunumannii</i>	95.49	0.96
<i>Quercus laurina</i>	63.66	1.05
<i>Pinus montezumae</i>	31.83	0.09
<i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i>	31.83	0.30
<i>Pinus pringlei</i>	31.83	9.61
Total	1655.21	24.31

Especie	Densidad (Ind·ha ⁻¹)
Rodal 12 (1989)	
<i>Pinus douglasiana</i>	4281.26
<i>Quercus rugosa</i>	970.84
<i>Quercus laurina</i>	222.82
<i>Arbutus</i> sp.	143.24
<i>Pinus montezumae</i>	31.83
<i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i>	31.83
<i>Pinus pseudostrobus</i>	31.83
Total	5713.65

Especie	Densidad (Ind·ha ⁻¹)	Area Basal (m ² ·ha ⁻¹)
Rodal adyacente 13		
<i>Pinus pseudostrobus</i>	241.91	16.97
<i>Quercus laurina</i>	89.13	1.79
<i>Pinus montezumae</i>	82.76	8.11
<i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i>	57.30	3.16
<i>Pinus tecunumannii</i>	50.93	2.21
<i>Pinus douglasiana</i>	19.10	4.22
<i>Arbutus</i> sp.	6.37	3.12
<i>Pinus pseudostrobus</i> var. <i>apulcencis</i>	6.37	1.35
<i>Pinus teocote</i>	6.37	0.03
<i>Quercus rugosa</i>	6.37	0.68
Total	566.59	41.64

Especie	Densidad (Ind·ha ⁻¹)
Rodal 13 (1990)	
<i>Pinus pseudostrobus</i>	1979.88
<i>Arbutus</i> sp.	1878.02
<i>Quercus laurina</i>	935.83
<i>Quercus rugosa</i>	884.90
<i>Pinus montezumae</i>	261.01
<i>Pinus tecunumannii</i>	216.45
<i>Pinus douglasiana</i>	159.15
<i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i>	127.32
<i>Pinus pseudostrobus</i> var. <i>apulcencis</i>	19.10
Total	6461.68

Especie	Densidad (Ind·ha ⁻¹)	Area Basal (m ² ·ha ⁻¹)
Rodal adyacente 14		
<i>Pinus douglasiana</i>	278.52	14.35
<i>Pinus pseudostrobus</i>	175.07	13.93
<i>Pinus tecunumannii</i>	119.37	8.06
<i>Quercus rugosa</i>	87.54	1.86
<i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i>	79.58	4.55
<i>Arbutus</i> sp.	55.70	2.63
<i>Pinus teocote</i>	39.79	2.85
<i>Alnus</i> sp.	15.92	0.12
<i>Pinus montezumae</i>	15.92	4.88
Total	867.39	53.23

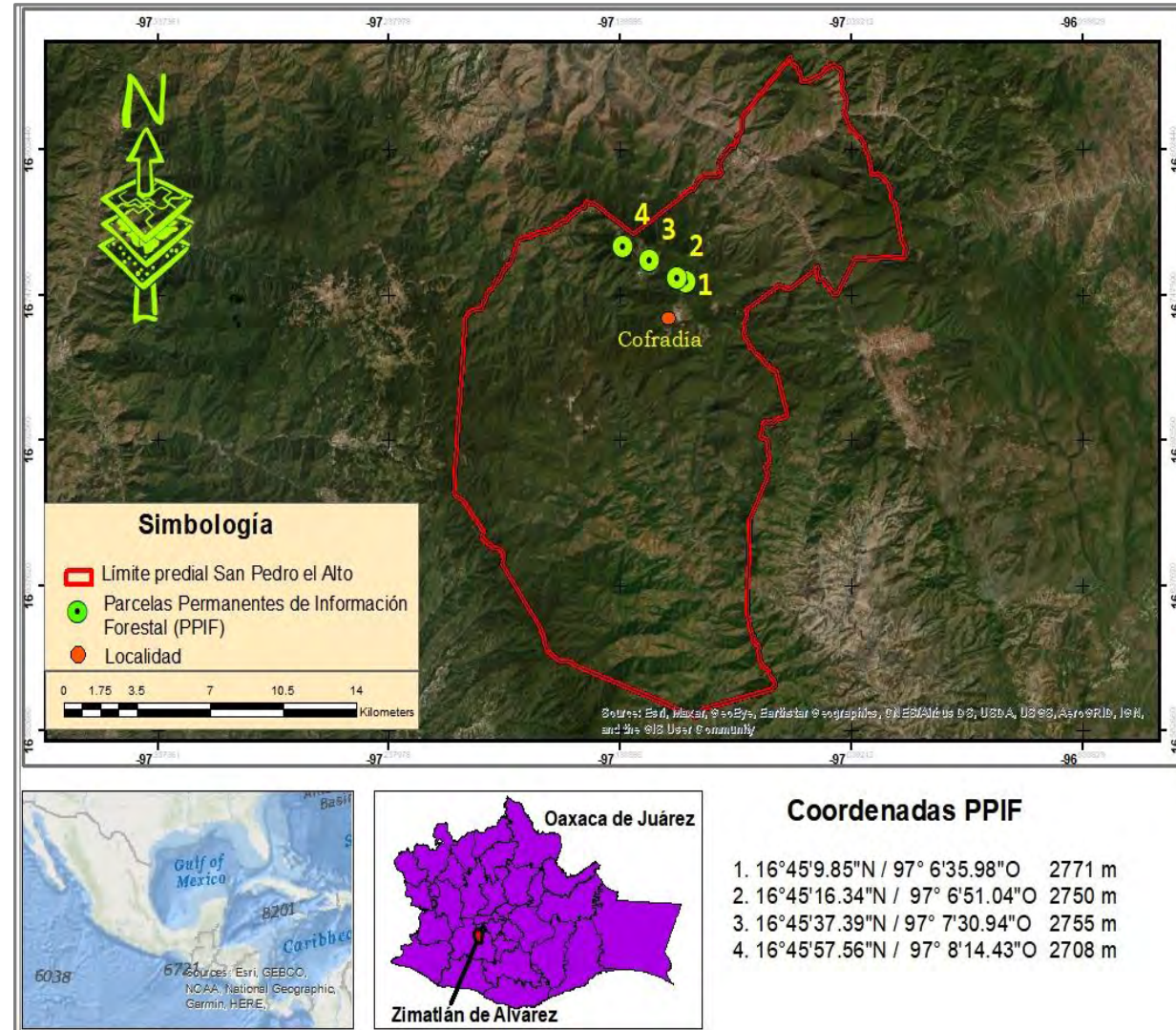
Especie	Densidad (Ind·ha ⁻¹)
Rodal 14 (1995)	
<i>Pinus douglasiana</i>	779.86
<i>Pinus teocote</i>	461.55
<i>Pinus pseudostrobus</i>	445.63
<i>Alnus</i> sp.	366.06
<i>Pinus pseudostrobus</i> var. <i>apulcencis</i>	270.56
<i>Pinus montezumae</i>	254.65
<i>Arbutus</i> sp.	167.11
<i>Quercus rugosa</i>	87.54
<i>Pinus tecunumannii</i>	79.58
<i>Quercus laurina</i>	63.66
<i>Pinus lawsonii</i>	39.79
<i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i>	39.79
Total	3055.77

Índices de diversidad

Rodal	Índice de Shannon
<i>Especies de la regeneración</i>	
12 (1989)	0.823 c
13 (1990)	1.703 b
14 (1995)	2.140 a
<i>Especies del arbolado</i>	
Adyacente 12	0.659 c
Adyacente 13	1.699 b
Adyacente 14	1.876 a

Especies de la regeneración vs Especies del arbolado	Especies comunes	Índice de Jaccard
12 vs Ady 12	4	0.444
12 vs Ady 13	7	0.700
12 vs ady 14	6	0.600
13 vs Ady 13	9	0.900
13 vs Ady 12	5	0.500
13 vs Ady 14	7	0.636
14 vs Ady 14	9	0.750
14 vs Ady 12	5	0.385
14 vs Ady 13	10	0.833

Composición de especies y estructura del bosque de *Abies hickelii*

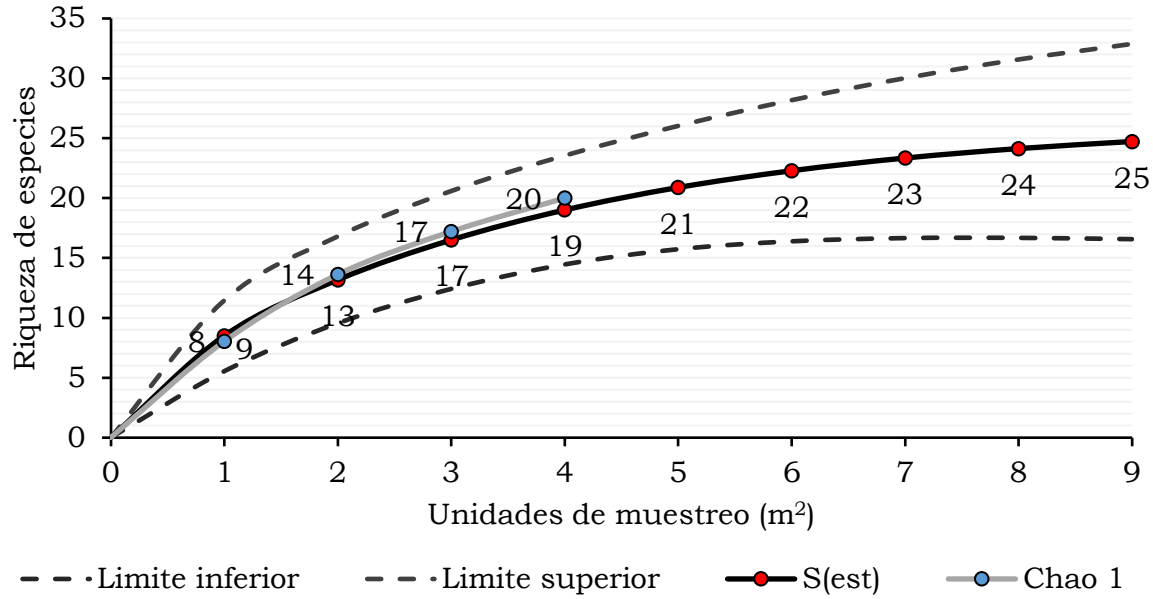




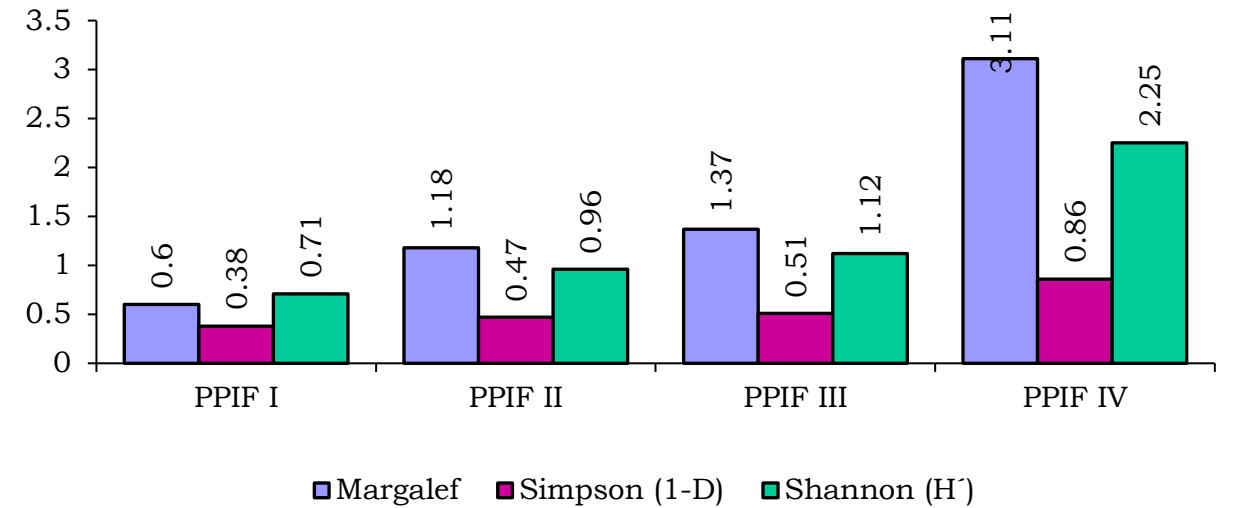




Curva de acumulación de especies

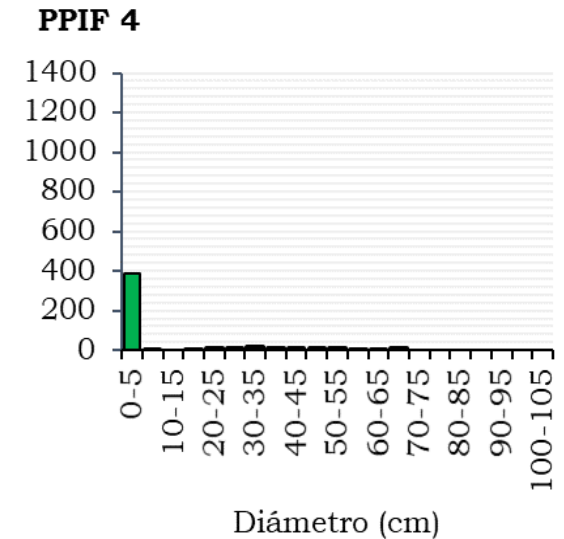
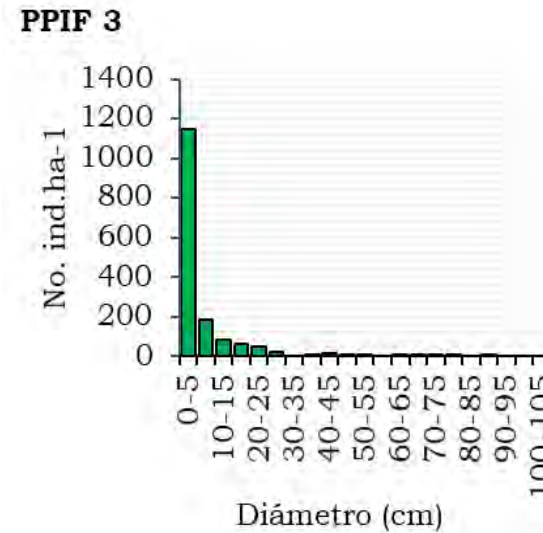
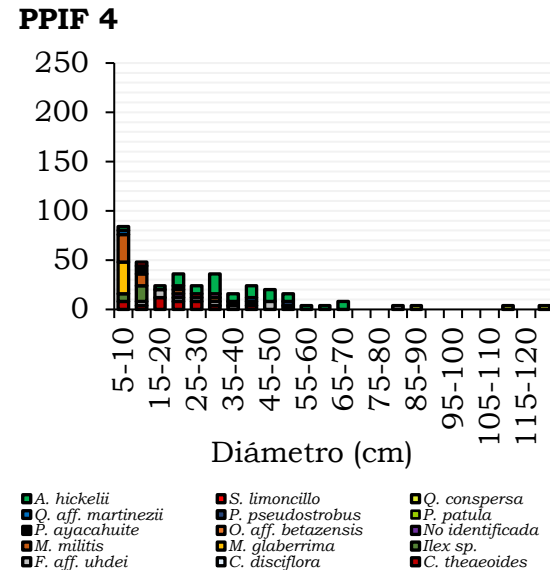
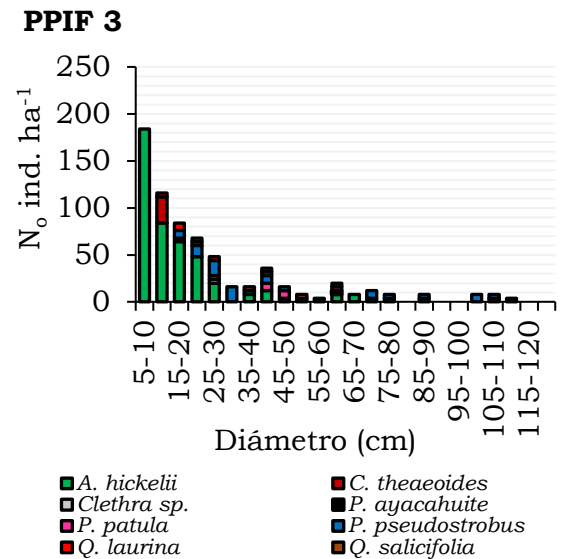
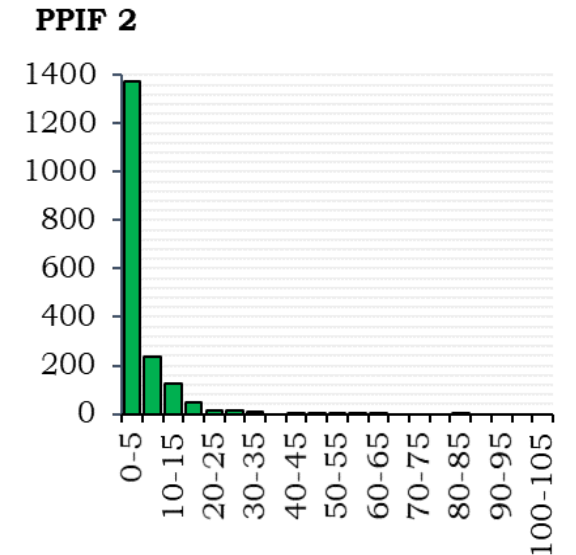
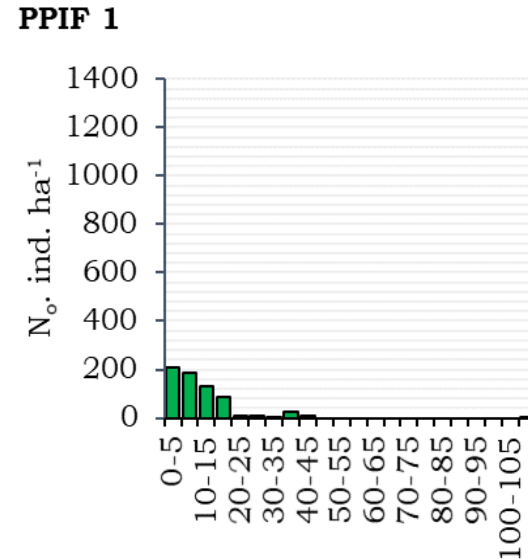
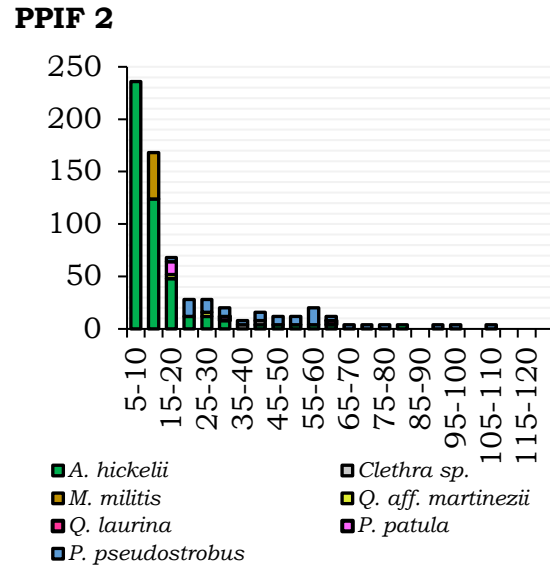
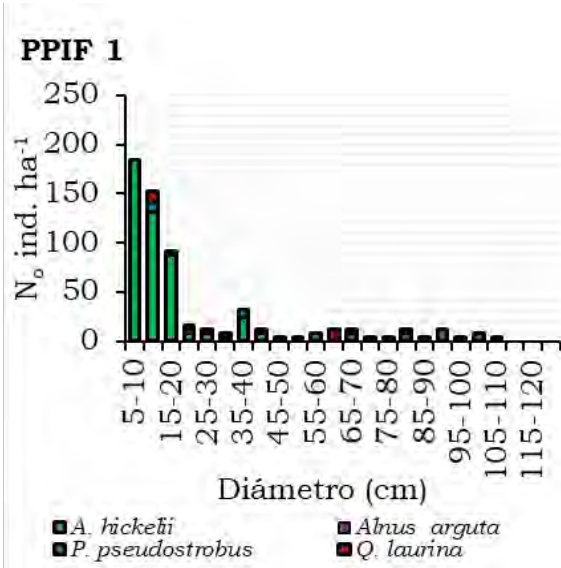


Diversidad

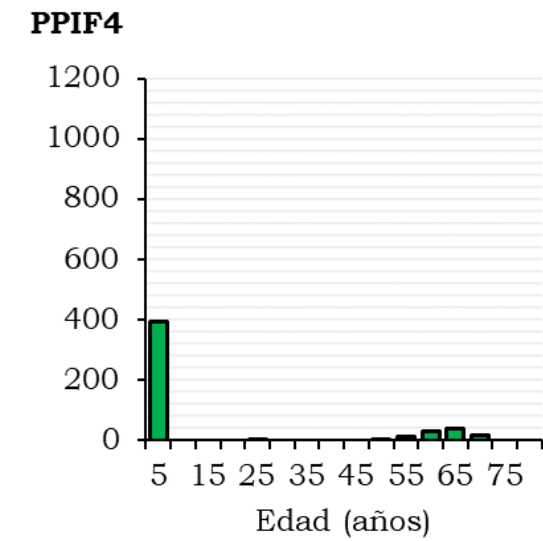
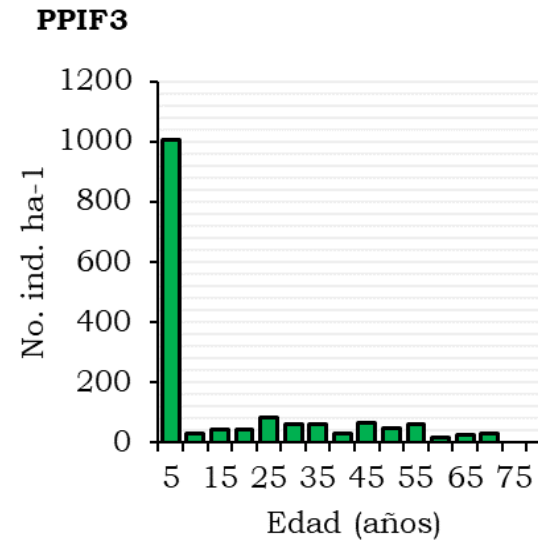
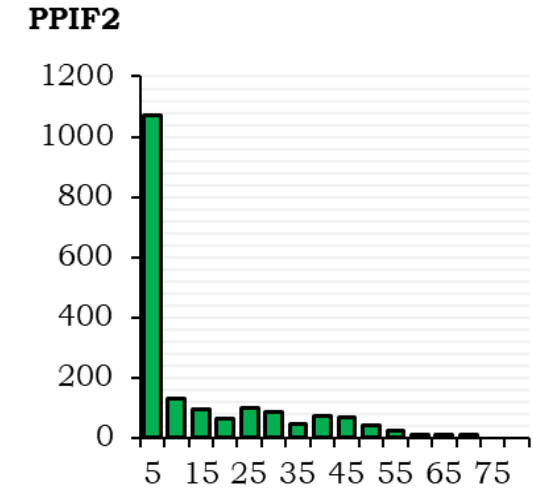
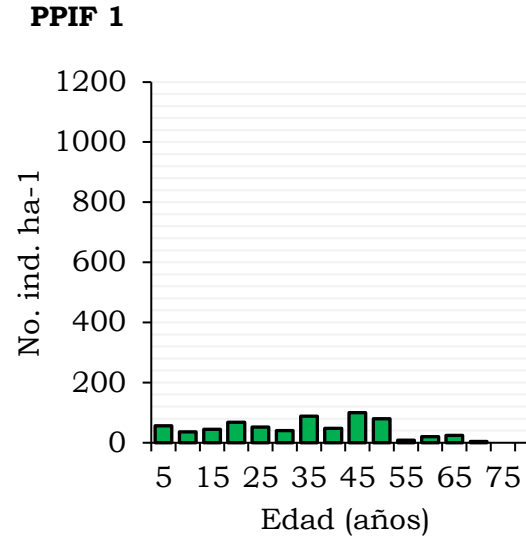
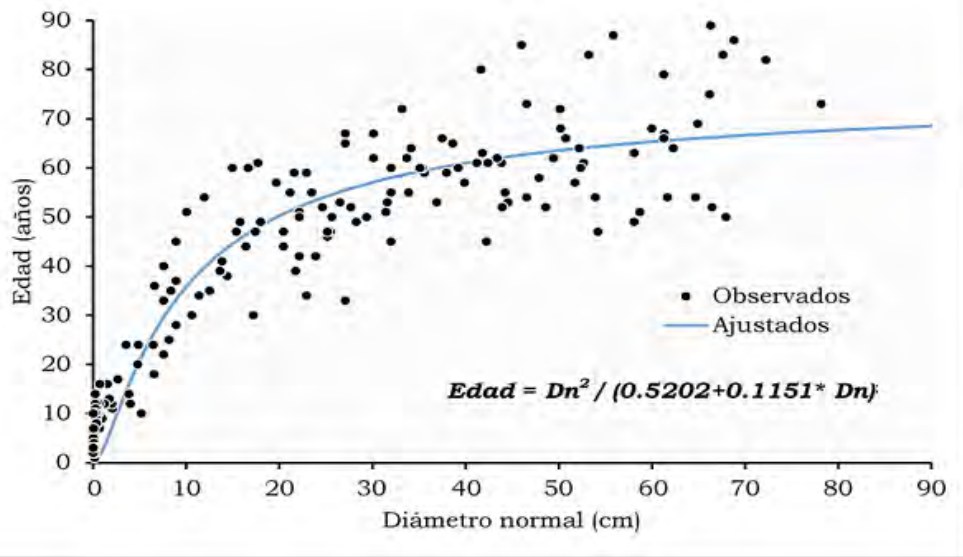


Familia	Especie	Densidad (ha⁻¹)	Ab (m² ha⁻¹)
Pinaceae	<i>Abies hickelii</i>	371	15.27
Pinaceae	<i>Pinus pseudostrobus</i>	80	19.32
Melastomataceae	<i>Miconia militis</i>	21	0.10
Pentaphylacaceae	<i>Cleyera theaeoides</i>	19	0.52
Fagaceae	<i>Quercus laurina</i>	17	2.67
Pinaceae	<i>Pinus patula</i>	13	1.91
Oleaceae	<i>Fraxinus aff. uhdei</i>	9	1.19
Melastomataceae	<i>Miconia glaberrima</i>	8	0.03
Pinaceae	<i>Pinus ayacahuite</i>	7	0.75
Aquifoliaceae	<i>Ilex sp</i>	6	0.05
Clethraceae	<i>Clethra sp</i>	4	0.22
Fagaceae	<i>Quercus aff. martinezii</i>	4	0.18
Fagaceae	<i>Quercus polymorpha</i>	3	2.77
Fagaceae	<i>Quercus salicifolia</i>	3	0.22
Lauraceae	<i>Ocotea aff. betazensis</i>	2	0.11
Symplocaceae	<i>Symplocos limoncillo</i>	2	0.28
Betulaceae	<i>Alnus arguta</i>	1	0.03
Cornaceae	<i>Cornus disciflora</i>	1	0.04
	No identificada	1	0.03
Total		572	45.69

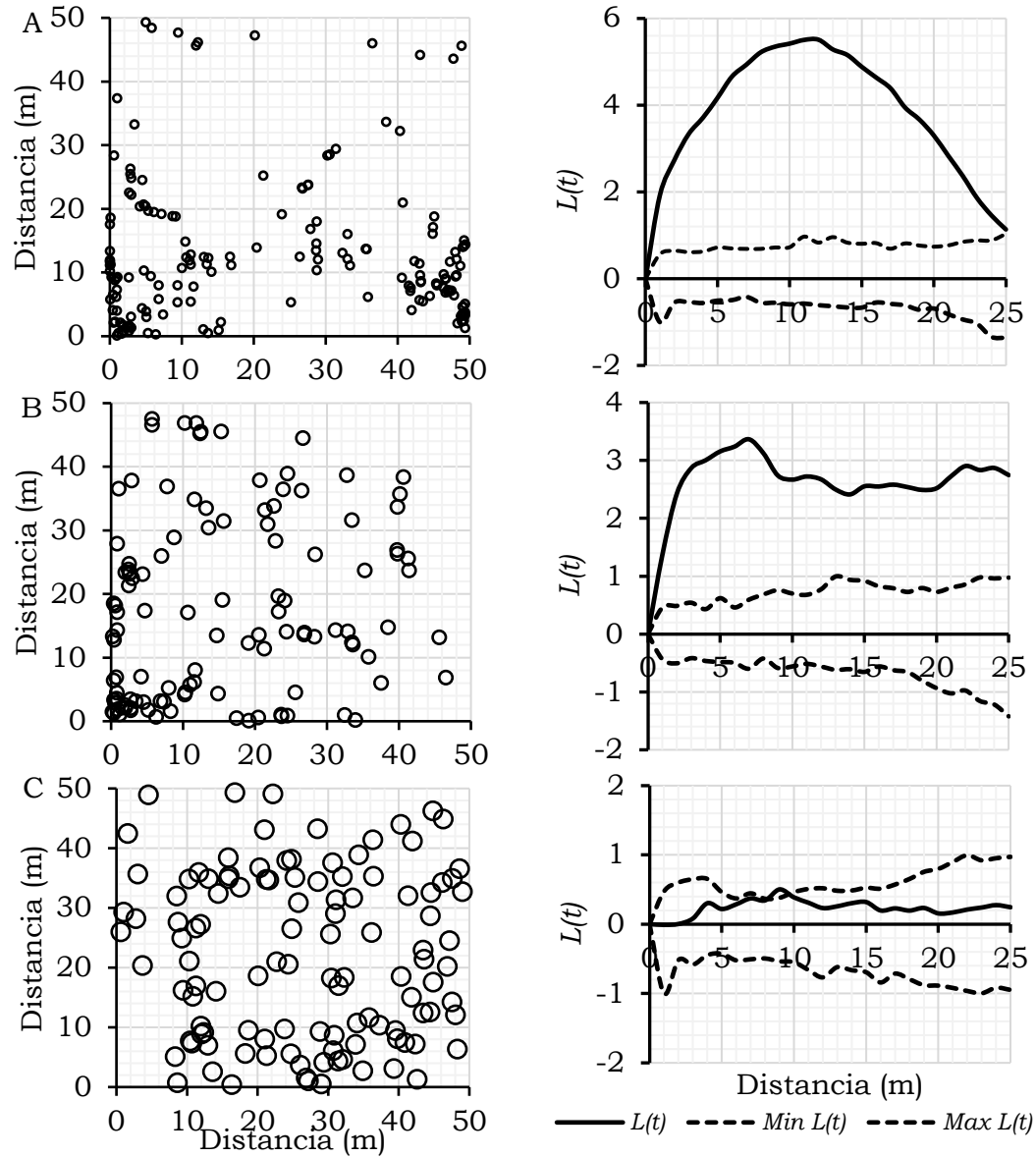
Todas las especies (dn ≥ 5 cm)



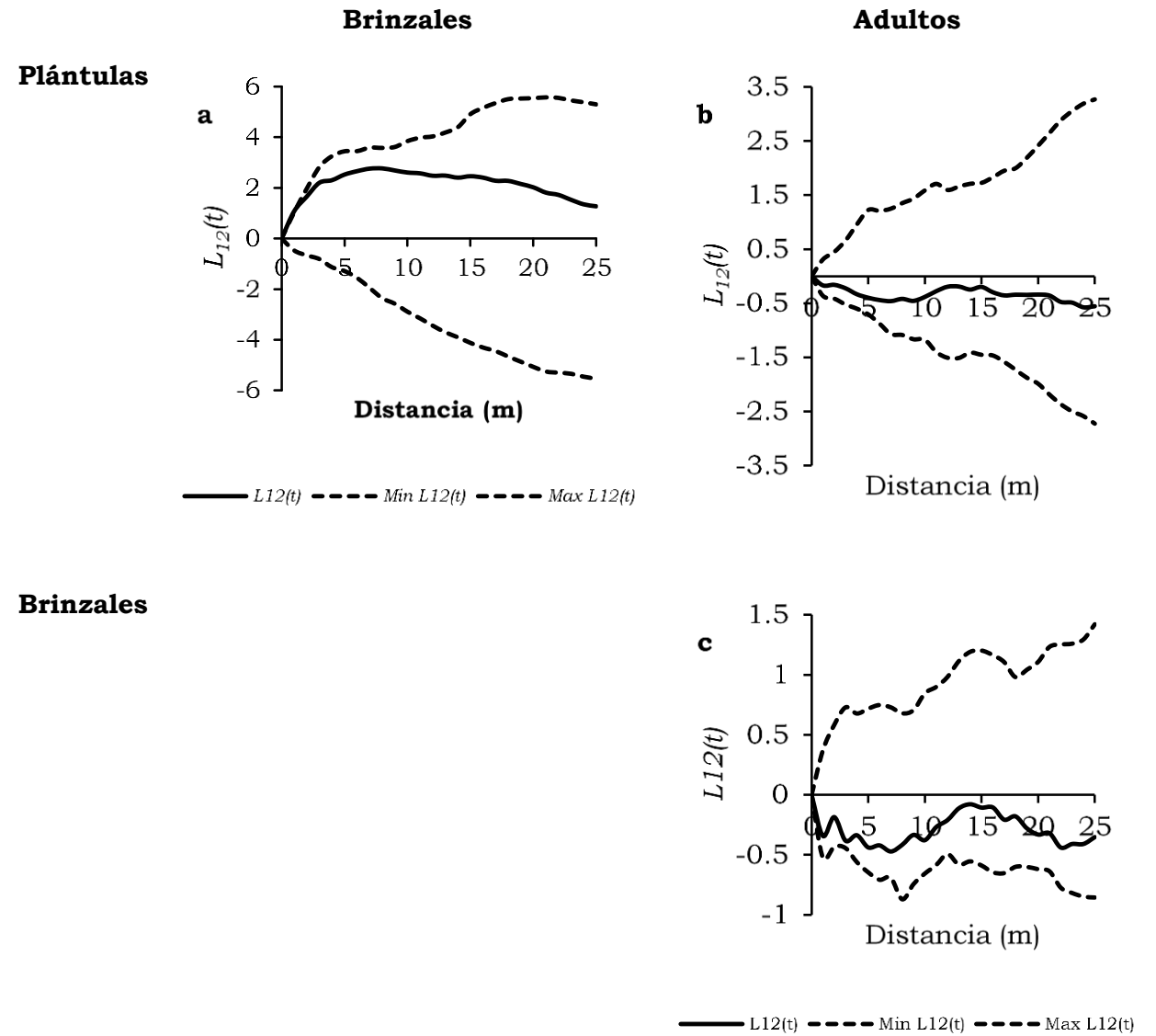
Estructura de edades de la población de *A. hickelii*



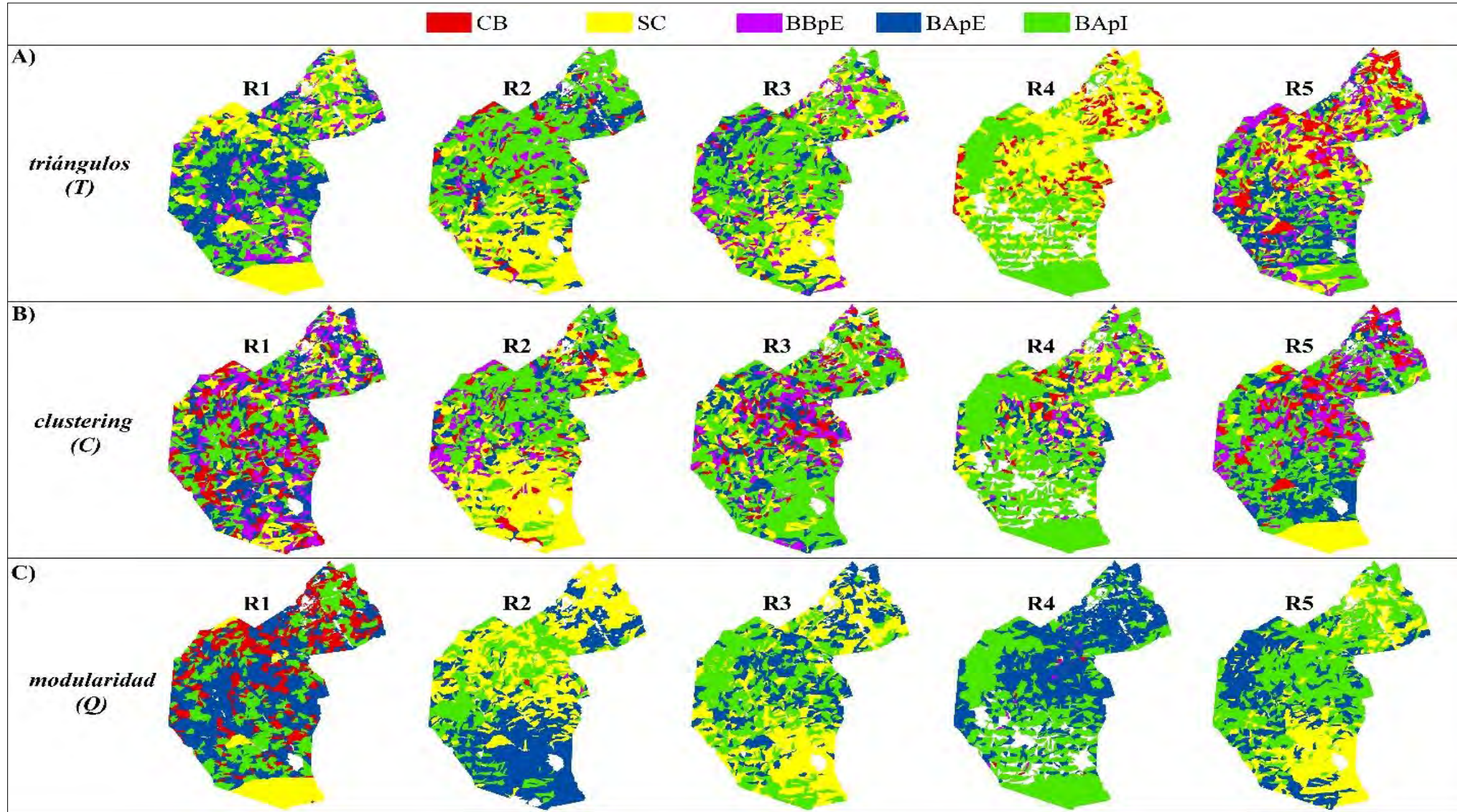
Distribución espacial



Correlación espacial



Clasificación de rodales por zona funcional



CB: conservación de biodiversidad; SC: sumideros de carbono; BBpE: bosque de baja productividad con potencial de aprovechamiento extensivo; BApe: bosque de alta productividad con potencial de aprovechamiento extensivo; BApl: bosque de alta productividad con potencial de aprovechamiento intensivo

Agradecimientos



Colegio de
Postgraduados



Unidad Económica Especializada de
Aprovechamiento Forestal Comercial
— SAN PEDRO EL ALTO —

gangeles@colpos.mx



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

17-21 Abril 2023



**Inventario forestal, sistema de
monitoreo de crecimiento y rendimiento,
y guías de densidad**

Héctor M. De los Santos Posadas

hmsantos@colpos.mx

**44 Aniversario
Postgrado en Ciencias Forestales**



**Colegio de
Postgraduados**





Metodología del Inventario

Inventario Estratégico

Inventario de Gran Visión del Predio **1,100 Sitios**

Diseño Sistemático en un gradiente Norte-Sur (Sitios 1,000 m²)

Incluye una red complementaria de sitios de re-medicación (10%)

Inventario Operativo

Inventario a nivel de rodal en la zona definida por la comunidad

Diseño aleatorio estratificado con sitios de dimensiones variables
(Relascopio) **factor de área basal 2 (3,303 puntos de inventario)**

Incluye una red complementaria de sitios de área basal como **fase auxiliar**
para mejorar la estimación específica de los rodales
(5,723 puntos de conteo de área basal por especie)

Metodología del Inventario

Inventario Estratégico - Incremento

2014 - Obtención de Virutas – 2,886 arboles

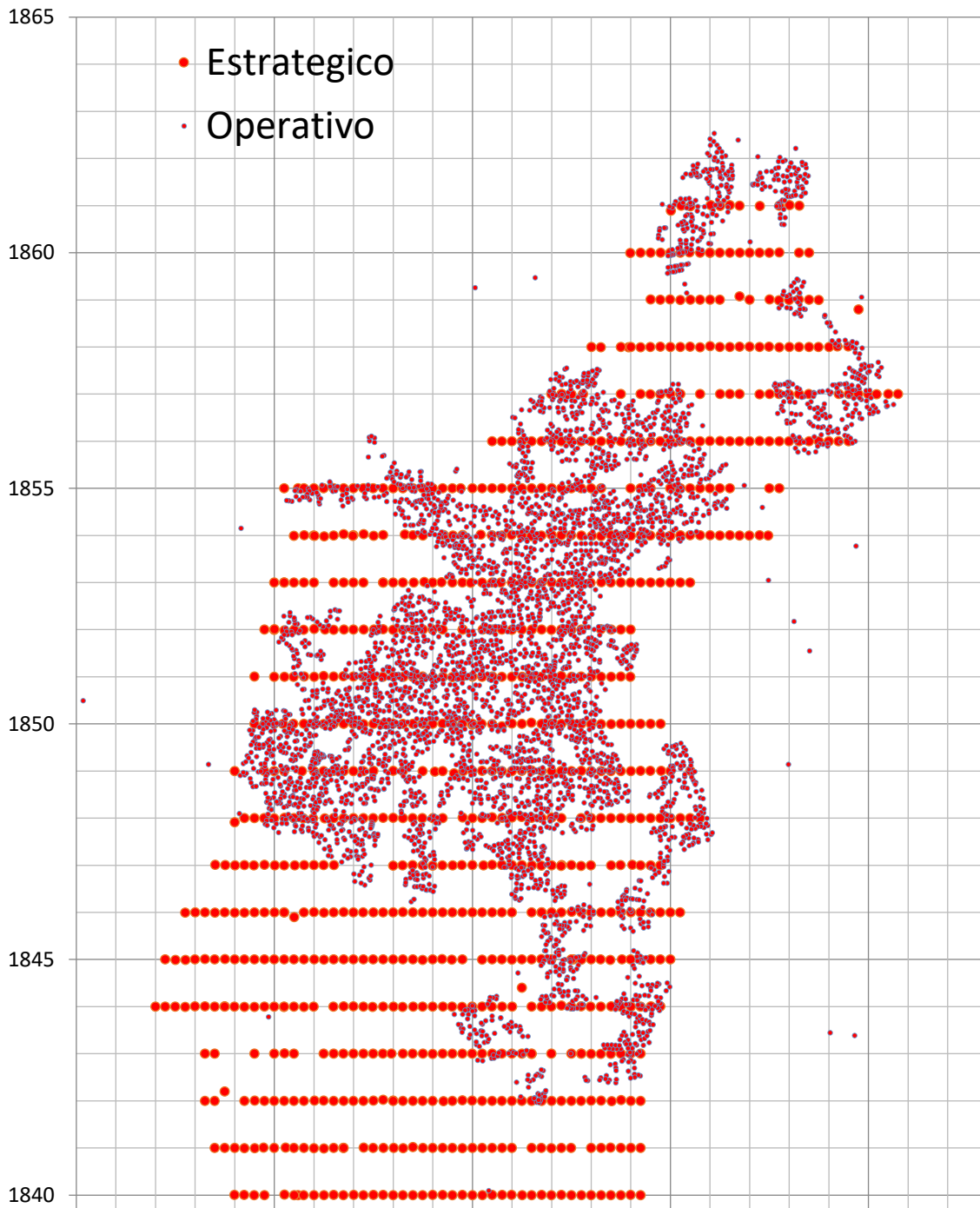
2022 – Remedición sitios inventario estratégico establecidos en 2014

Inventario Operativo

Edad de los Rodales

Obtención de Virutas – 3,256 arboles



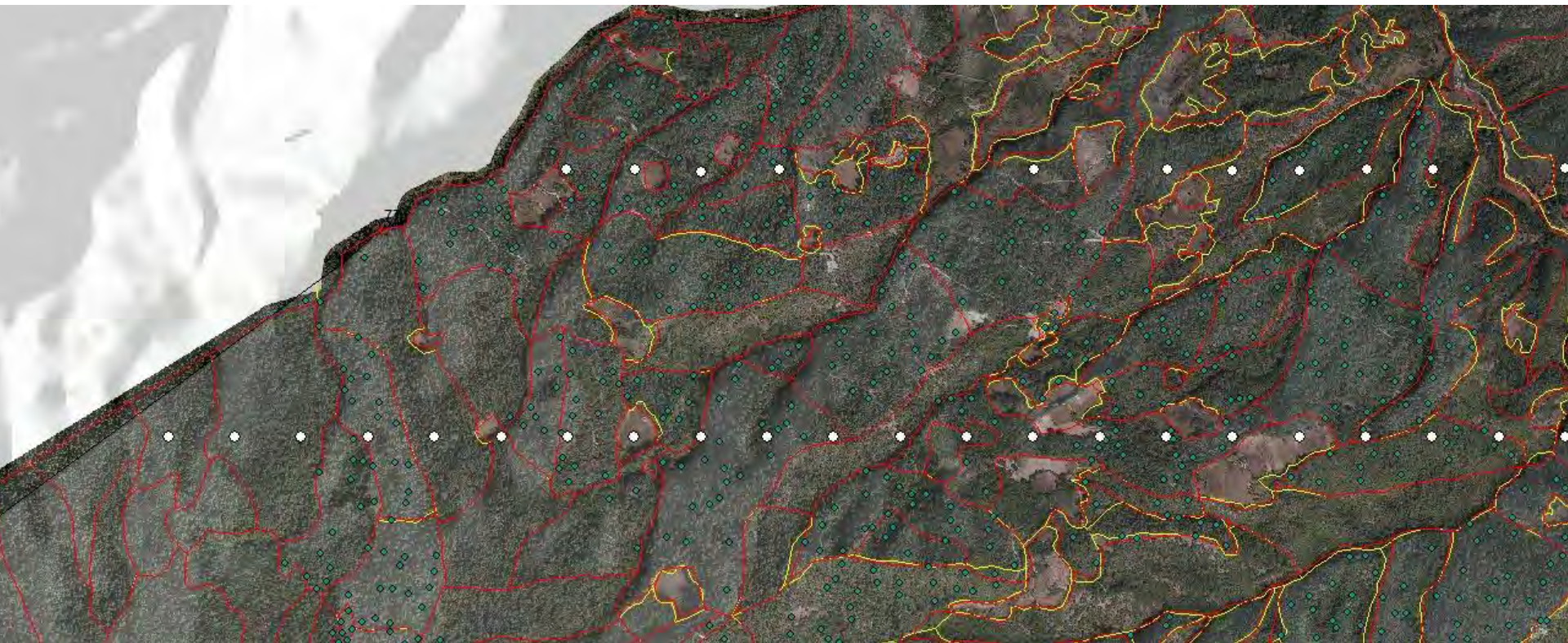


• Estrategico
• Operativo



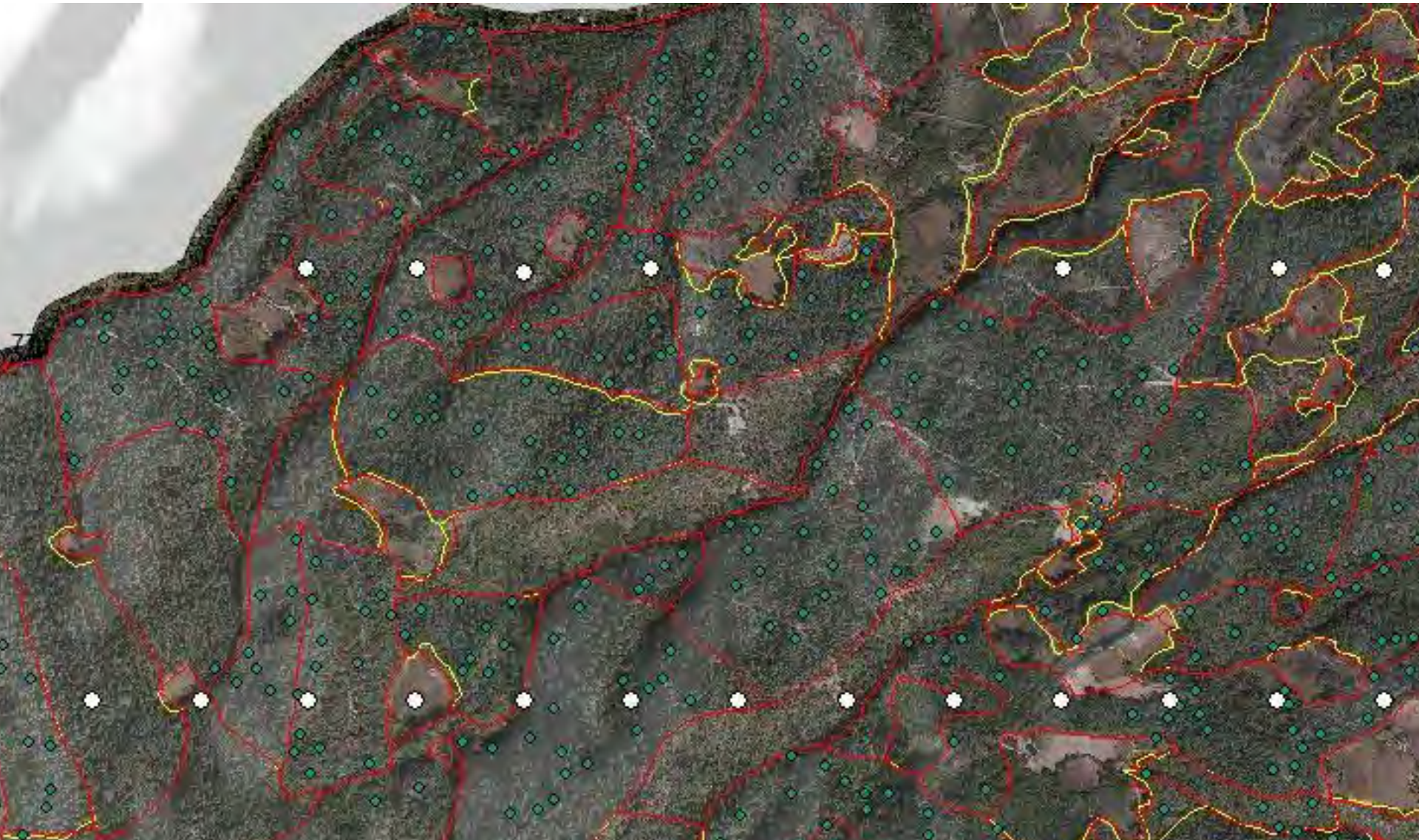
○ **Inventario Estratégico**

● **Inventario Operativo**



○ **Inventario Estratégico**

● **Inventario Operativo**



OAXACA-1 (1985)



SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS

INVENTARIO FORESTAL DEL ESTADO DE OAXACA

Publicación Especial No. 58
Agosto de 1985
ISSN-0185-2566
México, D.F.

157 PAGINAS

¿Y I

co Apá?

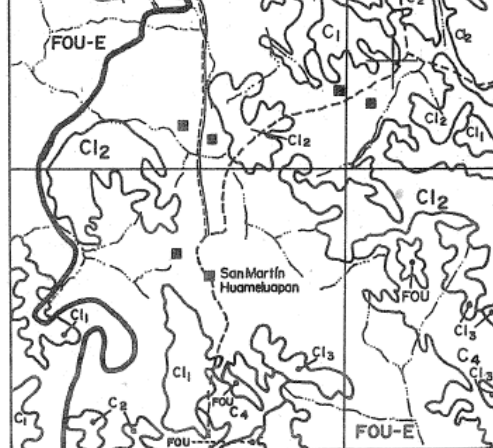


FIGURA 9. Fracción de una carta escala 1:50,000.

Tablas de volúmenes

En este proceso se elaboraron las tablas de volumen de fuste total y de fuste limpio, necesarios para la determinación de las existencias volumétricas de la entidad.

Se obtuvieron diez tablas de volumen para bosques de clima templado-frío (cuadro 6) y cinco tablas para selvas de clima cálido-húmedo (cuadro 7).

Las tablas de volúmenes que se indican en los cuadros 6 y 7 se localizan en el Apéndice.

Cuadro 6. Modelo estadístico y sus principales estimadores, empleado en la elaboración de las tablas de volúmenes para bosque templado-frío en el estado de Oaxaca

Grupo*	No. de observaciones	$VI = \text{Exp} [C_0 + C_1 \text{Lg}(\text{DN}) + C_2 \text{Lg}(\text{HI}) + C_3 \text{Lg}(2\text{HT-HI}/\text{HT})]$		Valor F**	R ² ***
A ₁	120	C ₀ = -9 99696596 C ₂ = 1 05268932	C ₁ = 1 91126433 C ₃ = 1 08815416	21898 38143	0 98558272
A ₂	244	C ₀ = -9 68821955 C ₂ = 1 05886031	C ₁ = 1 81948603 C ₃ = 1 16844634	62319 58166	0 99127275
B ₁	103	C ₀ = -9 57644004 C ₂ = 1 036004126	C ₁ = 1 82088904 C ₃ = 0 97953161	16258 89574	0 98760947
B ₂	64	C ₀ = -10 34881812 C ₂ = 1 03058842	C ₁ = 2 02143823 C ₃ = 1 04851748	14710 06873	0 99010572
B ₃	108	C ₀ = -9 77006304 C ₂ = 1 02464593	C ₁ = 1 87882617 C ₃ = 1 00283792	30470 86310	0 99163626
B ₄	98	C ₀ = -9 79021441 C ₂ = 1 07570774	C ₁ = 1 85732519 C ₃ = 1 08808227	35057 02289	0 99369494
B ₅	93	C ₀ = -9 09950564 C ₂ = 1 17621222	C ₁ = 1 57672586 C ₃ = 1 40305494	4752 83136	0 95987746
B ₆	127	C ₀ = -7 86843737 C ₂ = 1 26021484	C ₁ = 1 14373248 C ₃ = 1 74411757	3016 30224	0 91487130
B	126	C ₀ = -9 89882648 C ₂ = 1 00776177	C ₁ = 1 92451840 C ₃ = 0 95254817	52090 35810	0 99373633
G	109	C ₀ = -9 41218007 C ₂ = 1 09456111	C ₁ = 1 70376160 C ₃ = 1 26031562	3192 91166	0 92452277

* Las especies que integran cada uno de los grupos aparecen en el Apéndice.

** Valor F= Razón de dos estimaciones de varianzas.

*** R²= Coeficiente de determinación múltiple.

MODELOS DE VOLUMEN EN PIE SAN PEDRO EL ALTO

$$V = \exp(-\alpha_0) \times D^{\alpha_1} H^{\alpha_2}$$

Grupo de Especies	α_0	α_1	α_2
1	-9.7544	1.820889	1.036041
2	-9.99966	1.911264	1.052689
3	-9.62687	1.787043	1.066176
5	-9.77063	1.878826	1.024646
7	-9.41218	1.703761	1.094561
8	-9.41218	1.703761	1.094561
9	-9.41218	1.703761	1.094561

Grupo	Codigo	Genero	Especie	SiBiFor
2	3	<i>Pinus</i>	<i>ayacahuite</i>	
1	8	<i>Pinus</i>	<i>douglasiana</i>	
3	17	<i>Pinus</i>	<i>lawsoni</i>	**
3	18	<i>Pinus</i>	<i>leiophylla</i>	
2	21	<i>Pinus</i>	<i>michoacana</i>	
1	23	<i>Pinus</i>	<i>montezumae</i>	
2	26	<i>Pinus</i>	<i>oocarpa</i>	
1	27	<i>Pinus</i>	<i>patula</i>	
2	30	<i>Pinus</i>	<i>pringlei</i>	
1	31	<i>Pinus</i>	<i>pseudostrobus</i>	
2	39	<i>Pinus</i>	<i>teocote</i>	
5	53	<i>Abies</i>	<i>oaxacana</i>	**
6	60	<i>Cupresus</i>		**
9	69	<i>Arbutus</i>		
8	80	<i>Quercus</i>	comercial	
9	81	<i>Quercus</i>	no comercial	**

¿VTA o RTA?

$$VTA = RTA \times 1.1$$



Sistema Biométrico

**Sistema biométrico para la planeación del manejo forestal
sustentable de los ecosistemas con potencial maderable en
México
(2013-C01-209772)**

Oaxaca

Ecuaciones aditivas que permite estimar el volumen de ramas, de fuste (volumen rollo total árbol) y total árbol (fuste más ramas) se ajustaron de manera simultánea las siguientes ecuaciones:

$$V_{RTA} = \alpha_0 \times D^{\alpha_1} H^{\alpha_2}$$

$$V_{ram} = \beta \times D^2$$

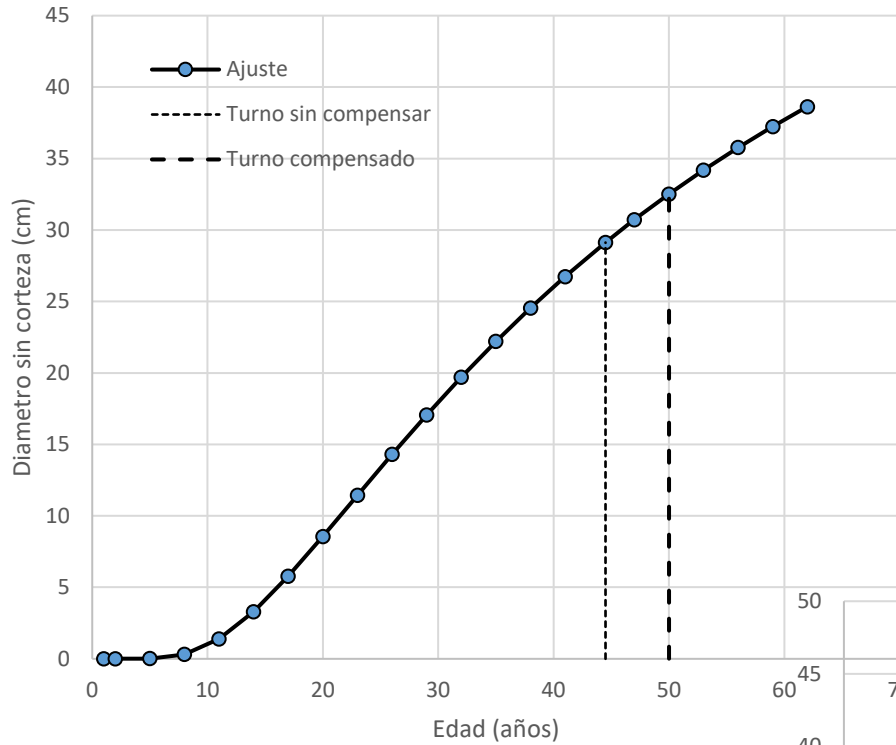
$$V_{VTA} = \alpha_0 \times D^{\alpha_1} H^{\alpha_2} + \beta \times D^2$$

Resultados Inventario Estratégico (2014)

Variable de Interés	Valor Estimado	Error de muestreo al 95% de confiabilidad
Area Basal Total m ² /ha	27.5	3.28%
Volumen Fuste Total Árbol m ³ /ha	273.7	4.68%
Volumen Total Árbol m ³ /ha	301.03	4.68%
Numero de Arboles por ha	556.5	4.88%
Inventario SiBiFor	1.26%	0.96%
Volumen Fuste Total Árbol m ³ /ha	271.2	4.97%
Volumen Total Árbol m ³ /ha	297.2	5.20%

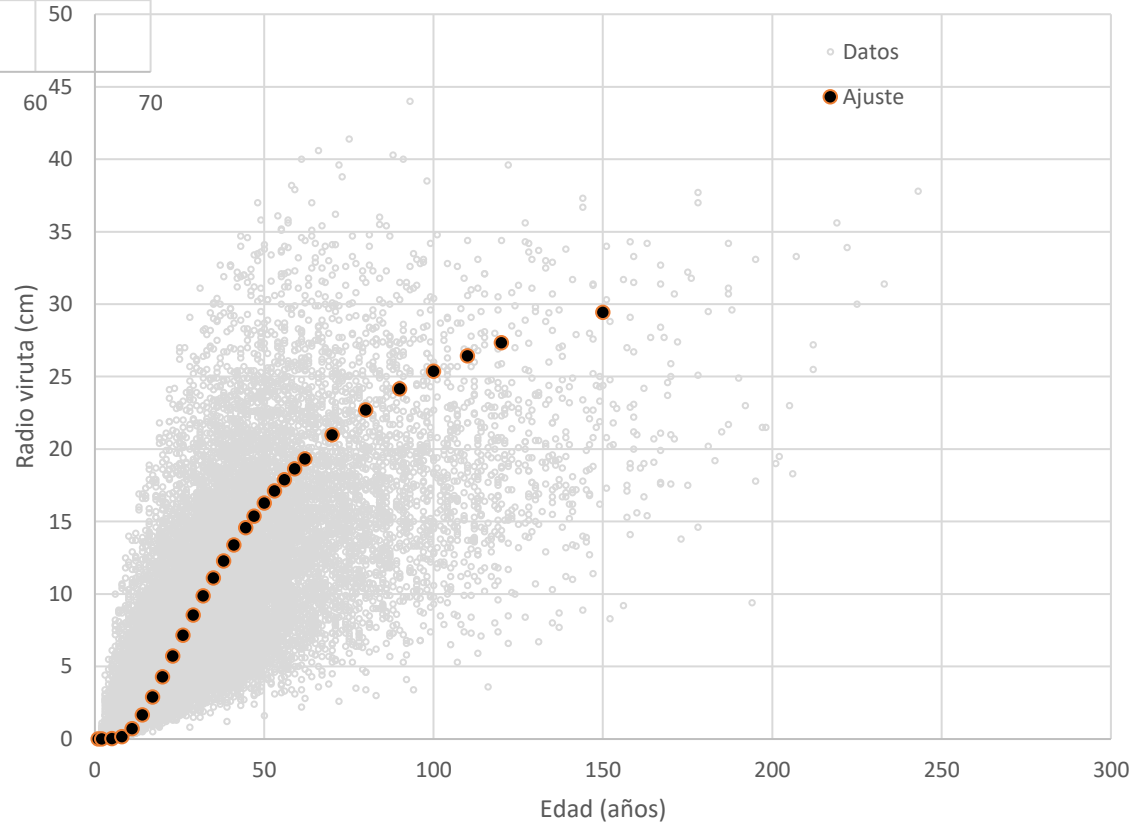
Resultados Inventario Estratégico (2004)

Variable de Interés	Valor Estimado
Area Basal Total m ² /ha	21.3
Volumen Fuste Total Árbol m ³ /ha	233.8



Estimando el turno

$$D = \beta_0 \times \exp\left(\frac{-\beta_1}{Edad}\right)$$



Parámetro	Valor Estimado
β_0	39.6
β_1	44.51788

Inventario Total en San Pedro (Estratégico)

Superficie en ha	24,568.83
Inventario RTA-SiCodSi	6,723,667
Inventario RTA-SiBiFor	6,663,386

Incremento y Posibilidad (Virutas de incremento)

% de incremento (TP)	Modelo de IAB
140,999 m ³ /año	137,535 m ³ /año
5.7 m ³ /ha/año	5.6 m ³ /ha/año

El potencial de San Pedro el Alto (2018)

	Inventario VTA m ³
Plan de manejo 2006-2016	5,744,192
Plan de manejo 2016-2026	7,302,609

Plan de manejo 2026-2036 ¿ 8,161,026 ?

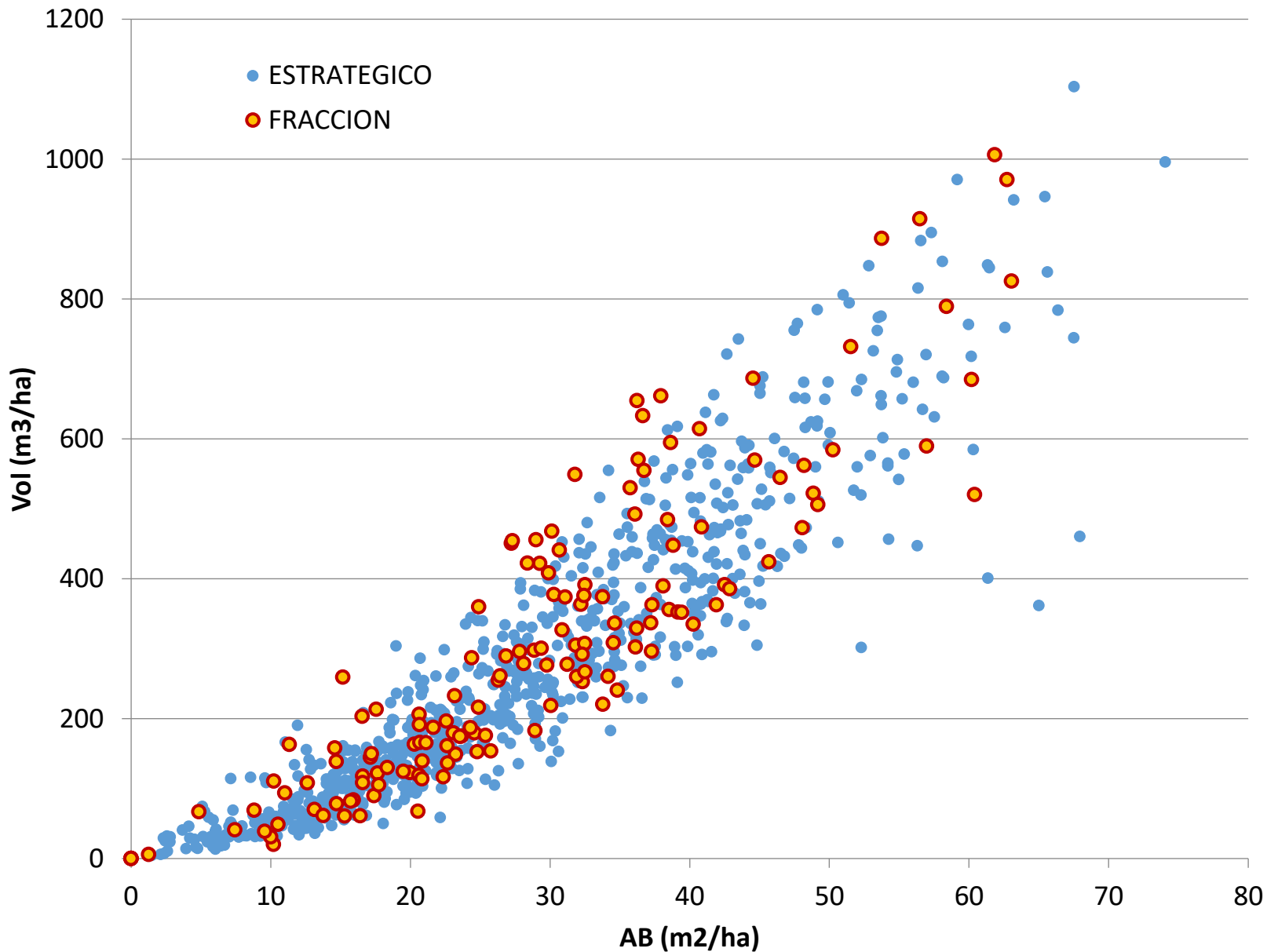
Incremento del Inventario después de la cosecha m ³	2,058,417
Incremento medio estimado por m ³ /ha/año	8.38
Posibilidad Potencial anual m ³	205,842

Posibilidad PM 2016-2026 137,535

Sitios de remediación (2014)



Sitios de remediación



Incremento y Posibilidad (remediciones 2022)





Incremento y Posibilidad (remediciones) 2014-2022

59/110

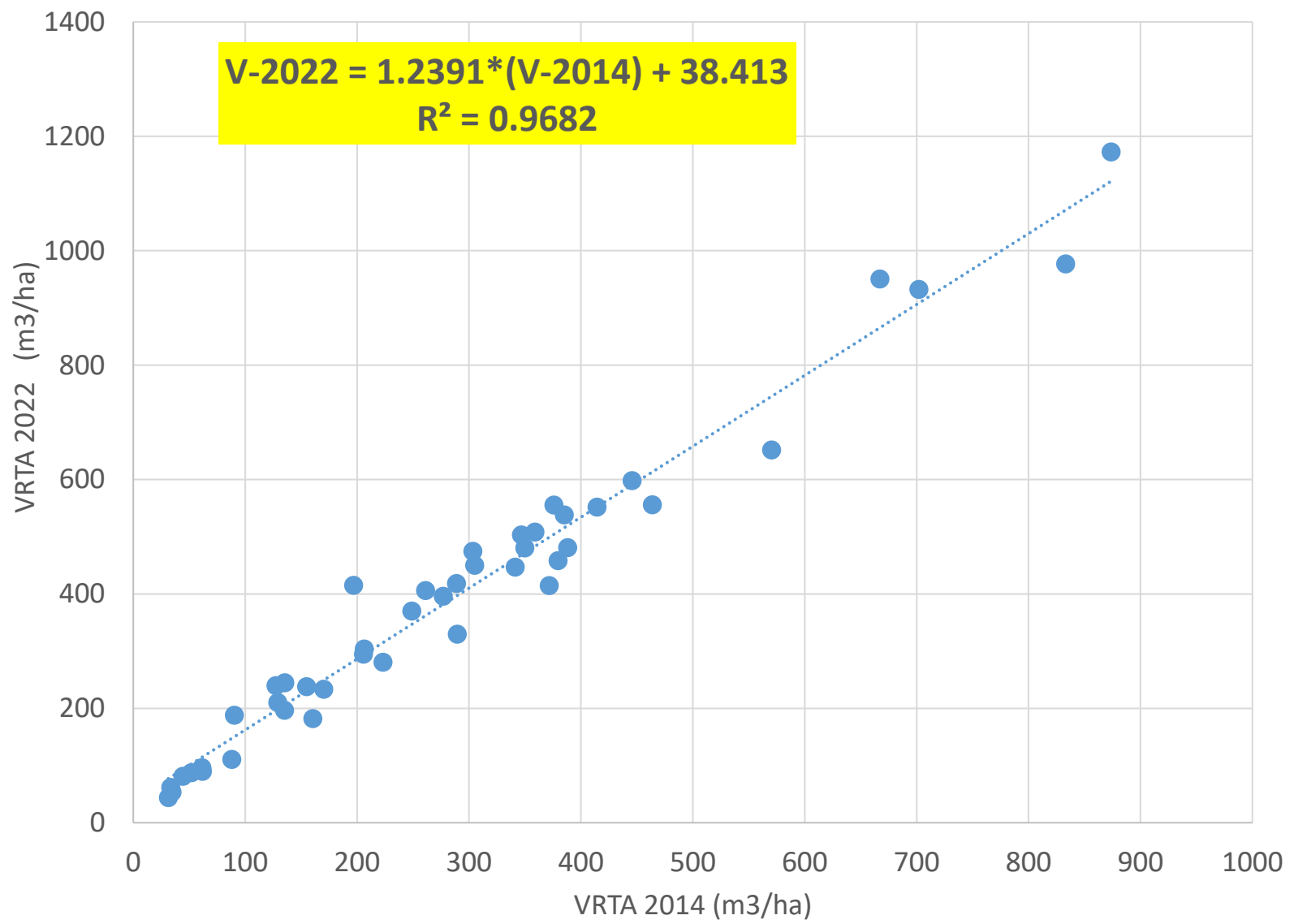
Sitio 660

2014

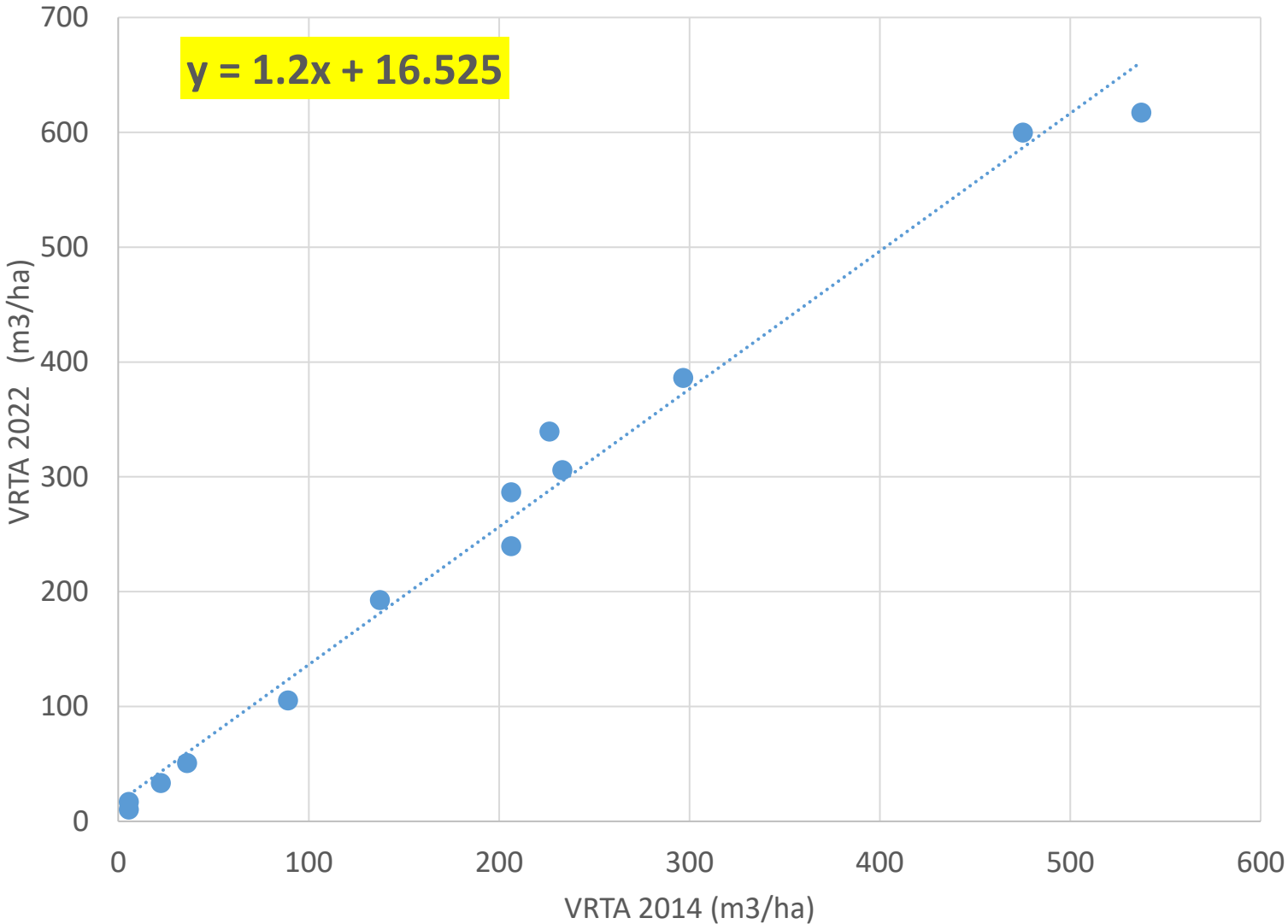
2022

AB-1 (m2/ha)	N-1 (arboles/ha)	V-1 (m3/ha)	AB-2 (m2/ha)	N-2 (arboles/ha)	V-2 (m3/ha)	Incremento (m3/ha)	Anualizado (m3/ha/año)
27.1	580	196.9	40.3	570	415.4	218.5	27.3

Sitios sin cosecha (44)



Sitios con cosecha (15)



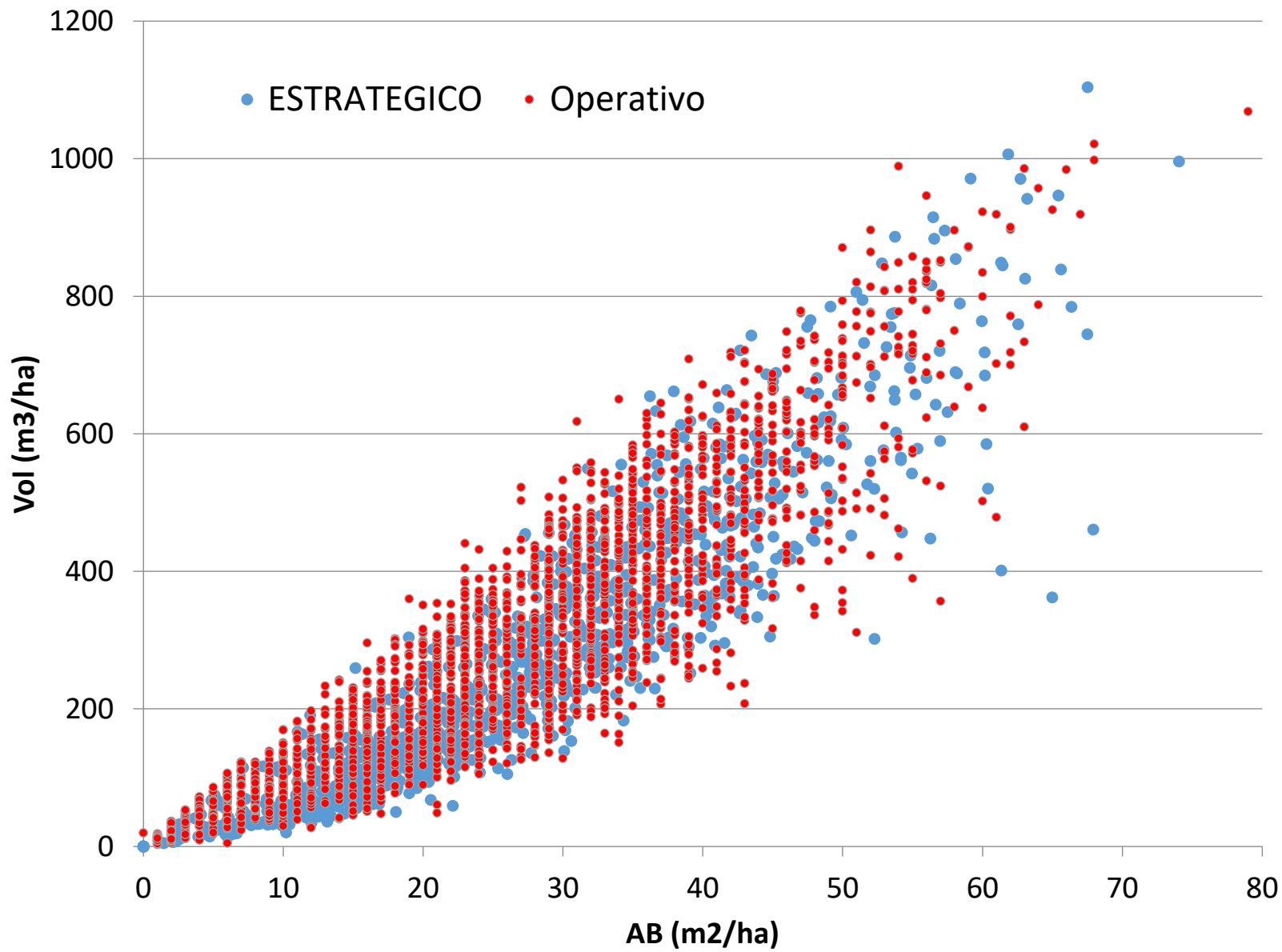
RTA 2015 m3/ha	Estimador	RTA 2022 m3/ha	Incremento Medio RTA m3/ha	ICA m3/ha/año 2014-2022	Posibilidad VRTA (m3)	Posibilidad VRTA (m3)
273	Razón (B)	384.4	111.4	13.9	342,502	318,905
	Razón (SC)	375.0	102.0	12.7	344,917	313,561
	Regresión	376.7	103.7	13.0	376,753	350,796

¿Y el inventario Operativo Apá?

Inventario a nivel de rodal en la zona definida por la comunidad

Diseño aleatorio estratificado con sitios de dimensiones variables
(Relascopeo) **factor de área basal 2 (3,303 puntos de inventario)**

Incluye una red complementaria de sitios de área basal como **fase auxiliar**
para mejorar la estimación específica de los rodales
(5,723 puntos de conteo de área basal por especie)



Resultados Inventario Operativo (2014)

Variable de Interés	Valor Estimado	Error de muestreo al 95% de confiabilidad
Area Basal Total m ² /ha	25.8	1.4%
Volumen Total Árbol m ³ /ha	310.7	1.7%
Numero de Arboles por ha	469	1.6%
Volumen Total Árbol m³/ha (Est)	301.03	4.68%

Superficie en ha	10,235
Inventario VTA	3,180,577

¿Y la fase auxiliar Apá?

¿Y la fase auxiliar Apá?

¿Y la fase auxiliar Apá?

¿Qué le hizo a la fase auxiliar Apá?

Incluye una red complementaria de sitios de área basal como fase auxiliar para mejorar la estimación específica de los rodales
(5,723 puntos de conteo de área basal por especie)

¡Mejorar la estimación a nivel de UMM!

Fase Principal		
ESPECIE	AREA BASAL (m2/ha)	VOLUMEN (m3/ha)
<i>Pinus patula</i>	12	130.8
<i>P. pseudostrobus</i>	15	157.5
Quercus 1	7	59.5
Quercus 2	1	8.6
Total	35	356.4

Fase Auxiliar		
ESPECIE	AREA BASAL (m2/ha)	VOLUMEN (m3/ha)
<i>Pinus patula</i>	13	141.7
<i>P. pseudostrobus</i>	14	147
Quercus 1	6	51
Quercus 2	4	34.4
<i>P. teocote</i>	2	21.8
<i>Arbutus sp</i>	2	17.2
Total	41	413.1

¿Y la distribución de productos?

Producto	Definición
Primarios	Hasta 30 cm cc
Secundarios	Menos de 30 hasta 15 cm cc
Leña	Menos de 15 hasta 10 cm cc
Desperdicio	Menos de 10 cm cc

Funciones compatibles de volumen-ahusamiento

$$v = c_1^2 h^{k/b_1} \left(b_1 r_0 + (I_1 + I_2)(b_2 - b_1)r_1 + I_2(b_3 - b_2)\alpha_1 r_2 - \beta(1-q)^{k/\beta} \alpha_1^{I_1+I_2} \alpha_2^{I_2} \right)$$

$$d = c_1 \sqrt{h^{(k-b_1)/b_1} (1-q)^{(k-\beta)/\beta} \alpha_1^{I_1+I_2} \alpha_2^{I_2}}$$

$$c_1 = \sqrt{\frac{a_0 D^{a_1} H^{a_2 - k/b_1}}{b_1(r_0 - r_1) + b_2(r_1 - \alpha_1 r_2) + b_3 \alpha_1 r_2}};$$

$$\beta = b_1^{1-(I_1+I_2)} b_2^{I_1} b_3^{I_2}; \quad \alpha_1 = (1-p_1)^{\frac{(b_2-b_1)k}{b_1 b_2}}; \quad \alpha_2 = (1-p_2)^{\frac{(b_3-b_2)k}{b_2 b_3}};$$

$$r_0 = (1 - h_{st}/h)^{k/b_1}; \quad r_1 = (1-p_1)^{k/b_1}; \quad r_2 = (1-p_2)^{k/b_2}$$

$$\begin{cases} I_1 = 1 \text{ if } p_1 \leq q \leq p_2; 0 \text{ en caso contrario} \end{cases}$$

$$\begin{cases} I_2 = 1 \text{ if } p_2 < q \leq 1; 0 \text{ en caso contrario} \end{cases}$$

¿Y la distribución de productos?

Para pinos

Producto	Proporción	Proporción Acumulada
Primarios	69.7%	69.7%
Secundarios	23.4%	93.1%
Leña	4.3%	97.4%
Desperdicio	2.0%	

Para encinos

Producto	Proporción	Proporción Acumulada
Primarios	45.6%	45.6%
Secundarios	35.1%	80.7%
Leña	11.2%	91.9%
Desperdicio	7.6%	

Catálogo de Productos

Producto	Descripción	Precio de Venta
2.62 Ase	Primarios de 2.62 Mts. de longitud para aserrio	\$ 1,815.00/M3
2.55 Ase	Primarios de 2.55 Mts. de longitud para aserrio	\$ 1,815.00/M3
3.05 Ase	Primario de 3.05 Mts de longitud para aserrio	\$ 1,815.00/M3
5.12 Ase	Primarios de 5.12 Mts. de longitud para aserrio	\$ 1,815.00/M3
6.15 Prim	Primarios de 6.15 Mts. de longitud para aserrio	\$ 1,815.00/M3
7.40 Ase	Primarios de 7.40 Mts. de longitud para aserrio	\$ 1,815.00/M3
2.62 Sec	Secundarios de 2.62 Mts. de longitud para aserrio	\$ 1,380.00/M3
2.55 Sec	Secundarios de 2.55 Mts. de longitud para Aserrio	\$ 1,380.00/M3
3.05 Sec	Secundario de 3.05 Mts de Longitud para aserrio	\$ 1,380.00/M3
5.12Sec	Secundarios de 5.12 Mts. de longitud para Aserrio	\$ 1,380.00/M3
6.15 Sec	Secundarios de 6.15 Mts. de longitud para aserrio	\$ 1,380.00/M3
2.62 Ter	Terciario de 2.62 Mts. de longitud para aserrio.	\$ 970.00/M3
2.55 Ter	Terciario de 2.55 mts. de longitud para aserrio	\$ 970.00/M3
1.25 Ase	Secundarios de 1.25 Mts. de longitud para aserrio	\$ 900.00/M3
1.25 Cel	Secundarios de 1.25 Mts. de longitud para celulosa	\$ 800.00/M3

Valor estimado 2018 por ha (pinos)

Producto	Volumen m ³ /ha	Valor/ha (Precio Venta)	Valor/ha (Precio venta en pie)
Primarios	156.6	\$ 284,181	\$ 203,546
Secundarios	52.7	\$ 61,867	\$ 50,020
Leña	9.6	\$ 7,716	\$ 3,858
Desperdicio	4.6		

2023

Producto	Volumen m ³ /ha	Valor/ha (Precio Venta)	Valor/ha (Precio venta en pie)
Primarios	156.6	\$ 299,055	\$ 219,203
Secundarios	52.7	\$ 69,449	\$ 51,600
Leña	9.6	\$ 12,055	\$ 5,787
Desperdicio	4.6		

EVALUANDO PRODUCTIVIDAD

Tabla 2. Modelos base ajustados y su correspondiente formulación GADA

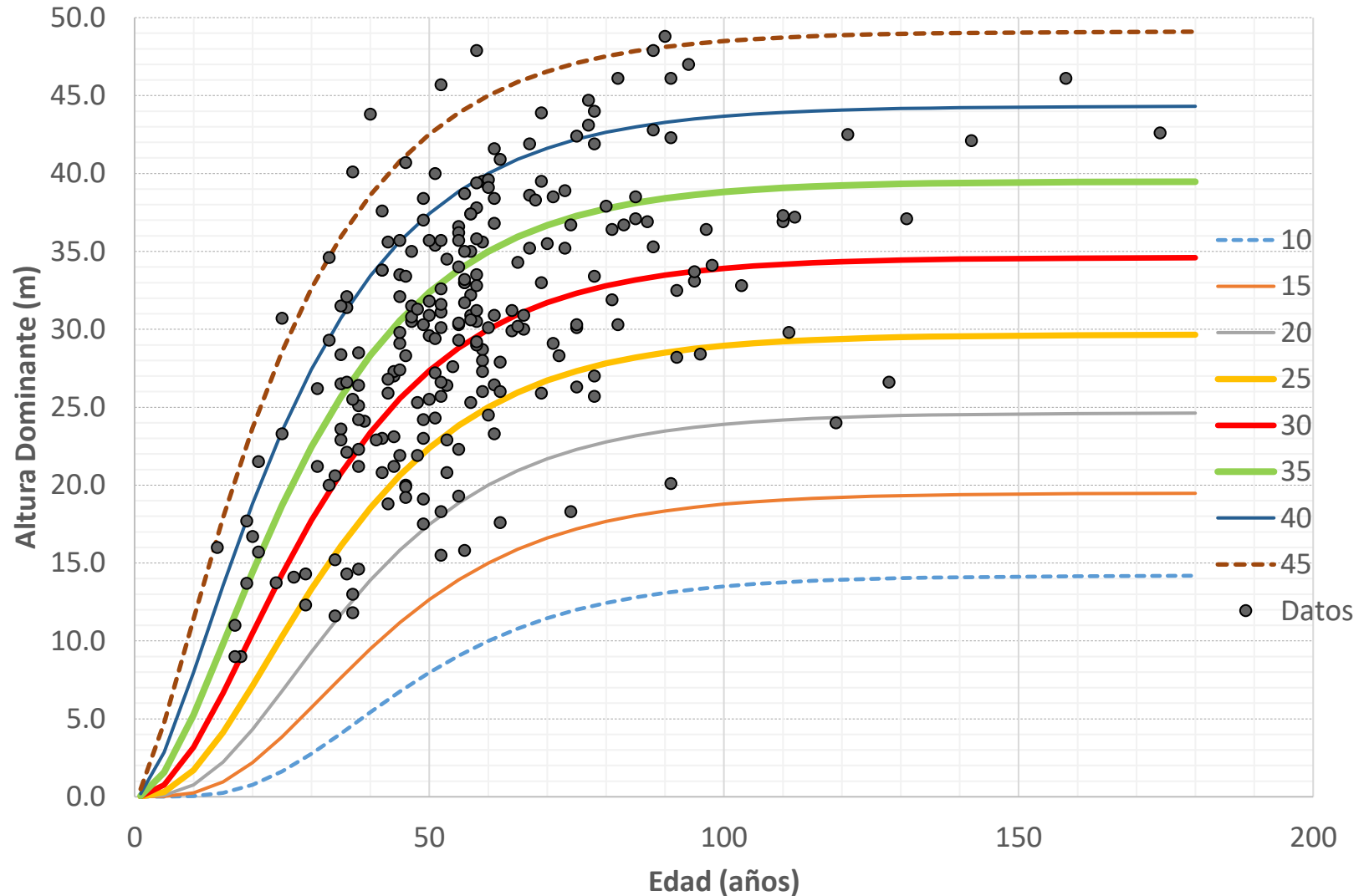
Ecuación base	Parámetros relacionados al sitio	Solución para X con valores iniciales (t_0, Y_0)	Ecuación dinámica
<p>Korf:</p> $Y = a_1 e^{-a_2 t^{a_3}}$	$a_1 = e^X$ $a_2 = (b_1 + b_2) / X$	$X_0 = \frac{1}{2} t_0^{-b_3} \left\{ b_1 + t_0^{-b_3} \ln(Y_0) + \sqrt{4b_2 t_0^{-b_3} + [-b_1 - t_0^{-b_3} \ln(Y_0)]^2} \right\}$	$Y = e^{X_0} e^{-\left(\frac{b_1 + b_2}{X_0}\right) t^{b_3}}$ <p>G1</p>
<p>Hossfeld:</p> $Y = \frac{a_1}{1 + a_2 t^{a_3}}$	$a_1 = b_1 + X$ $a_2 = b_2 / X$	$X_0 = \frac{1}{2} \left[Y_0 - b_1 + \sqrt{(Y_0 - b_1)^2 + 4b_2 Y_0 t_0^{-b_3}} \right]$	$Y = \frac{b_1 + X_0}{1 + b_2 / X_0 t_0^{-b_3}}$ <p>G2</p>
<p>Bertalanffy-Richards:</p> $Y = a_1 \left[1 - e^{-a_2 t} \right]^{a_3}$	$a_1 = e^X$ $a_3 = b_2 + b_3 / X$	$X_0 = \frac{1}{2} \left[\ln Y_0 - b_2 L_0 + \sqrt{(\ln Y_0 - b_2 L_0)^2 - 4b_3 L_0} \right]$ <p>donde: $L_0 = \ln \left[1 - e^{-b_1 t_0} \right]$</p>	$Y = Y_0 \left[\frac{1 - e^{-b_1 t}}{1 - e^{-b_1 t_0}} \right]^{b_2 + b_3 / X_0}$ <p>G3</p>

EVALUANDO PRODUCTIVIDAD

Pinus patula

Promedio	32.7
Moda	33
IA	0.55

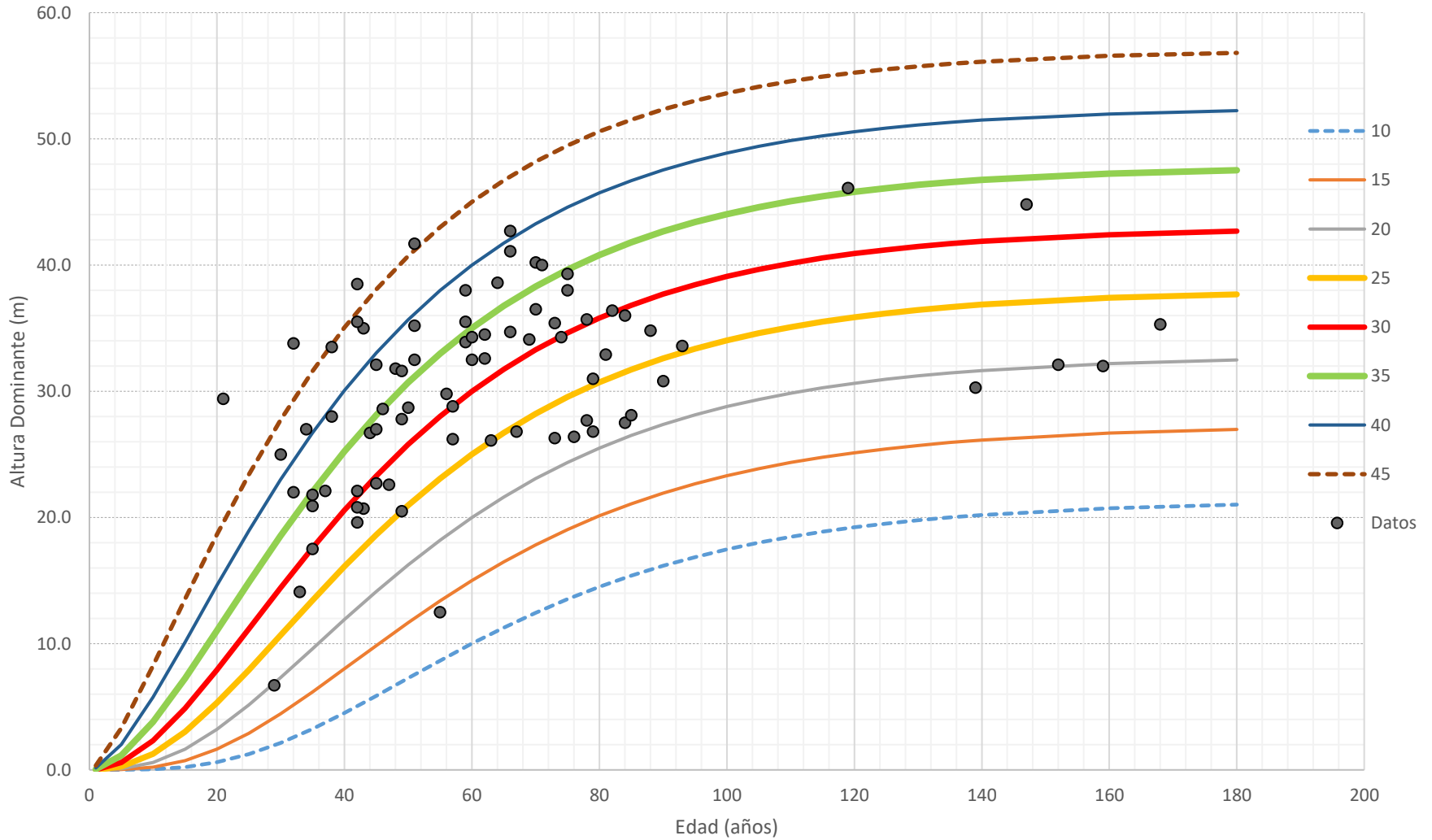
BAJA < 25 m	MEDIA 25 a 35	EXCELENTE >
14%	50%	36%



Pinus pseudostrabus

BAJA < 25 m	MEDIA 25 a 35	EXCELENTE > 35
19%	51%	30%

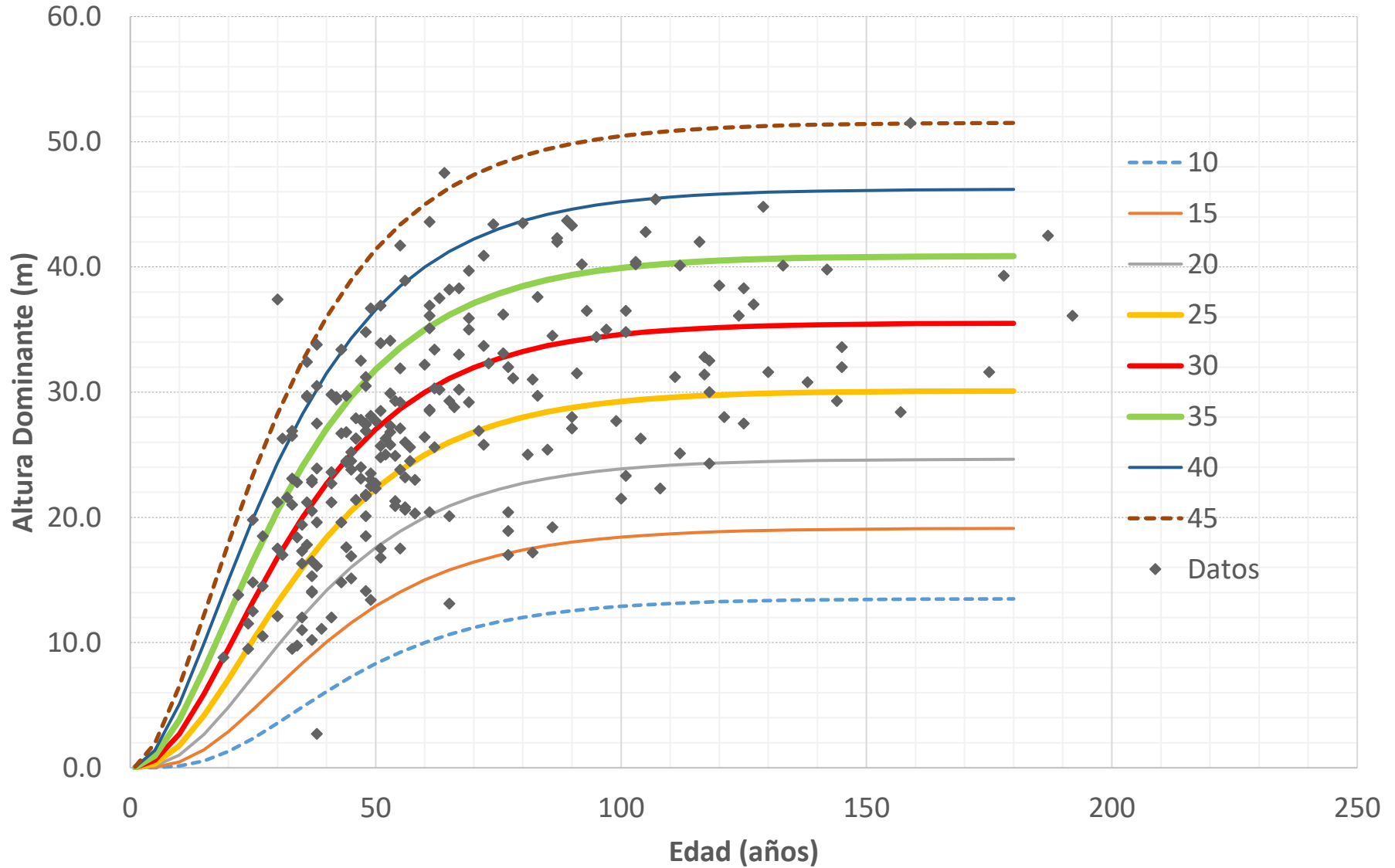
Promedio	33.2
Moda	33
IA	0.55



Pinus douglasiana

BAJA < 25 m	MEDIA 25 a 35	EXCELENTE > 35
27%	51%	22%

Promedio	29.3
Moda	30
IA	0.48





**Diagramas de manejo de densidad para
bosques mezclados de San Pedro el Alto,
Zimatlán, Oaxaca**

Julia Martínez López, Héctor Manuel de los Santos
Posadas, Valentín José Reyes Hernández y Gerónimo
Quiñonez Barraza

http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/10521/4005/1/Martinez_Lopez_J_MC_Ciencias_Forestales_2017.pdf

Índices de densidad relativa

Índice de densidad de Reineke

$$NA = \alpha_0 \times Dq^{\alpha_1}$$

$$IDR = NA \times \left(\frac{D_0}{Dq} \right)^{\alpha_1}$$

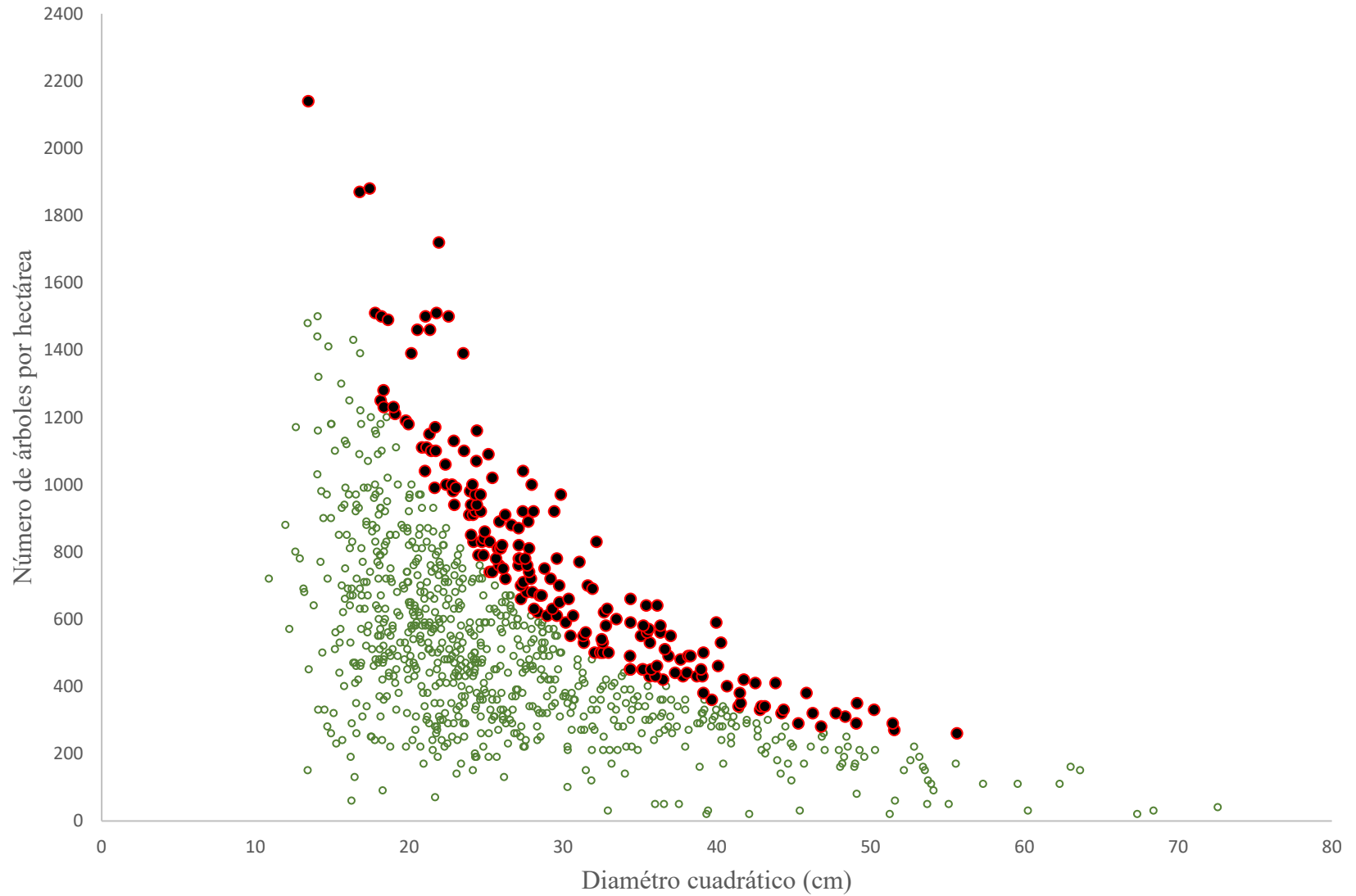
Ley de autoaclareo
(índice de Yoda)

$$Vp = \beta_0 \times NA^{\beta_1}$$

$$IDY = Vp \times \left(\frac{100}{NA} \right)^{\beta_1}$$

Materiales y Métodos

Selección de datos



Materiales y Métodos

Densidad relativa con mezcla de especies

Agrupación de la especies: pinus, quercus, latifoliadas y otras coníferas

Ajuste del modelo de Reineke con MCO

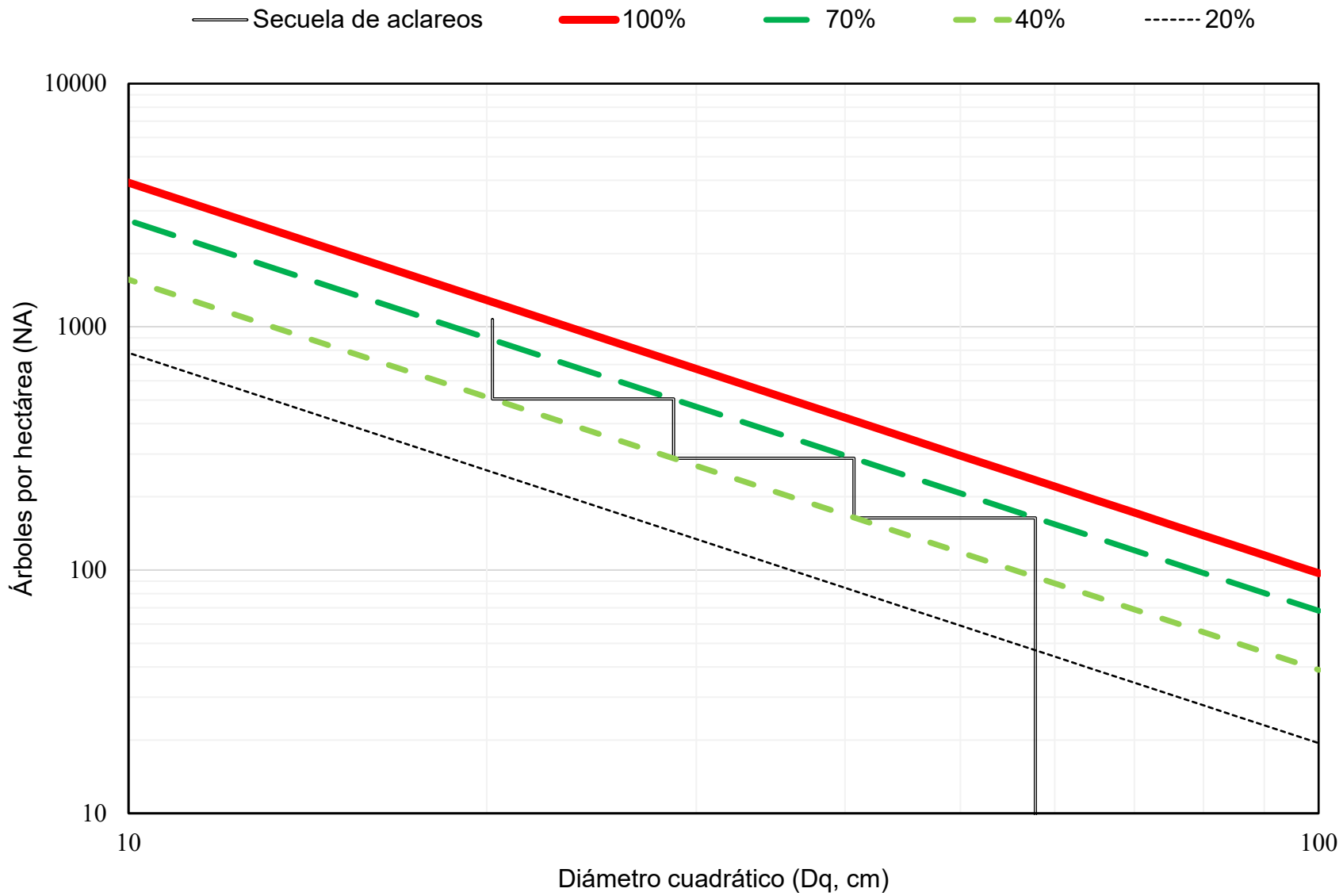
Considerando pendiente constante para cada grupo de especies

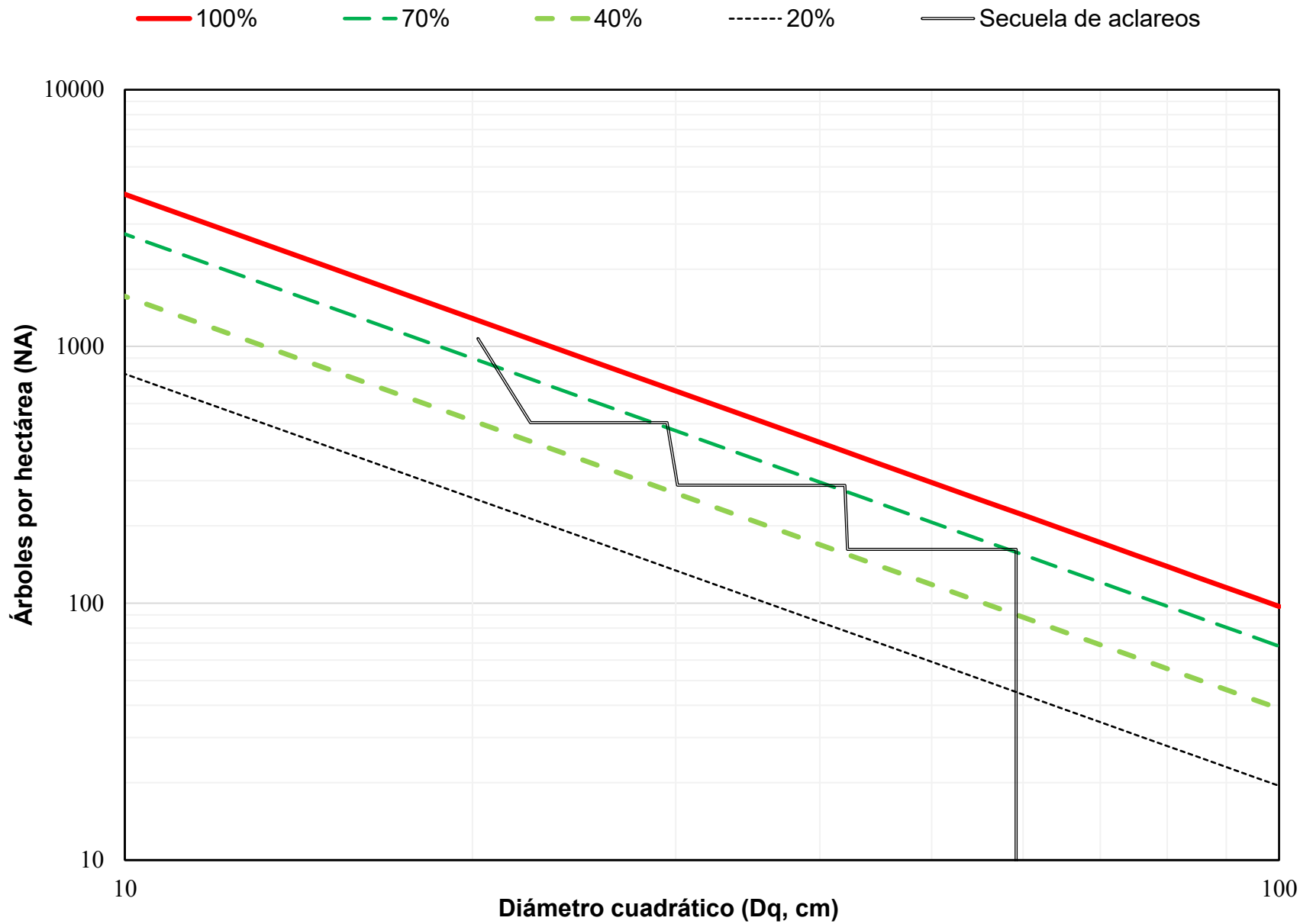
$$\log_{10}(NA) = [(\alpha_1 \times PS_P) + (\alpha_2 \times PS_Q) + (\alpha_3 \times PS_L) + (\alpha_4 \times PS_O)] + \beta \times \log_{10}(Dqw)$$

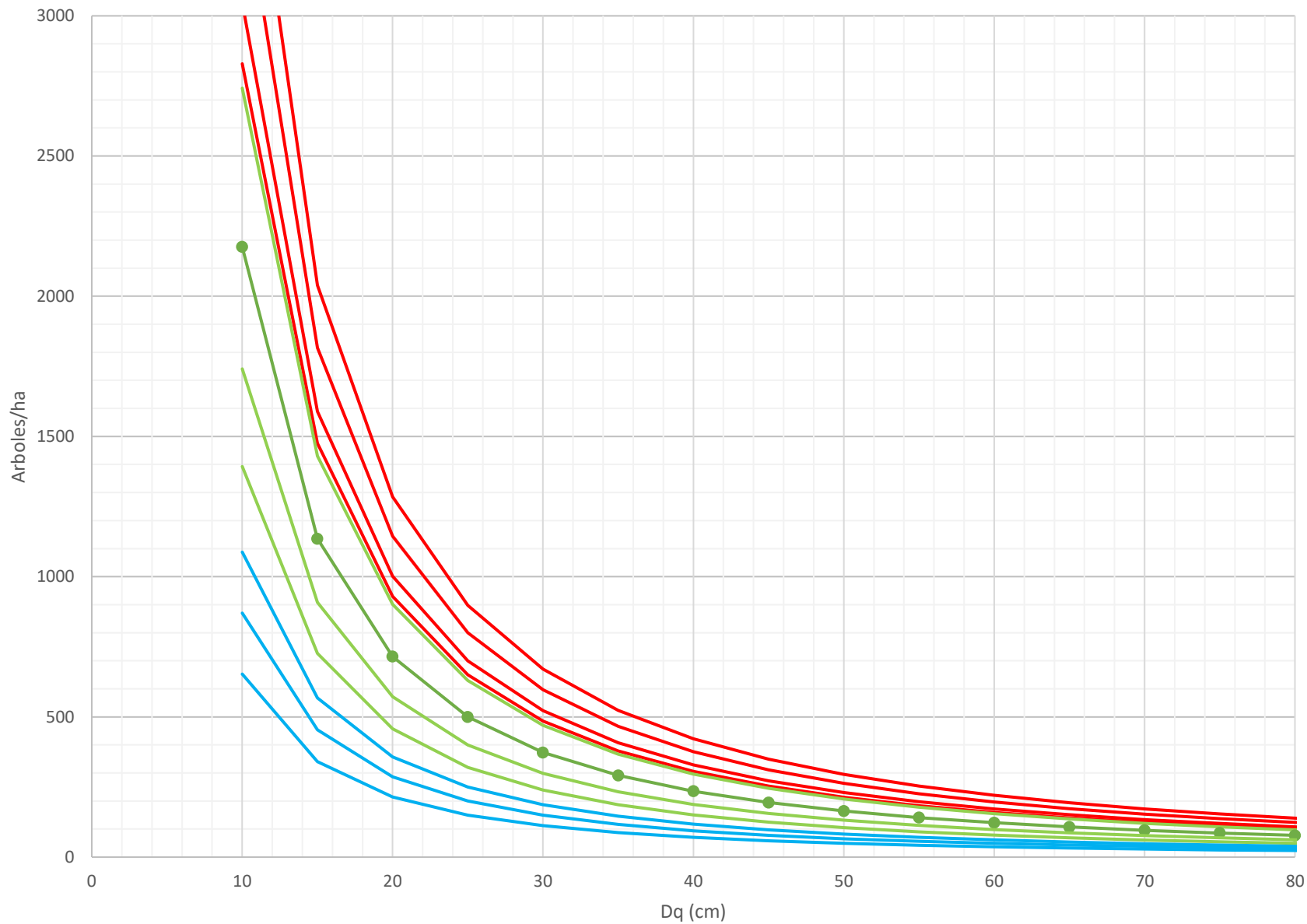
Considerando pendiente variable

$$\log_{10}(NA) = [(\alpha_1 \times PS_P) + (\alpha_2 \times PS_Q) + (\alpha_3 \times PS_L) + (\alpha_4 \times PS_O)] + [(\beta_1 \times PS_P) + (\beta_2 \times PS_Q) + (\beta_3 \times PS_L) + (\beta_4 \times PS_O)] + \log_{10}(Dqw)$$

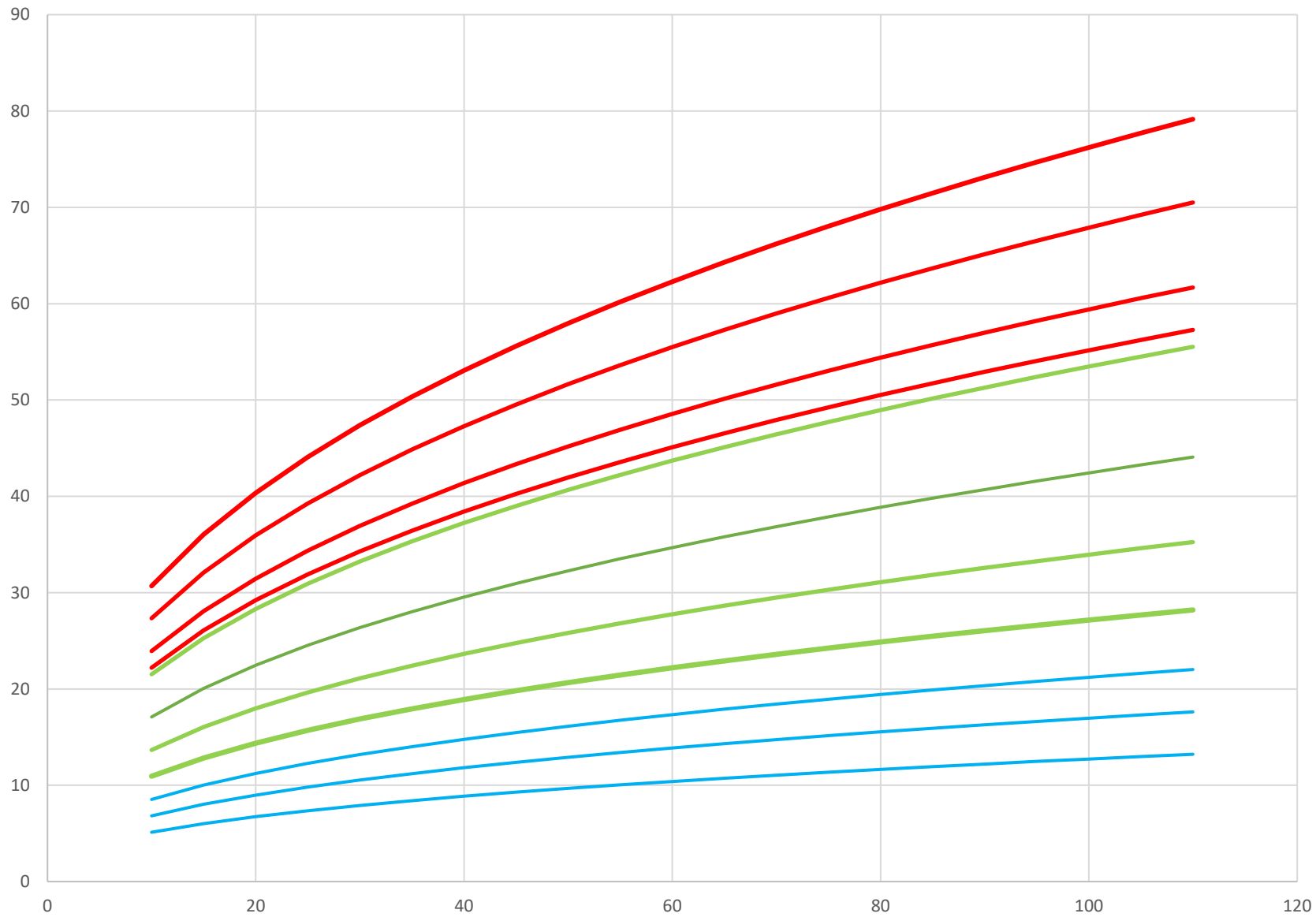
Torres-Rojo y
Velázquez-Martínez
(2000)







900 800 700 650 630 500 400 320 250 200 150



900 800 700 650 600 500 400 300 250 200 150

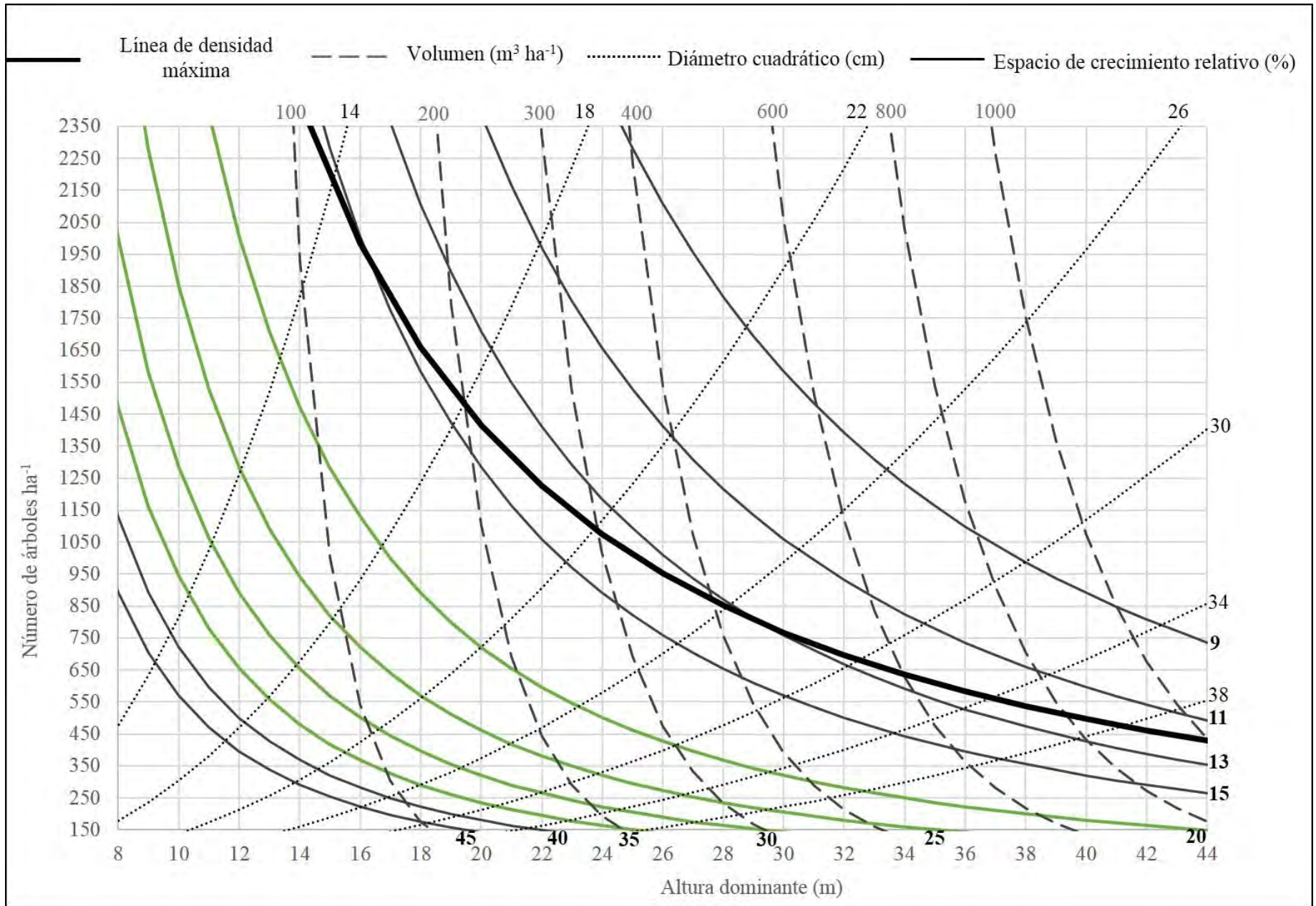
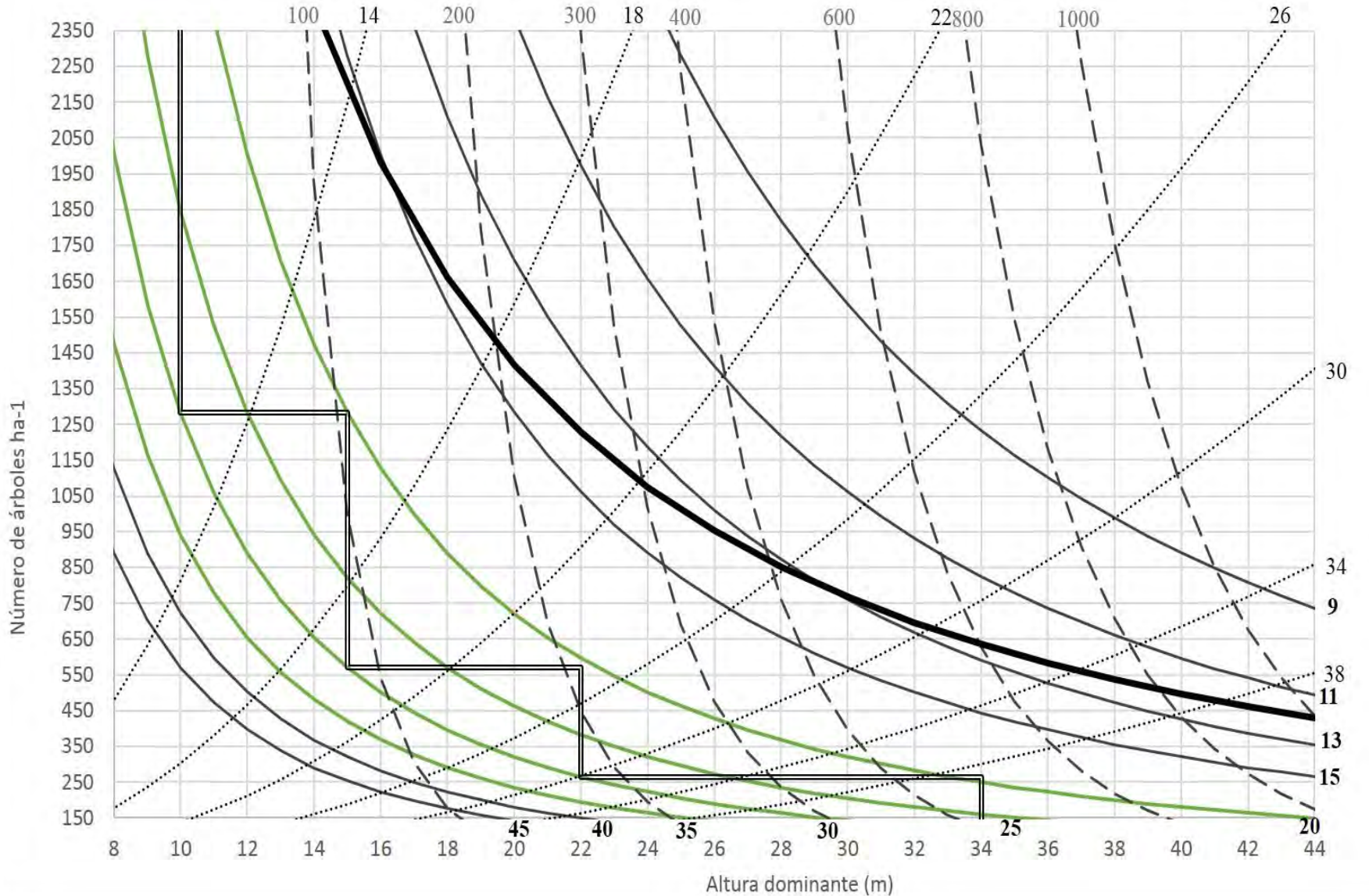


Diagrama de manejo de la densidad para el bosque mezclado con línea de densidad máxima y zonas de crecimiento constante entre el 20 % y 35 % de ER.

Línea de densidad máxima
 Volumen ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)
 Diámetro cuadrático (cm)
 Espacio de crecimiento relativo (%)
 Secuela de aclareo



Manejo Forestal = Gestión Forestal
Sustentable = Razonada y Razonable

Rendimiento Sostenido = ¿?

Sustentabilidad = ¿?

¿Qué mas falta por hacer?

La remediación en el 2024 del inventario estratégico.

Evaluar la efectividad de la fase auxiliar en base a los resultados de los aprovechamientos.

Establecer sitios de remediación en áreas renovadas en los últimos 20 años.

Aprender a usar el SiBiFor

Y lo que se acumule en la semana....

¿DUDAS?

¿PREGUNTAS?



ZONIFICACIÓN FUNCIONAL MULTI-OBJETIVO

ELIZABETH SERRANO RAMÍREZ

TALLER

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



01

INTRODUCCIÓN



recursos naturales estructura
recopilación distribución
potenciales productivos
información zonificación
PMF administración
procesamiento bases de datos
composición



innovación

ordenamiento

colectividad

datos de gran magnitud

zonificación

redes complejas

reconocimiento

condición actual

actividades productivas

ordenamiento

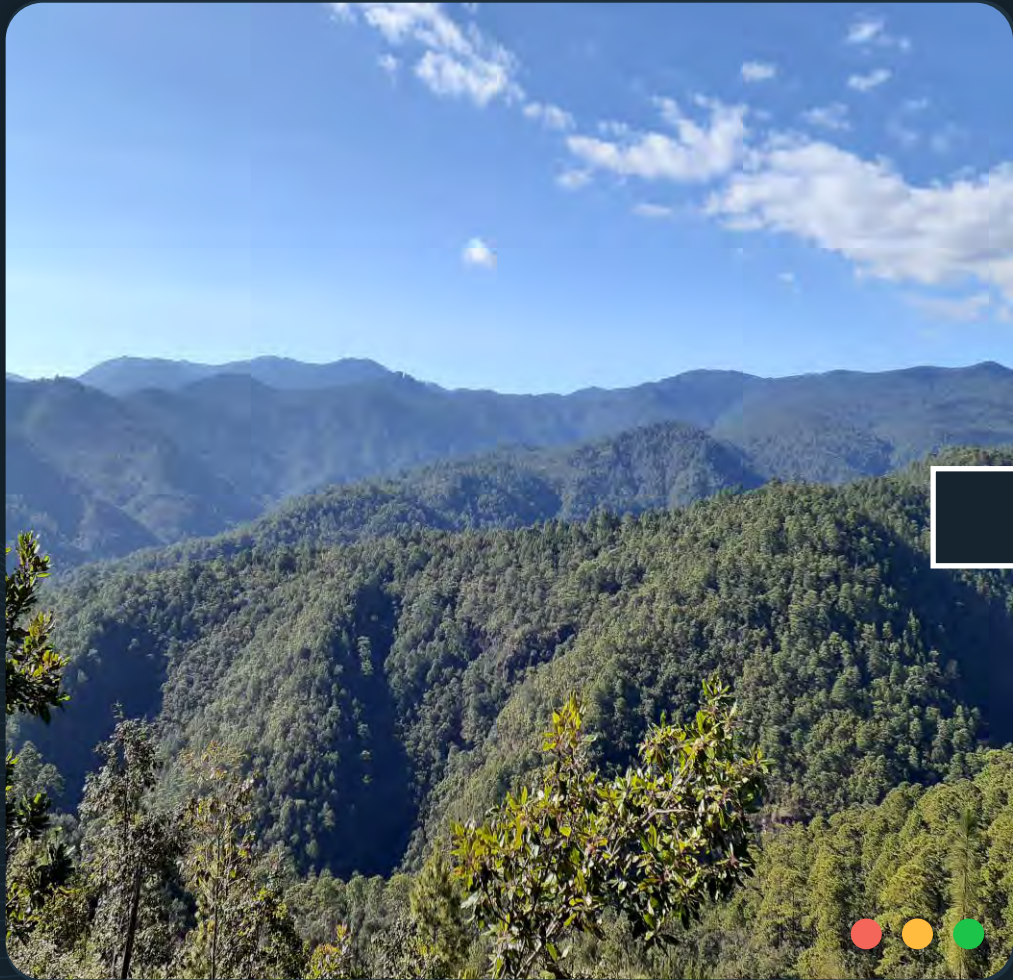
sistemas informáticos

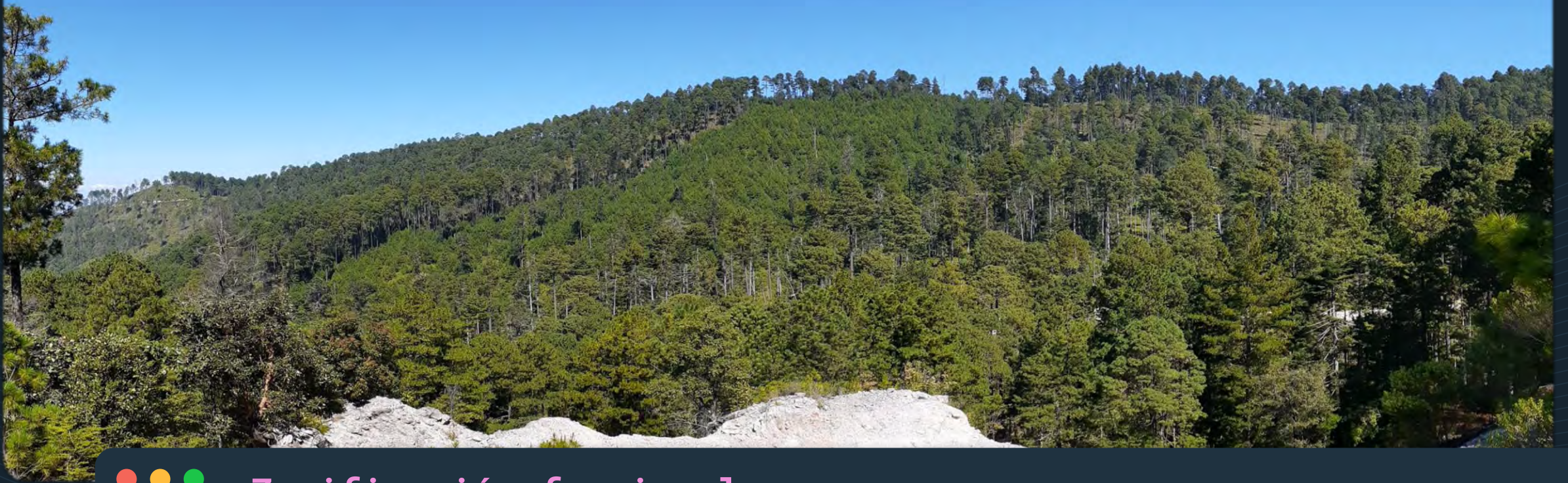
funcionalidad





Teoría de **redes complejas**





Zonificación funcional: proceso mediante el cual se identifican áreas homogéneas a través de la clasificación de las unidades mínimas de manejo en función de sus características ambientales y potencial productivo.



Gestión multi-objetivo:

Una combinación específica de estrategias de manejo de rodales con diferentes objetivos, puede conducir a mayor multifuncionalidad

Métricas de segregación

triángulos

$$T_i = \frac{\# \text{ triángulos existentes}}{\# \text{ triángulos posibles}}$$

clustering

$$C_i = \frac{2T_i}{K_i(K_i - 1)}$$

modularidad

$$Q_i = \frac{1}{2L} \sum_{ij} \left[A_{ij} - \frac{k_i k_j}{2L} \right] \delta(c_i, c_j)$$

donde

$\frac{k_i k_j}{2L}$ = probabilidad de que un enlace entre dos nodos sea proporcional a sus grados

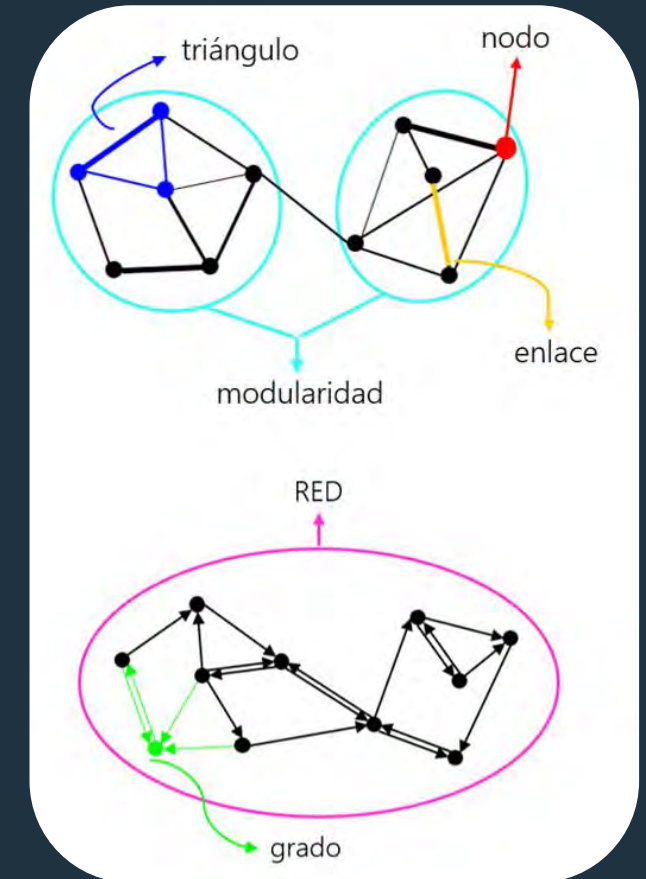
$\delta(c_i, c_j)$ = medida binaria que define si dos nodos son de la misma comunidad

K_i = # de enlaces que conectan al nodo i con el resto de la red

T_i = # de triángulos que pasan por el nodo i

L = número de enlaces en la red

A_{ij} = matriz de adyacencia





02

OBJETIVOS

Objetivos

01

Identificar, a través del enfoque de redes complejas, los patrones de distribución de grupos de rodales con condiciones geográficas, biológicas y productivas similares; dentro de un predio forestal bajo manejo.



Objetivos

02

Proponer un esquema de zonificación funcional, considerando diferentes potenciales productivos del predio y los patrones de distribución identificados previamente por el enfoque de redes complejas.





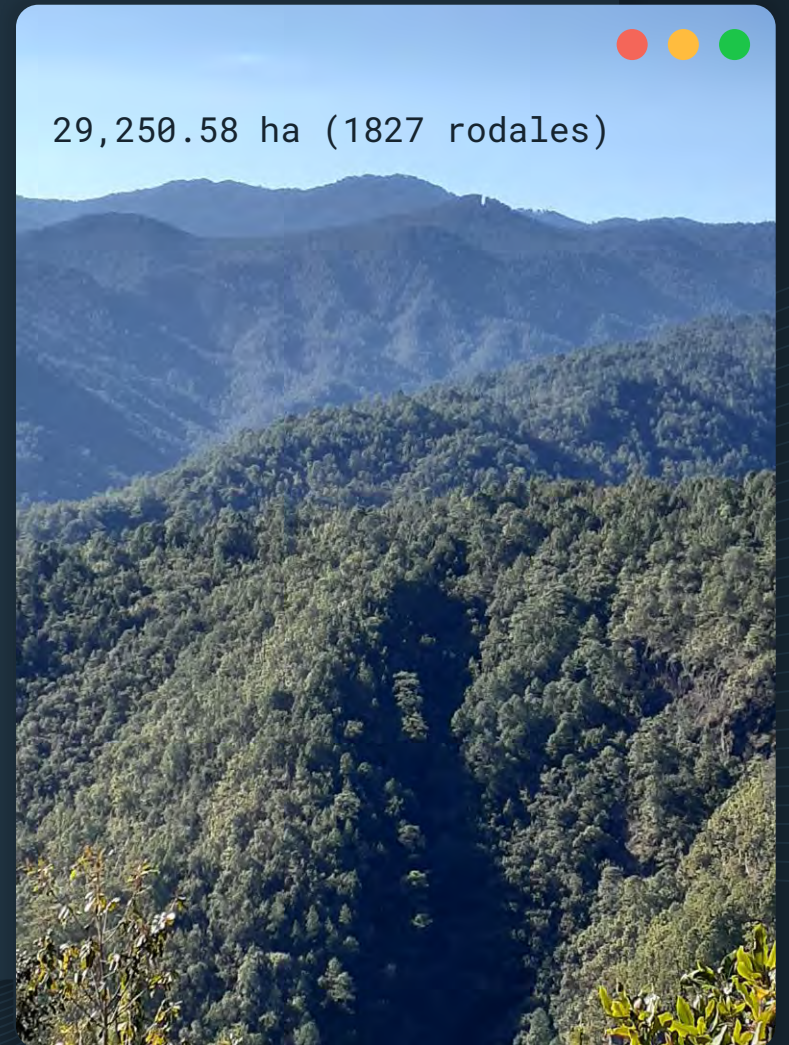
03

METODOLOGÍA

Metodología



Bosque → Sistema
Rodales → Nodos
Enlaces → Similitud



	RED	VARIABLES DESCRIPTORAS
R1	Geofísicos	Área (ha), perímetro (m), uso del suelo, pendiente (%), potencial productivo.
R2	Dasométricos	Volumen disponible (m^3ha^{-1}), DN (cm), IS, edad, AB (m^2ha^{-1}), árboles/ha, IMA ($m^3ha^{-1}year^{-1}$), hábitat.
R3	Volumen maderable	Volumen disponible por género (m^3ha^{-1}).
R4	Proporción por género	Proporción por género del volumen maderable disponible (0 - 1).
R5	-	Conjunción de las variables en las redes R1-R4.

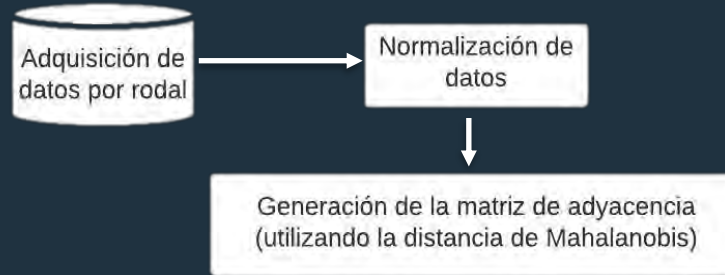
Metodología



ZONAS	CLAVE	CARACTERISTICAS rodales)
CONSERVACIÓN DE BIODIVERSIDAD	CB	Alta diversidad (géneros presentes), de hábitats prioritarios a conservación y distribuidos en pendientes >42 % o de difícil acceso.
RESERVORIOS DE CARBONO	RC	IS medio o alto, con pendientes <42 %, con dominancia de los géneros Pinus, Abies, Quercus y preferentemente en la periferia del predio.
BOSQUE DE BAJA PRODUCTIVIDAD PARA COSECHA EXTENSIVA	BBpE	IS bajo, con pendientes de 29 a 42 % y con dominancia del género Pinus.
BOSQUE DE ALTA PRODUCTIVIDAD PARA COSECHA EXTENSIVA	BApE	IS medio o alto, con pendientes de 15 a 28 % y con dominancia del género Pinus.
BOSQUE DE ALTA PRODUCTIVIDAD PARA COSECHA INTENSIVA	BApI	IS alto, con pendientes de 0 a 14 % y con dominancia del género Pinus.

Metodología

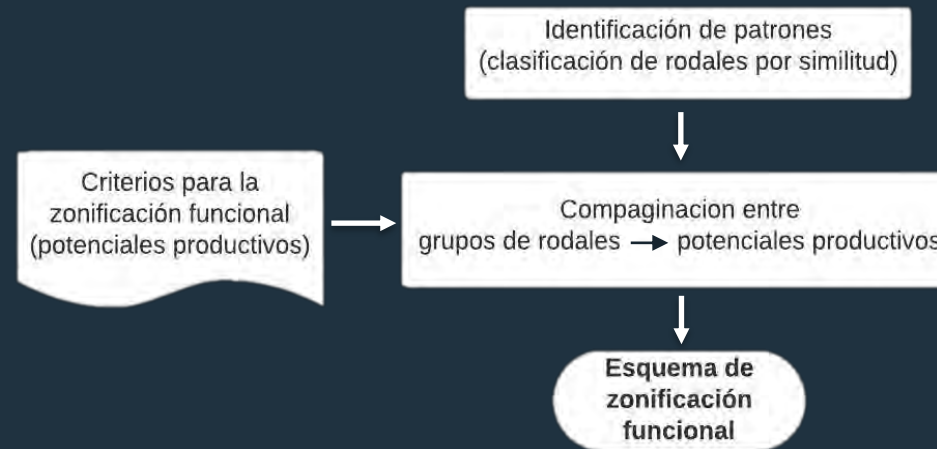
ETAPA 1



ETAPA 2



ETAPA 3



ETAPA 1

DISTANCIA DE MAHALANOBIS

$$Md_{ij} = \frac{1}{k} (Z_{ij}^T C^{-1} Z_{ij}) \quad Z_{ij} = \frac{(X_{ij} - m_i)}{s_i}$$

donde

Z_{ij} = observaciones normalizadas de la i -ésima variable

C^{-1} = inversa de la matriz de correlación

X_{ij} = observaciones de la i -ésima variable

s_i = desviación estandar de la i -ésima variable

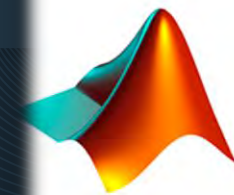
m_i = valor medio de la i -ésima variable

k = número de variables

n = número de nodos



	n_1	n_2	n_3
n_1	0	1	1
n_2	1	0	0
n_3	1	0	0
n_4	1	1	1



MATLAB

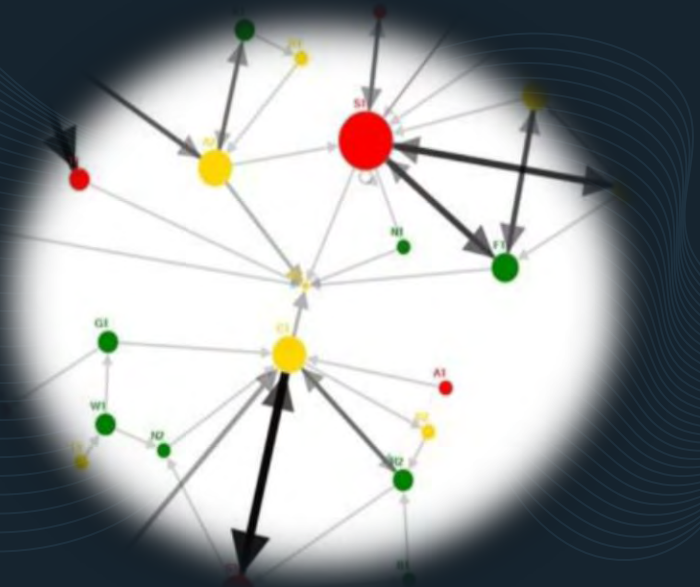
ETAPA 2



Generación de red compleja

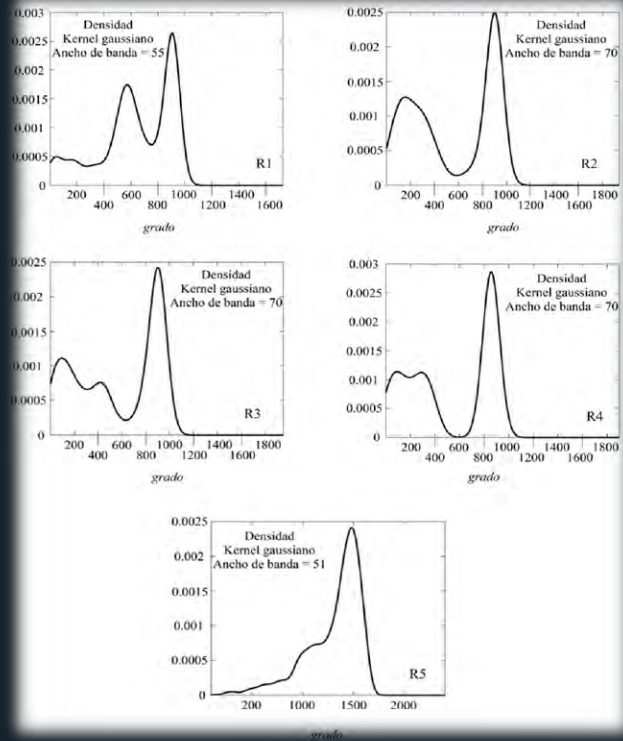


Análisis de la red compleja
(utilizando las métricas de segregación)



Gp Gephi

ETAPA 3

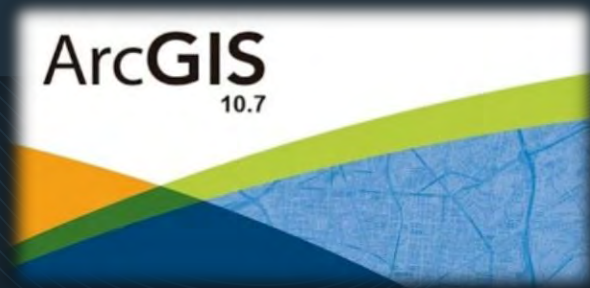
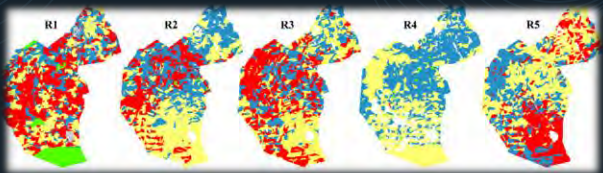
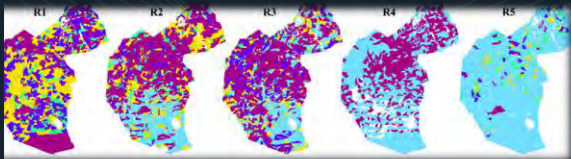


Identificación de patrones (clasificación de rodales por similitud)

Criterios para la zonificación funcional (potenciales productivos)

Compaginacion entre grupos de rodales → potenciales productivos

Esquema de zonificación funcional



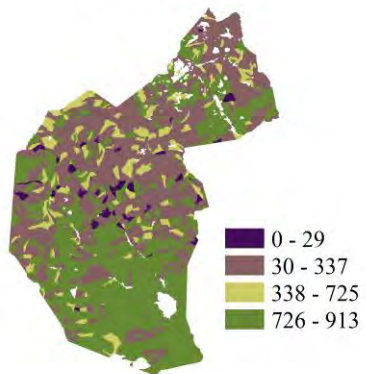


04

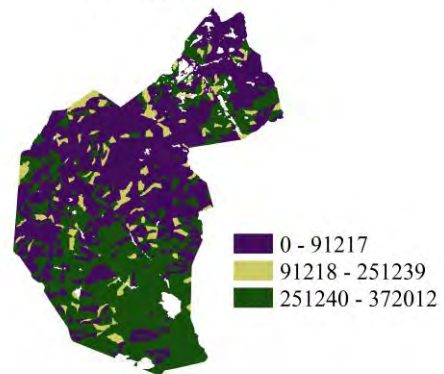
RESULTADOS

R2: datos dasométricos

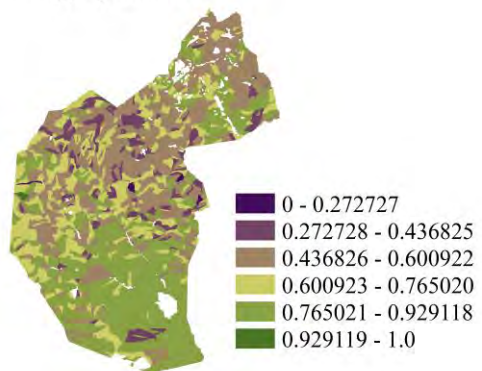
Grado



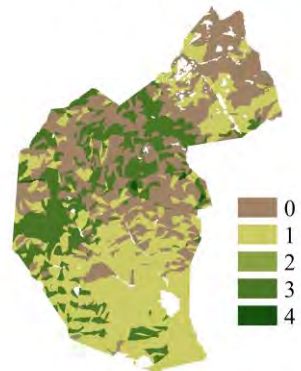
Triángulos



Agrupamiento

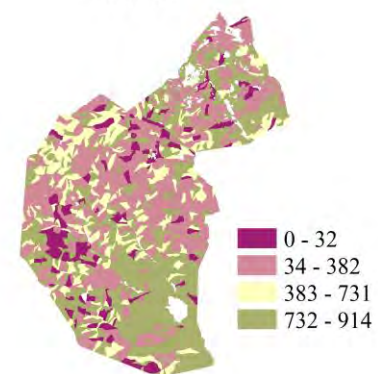


Modularidad

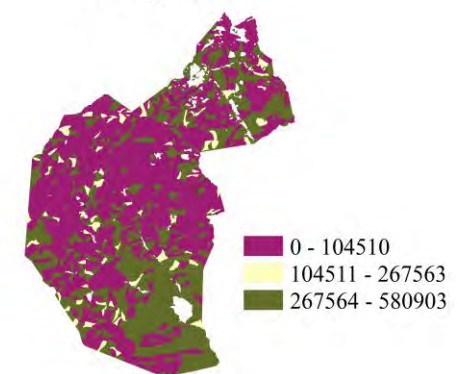


R3: datos biológicos

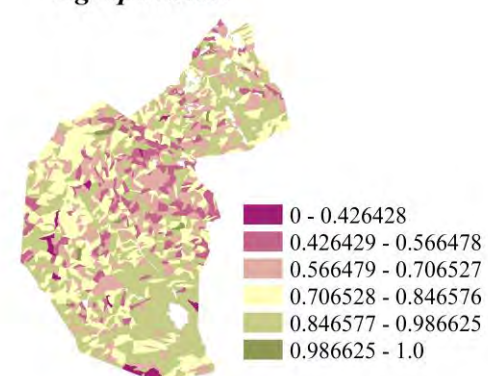
Grado



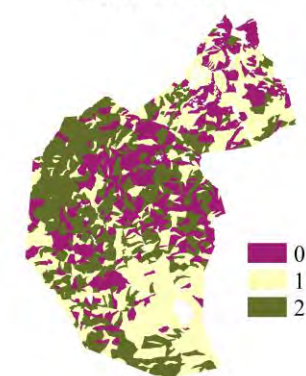
Triángulos



Agrupamiento

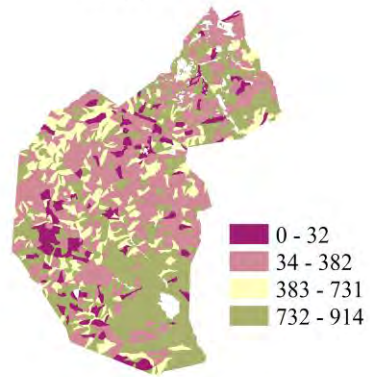


Modularidad

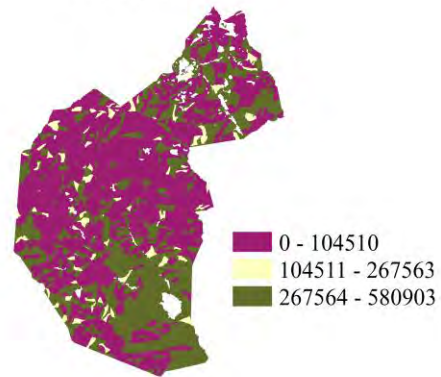


R3: datos biológicos

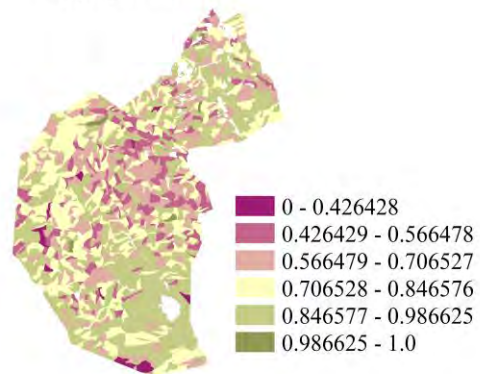
Grado



Triángulos



Agrupamiento

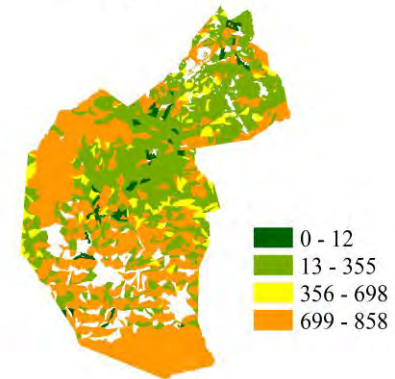


Modularidad

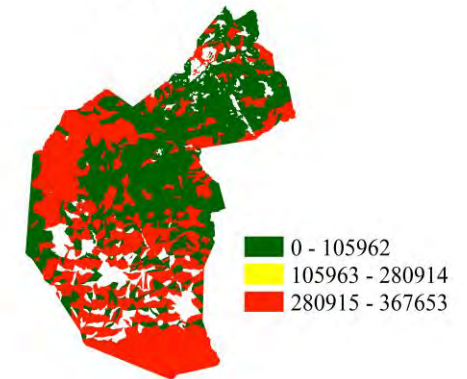


R4: datos de producción

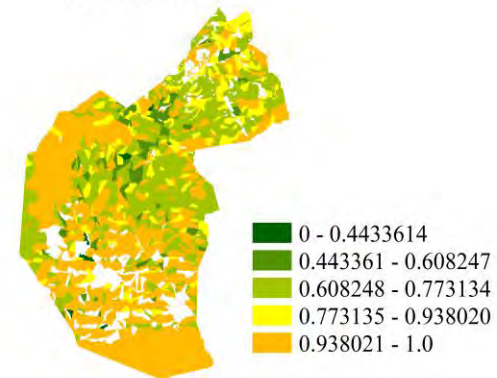
Grado



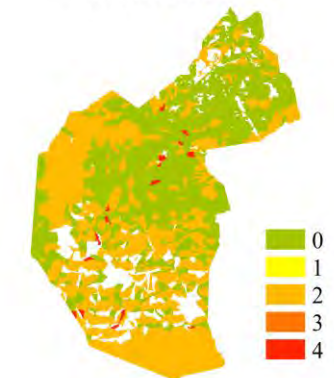
Triángulos



Agrupamiento

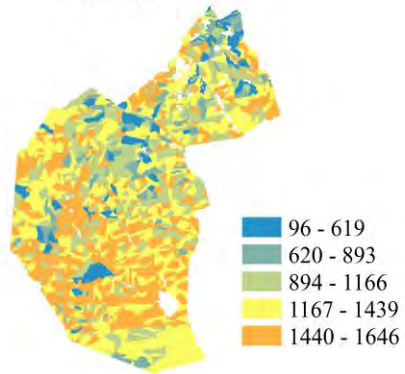


Modularidad

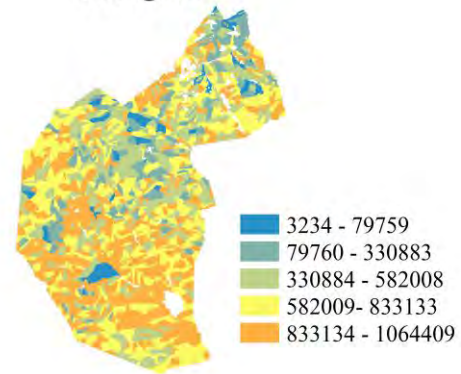


R5: datos geofísicos, dasométricos y de producción

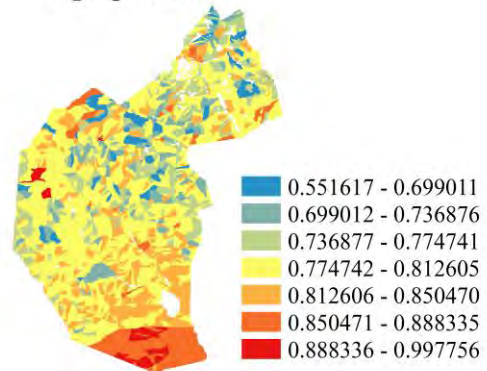
Grado



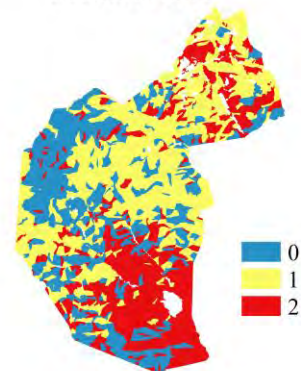
Triángulos



Agrupamiento

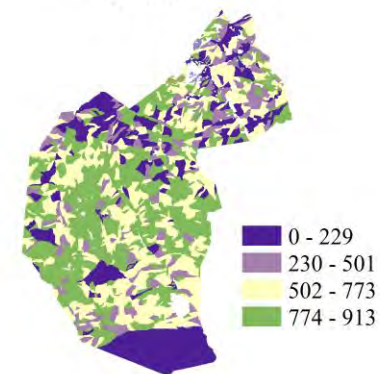


Modularidad

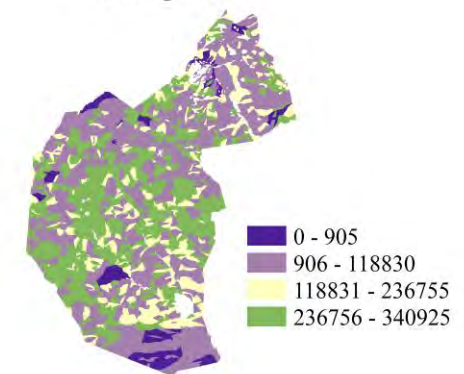


R1: datos geofísicos

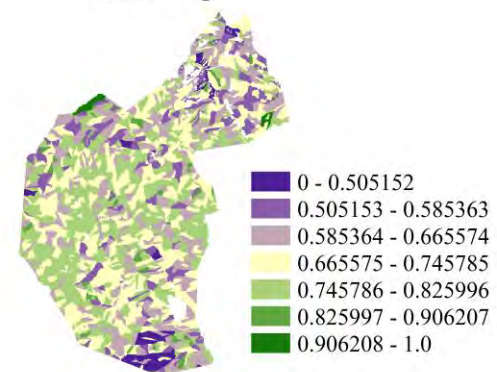
Grado



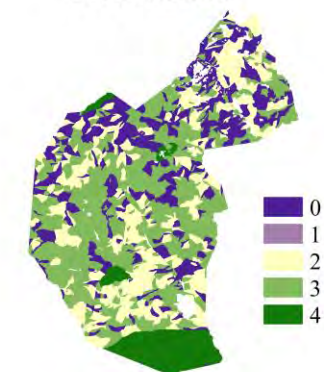
Triángulos



Clustering



Modularidad





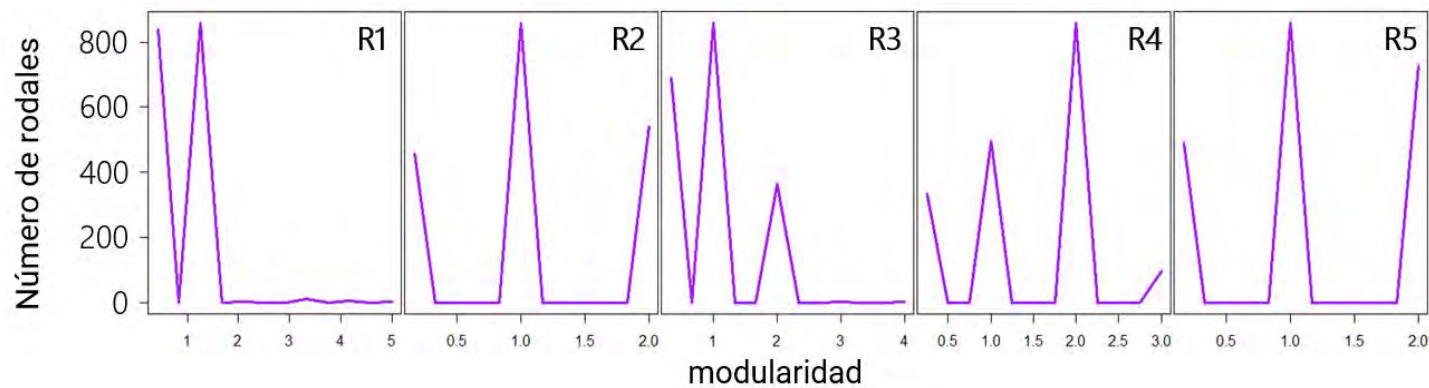
R1

R2

R3

R4

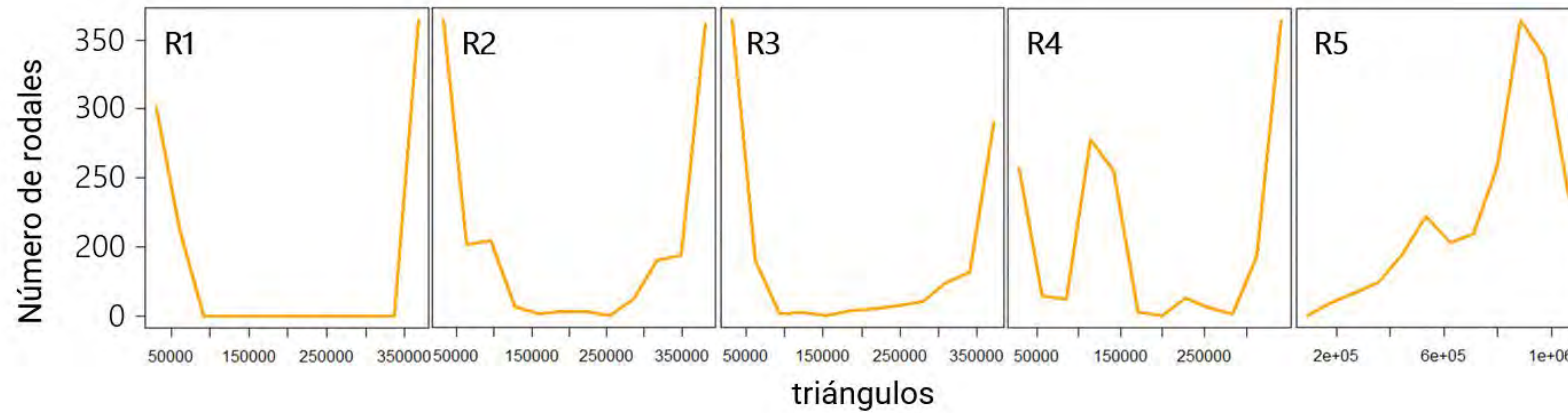
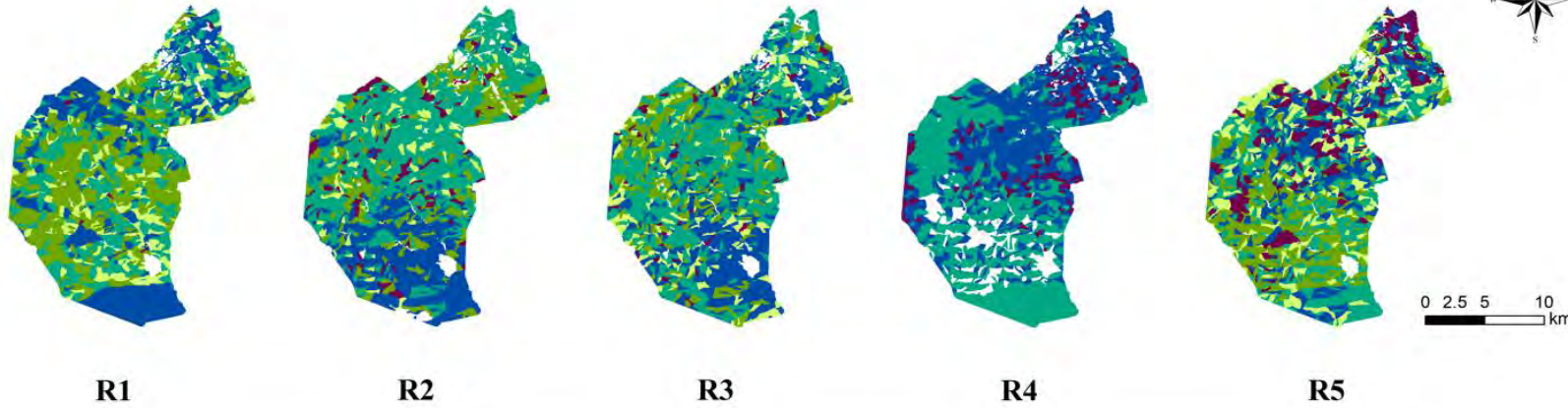
R5



modularidad (Q_i)

	Valor
Mínimo	0
Medio	0.9
Máximo	5

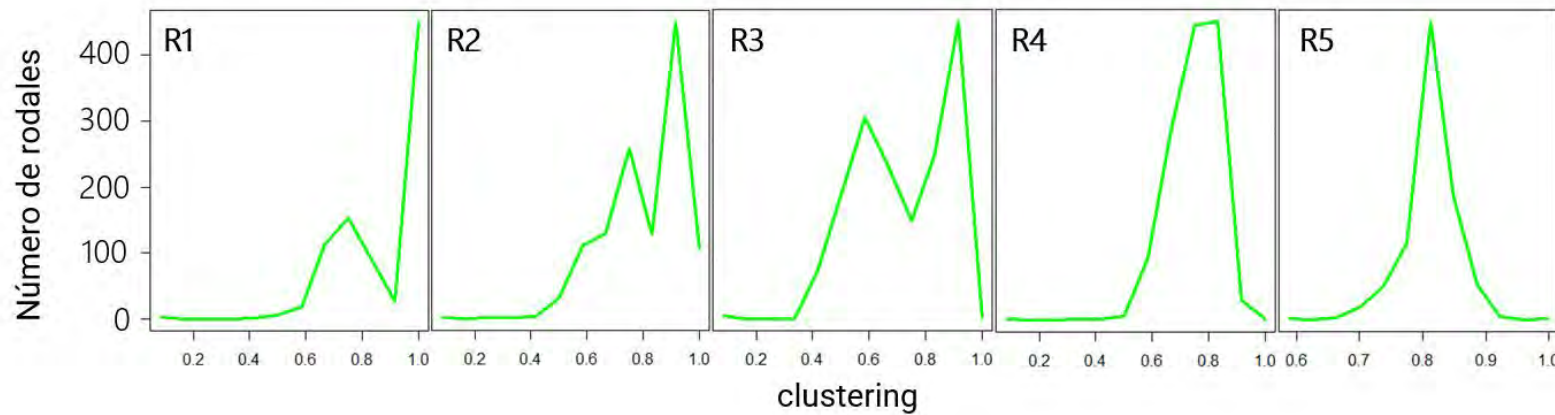
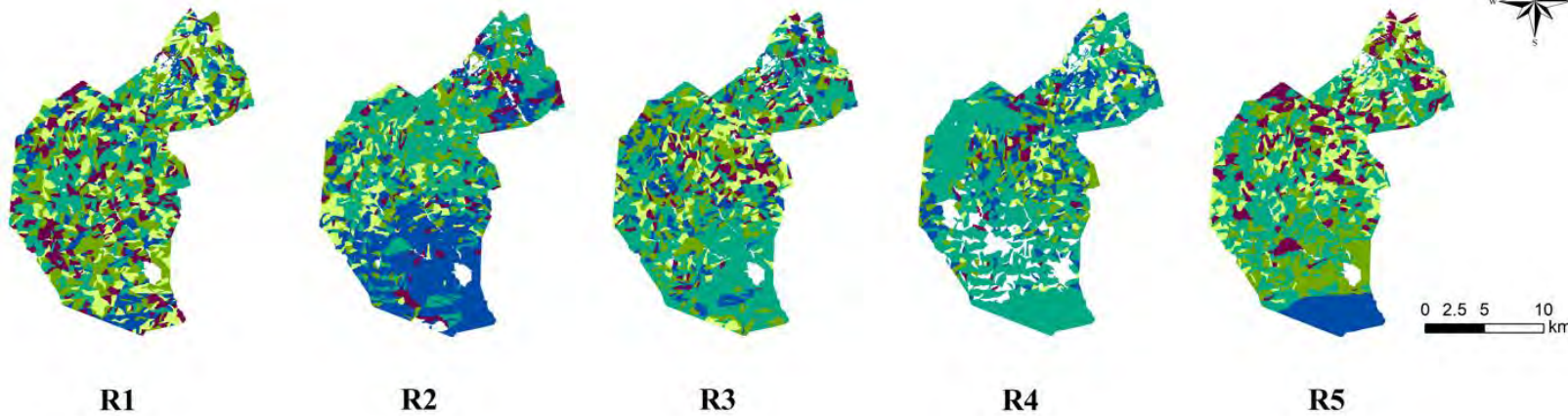
- CB Conservación de biodiversidad
- RC Reservorios de carbono
- BBpE Aprovechamiento extensivo
- BApE Aprovechamiento extensivo
- BApI Aprovechamiento intensivo



triángulos (T_i)

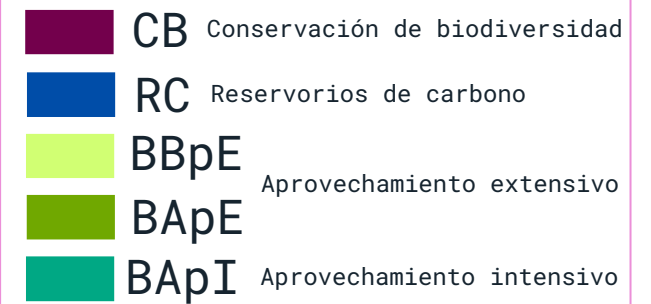
	Valor
Mínimo	0
Medio	287214
Máximo	1064400

- CB Conservación de biodiversidad
- RC Reservorios de carbono
- BBpE Aprovechamiento extensivo
- BApE Aprovechamiento extensivo
- BApI Aprovechamiento intensivo

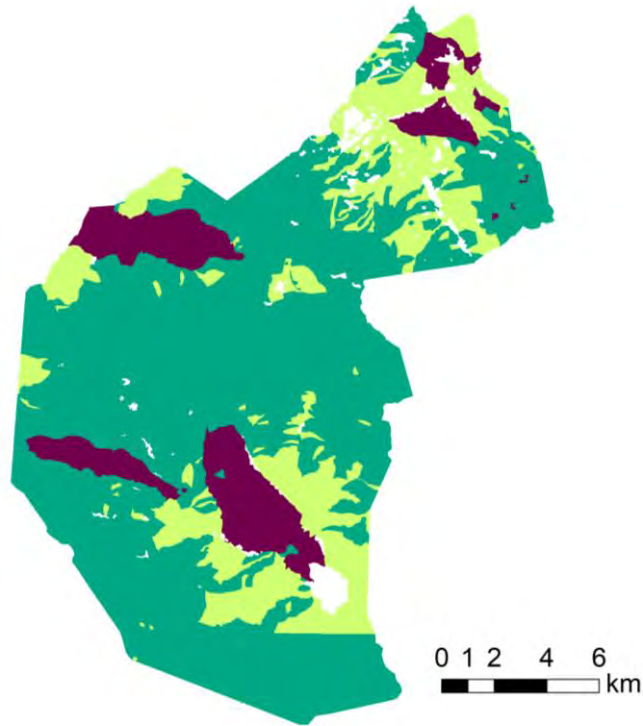


clustering (C_i)

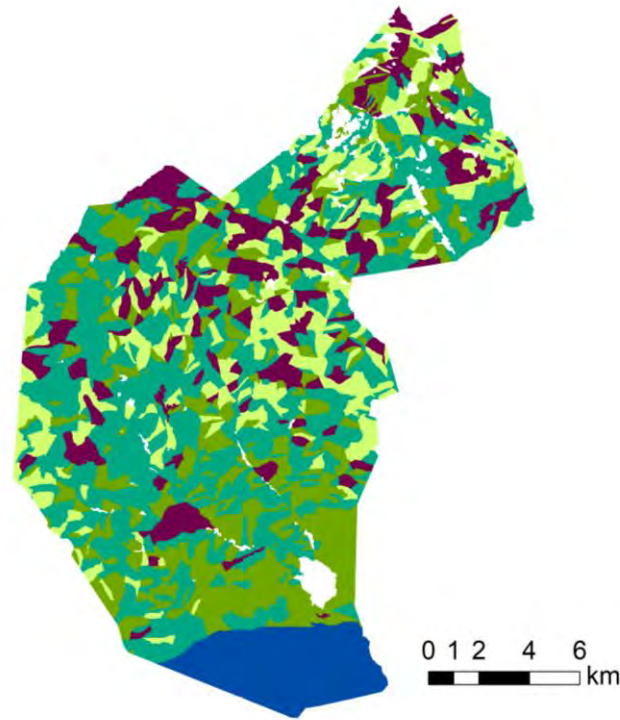
	Valor
Mínimo	0
Medio	0.8
Máximo	1



Uso del suelo actual

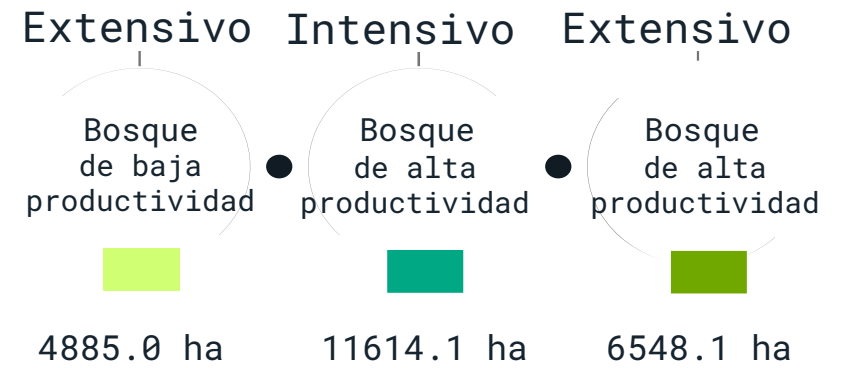


Esquema de zonificación
(R5 evaluada con clustering)



Conservación de biodiversidad	3213.6 ha
Reservorios de carbono	2989.8 ha

Aprovechamiento



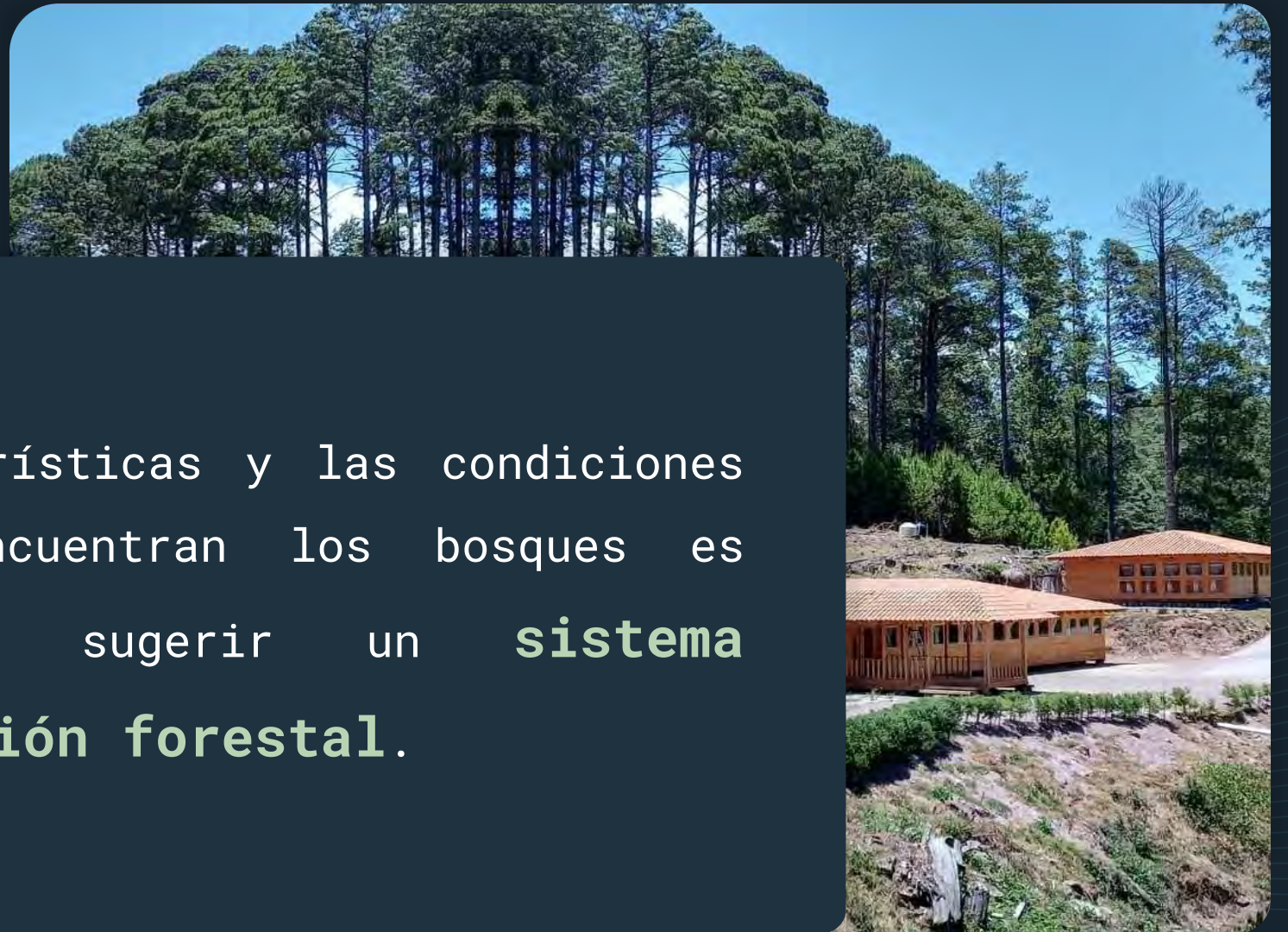


05

CONCLUSIONES

Conclusiones

Conocer las características y las condiciones en las que se encuentran los bosques es indispensable para sugerir un **sistema apropiado de gestión forestal**.





Conclusiones

La Teoría de **redes complejas** es un enfoque innovador que aprovecha toda la información disponible sobre las condiciones del bosque para **asignar rodales** a un esquema de zonificación predefinido.



Conclusiones

Una **zonificación funcional** en los procesos de planificación forestal (con múltiples objetivos), apoya a los tomadores de decisiones en la definición de estrategias que reconozcan el **valor multifuncional de los bosques**.



USFS | MEX

CP Colegio de Postgraduados



GRACIAS!

serrano.elizabeth@colpos.mx

evoraforest@hotmail.com





SEP
SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL VALLE DE OAXACA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

RESPUESTA DE RODALES A LA APLICACIÓN DE ACLAREOS



Dr. Gerardo Rodríguez-Ortiz

Oaxaca de Juárez, Oaxaca
Abril 2023



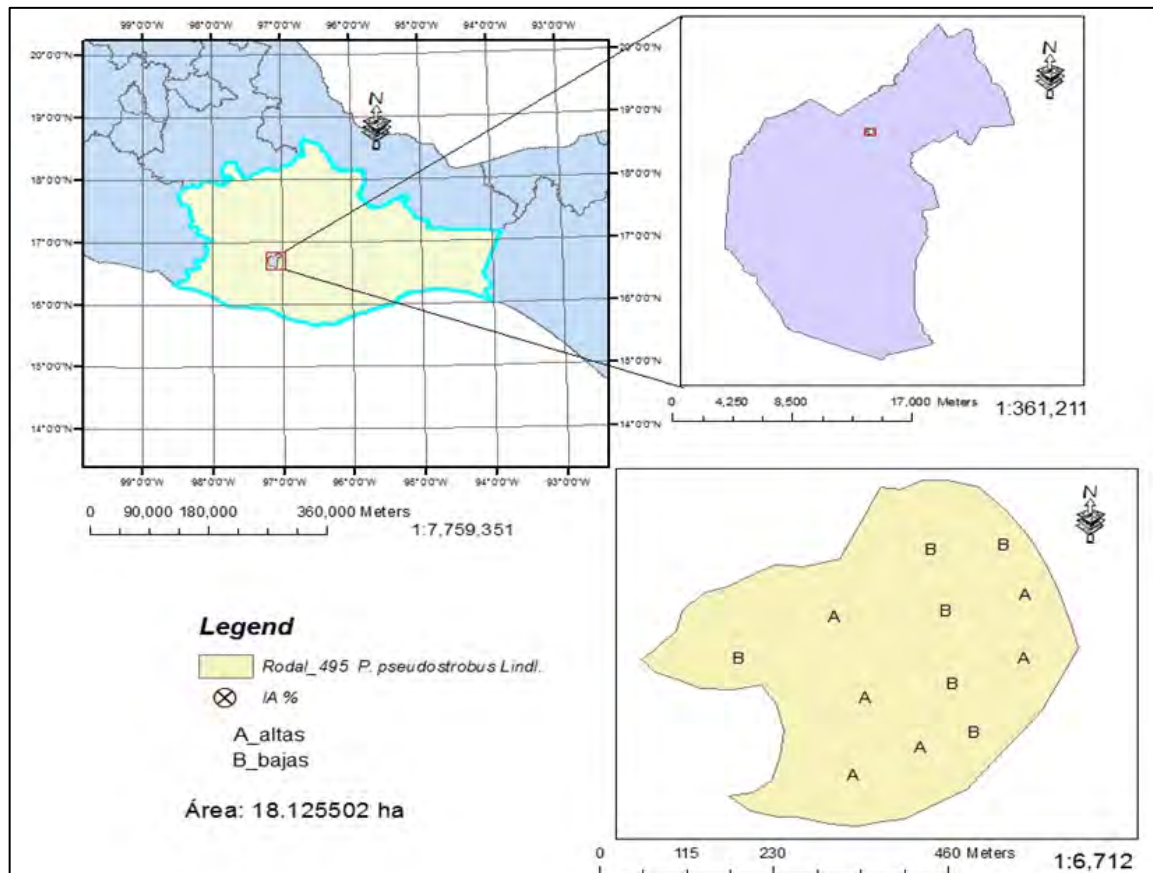
ESTUDIO HOLÍSTICO
DE RECURSOS NATURALES.

EXPERIENCIAS (San Pedro el Alto)

- ❑ Aplicación de aclareos (2017): rodal *Pinus pseudostrobus* Lindl. (residencia, tesis Ing. Forestal).
- Contenido nutrimental en rodal bajo aclareo (tesis Ing. Forestal 2019).
- Densidad de raíces y carbono en suelo (tesis Ing. Forestal 2020).
- Efecto del aclareo en crecimiento maderable, área foliar, C-N en biomasa aérea e incorporación al piso forestal (tesis maestría 2020).
- Contenido nutrimental y densidad de raíces (tesis maestría 2020).
- ❑ **Carbono estructural y de compartimentos: bosque certificado por el Forest Stewardship Council (tesis doctorado 2023)**

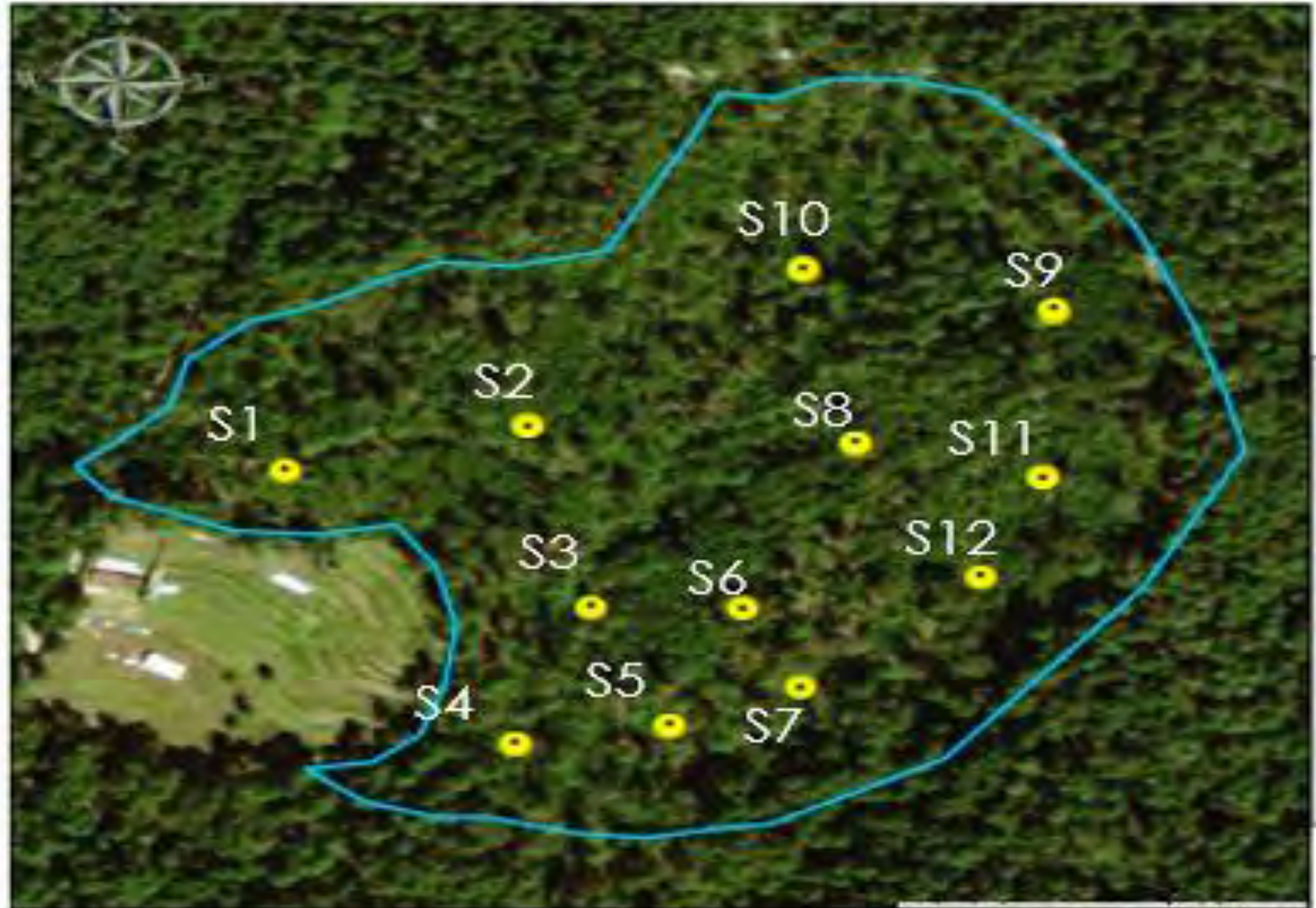
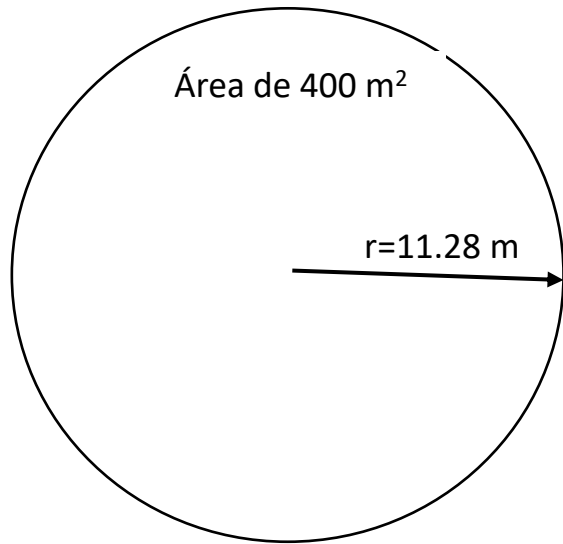
Aplicación de aclareos: *Pinus pseudostrobus* (2017)

Objetivo: Establecer parcelas experimentales con diferentes intensidades de aclareo para evaluar crecimiento estructural y efectos colaterales en compartimentos.



Ubicación de parcelas permanentes en el rodal 495, de regeneración natural de *Pinus pseudostrobus*, en el paraje La Pobreza, San Pedro el Alto, Zimatlán de Álvarez, Oaxaca.

Unidades experimentales (sitios de aclareo)



Inventario de sitios:2017-2020

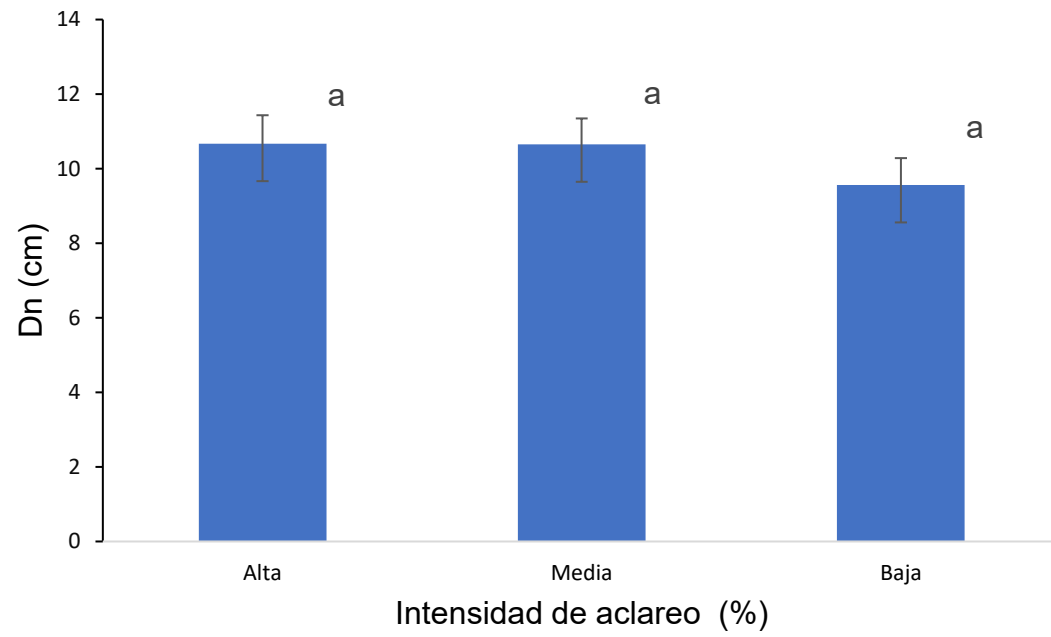


Condición inicial de las parcelas

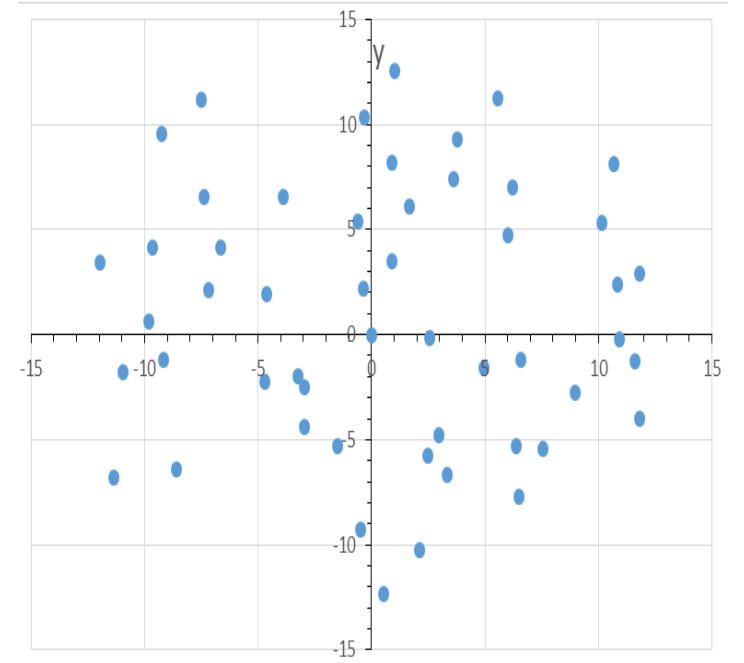
$$V(vta) = 0.0000514 \times DN^{2.058277388} \times AT^{0.824527183} + 0.0000401 (DN)^2$$

Intensidad de aclareo (IA)	Sitio	Densidad (árboles ha ⁻¹)	DN (cm)	AT (m)	AB (m ² ha ⁻¹)	V (m ³ ha ⁻¹)	IA_AB (%)	IMAvol (m ² ha ⁻¹ /año)
Baja	1	1800	10.654	7.571	18.348	93.731	20.335	8.52
Baja	5	1100	11.227	9.563	12.190	73.408	21.067	6.67
Baja	11	1000	12.118	10.104	14.247	94.675	11.230	8.61
Baja	12	1225	8.686	6.959	9.690	53.901	17.615	4.90
Media	2	1400	11.959	10.019	24.395	141.683	39.809	12.88
Media	4	1150	10.363	8.484	13.465	72.091	38.786	6.55
Media	6	900	11.471	8.953	10.883	61.695	22.496	5.61
Media	10	1700	8.814	7.852	12.898	69.123	26.936	6.28
Alta	3	3350	8.175	7.851	19.865	98.273	45.460	8.93
Alta	7	1275	8.469	7.436	9.046	45.880	65.336	4.17
Alta	8	1400	11.465	9.426	18.575	110.673	52.980	10.06
Alta	9	975	10.141	8.364	8.964	47.745	48.829	4.34

DN = diámetro normal, AT = altura total, AB = área basal, VOL = volumen rta.



Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey, 0.05).
 Líneas verticales sobre las columnas indican error estándar.



Densidad inicial (Di) y final (Df) de árboles con diferentes intensidades de aclareo.

Sitio	Coordenadas UTM (X, Y)		Di (árboles ha ⁻¹)	IA (%)	AB _R (m ² ha ⁻¹)	Df (árboles ha ⁻¹)
1	701010	1853745	1800	50	18.348 (A)	900
2	701146	1853799	2000	75	24.395 (A)	500
3	701199	1853678	2900	75	22.377 (A)	725
4	701162	1853571	1350	75	15.403 (A)	338
5	701324	1853650	1200	50	12.254 (B)	600
6	701287	1853702	650	50	10.71 (B)	325
7	701247	1853602	1375	75	9.909 (B)	344
8	701402	1853737	1300	75	12.836 (B)	325
9	701402	1853794	2145	75	8.964 (B)	536
10	701307	1853806	1475	50	24.525 (A)	738
11	701262	1853914	1000	50	14.22 (A)	500
12	701376	1853900	1400	50	9.57 (B)	700

Muestreo destructivo: 2018 (12 árboles/sitio)



Monitoreo de biomasa aérea

1. Octubre (2018) instalación de trampas
2. Recolección mensual (duración 1 año)
3. Secado en estufa por 4 días a 75° C
4. Peso seco (constante) (g) -- GE
5. Análisis de N, C



Biomasa aérea estructural

Área basal de rama	$ABR = 0.7854 \times Dbr^2$	Dbr= diámetro basal al cuadrado de la rama
Biomasa de rama	$BR = 27.294(Abr)^{0.8196}$	Abr=área basal de rama
Biomasa de acículas	$BH = 849.6(Abr)^{0.5859}$	Abr=área basal de rama
Biomasa total	$B_{total} = \beta_0(DN \times AT)^{\beta_1}$	Dn= diámetro normal, AT= altura total

Resumen del análisis de varianza en las parcelas de aclareo de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en San Pedro el Alto, Zimatlán, Oaxaca.

Fuente de variación	GL	Cuadrados medios					
		Ab/sitio	Ab/árbol	Vol	NAHA	GE	BIO
IA	1	0.03 ^{ns}	0.00024 ^{**}	0.006 ^{**}	5671.76 ^{**}	0.00008 ^{ns}	1050.78 ^{**}
AB	1	4.2 ^{**}	0.00035 ^{**}	0.017 ^{**}	15778.13 ^{**}	0.005 ^{ns}	3603.49 ^{**}
IA X AB	1	0.12 ^{**}	0.00017 ^{**}	0.006 ^{**}	5382.90 ^{**}	0.0007 ^{ns}	861.10 ^{**}
Error	116	1.63	0.00002	0.1	213.37	0.001	175.72
Total	119						

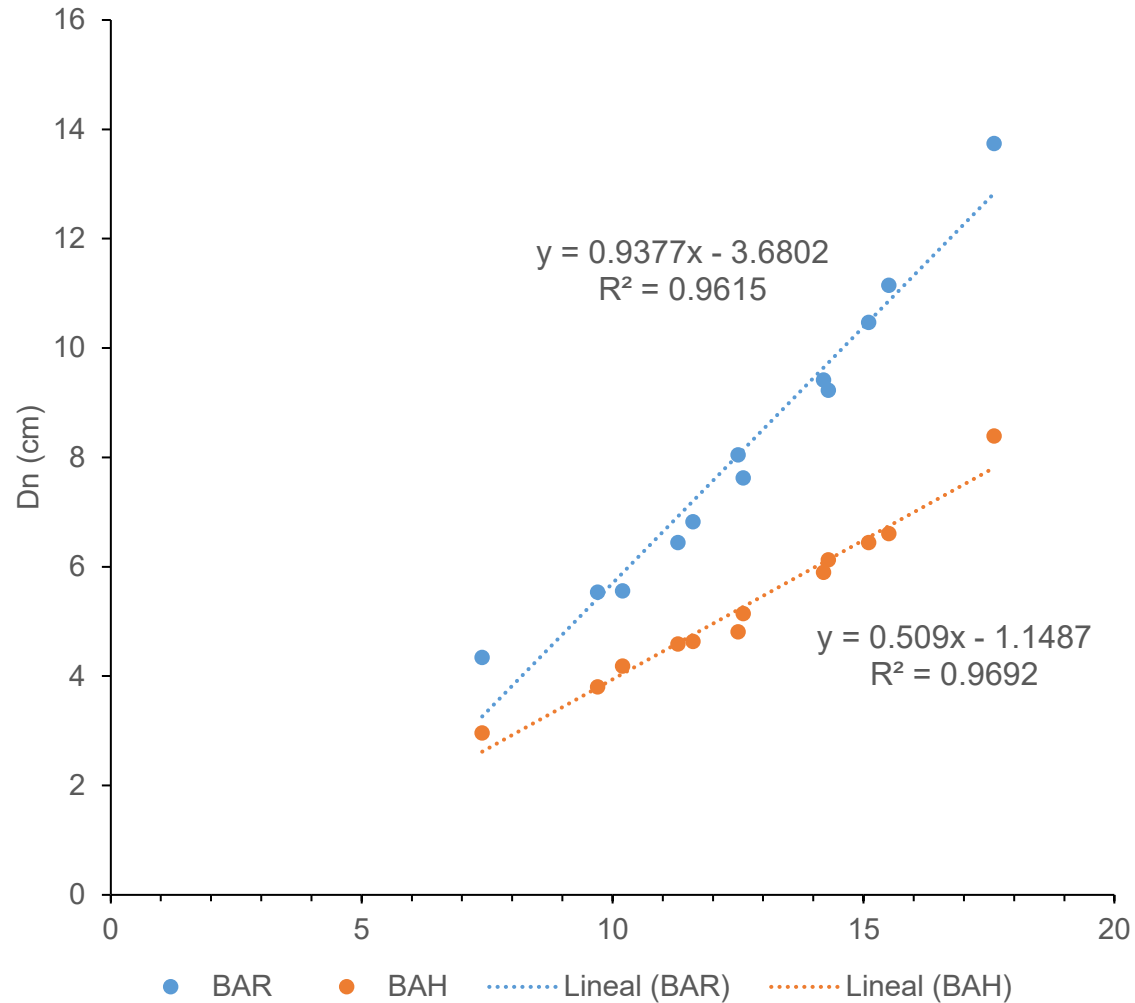
G.L.= grados de libertad. Ab/sitio= área basal inicial por sitio (m²); Ab/árbol= área basal por árbol (m²); Vol=, volumen por árbol (m³); NAHA= densidad de árboles por ha⁻¹; GE= gravedad específica de la madera (g cm³), BIO=biomasa (kg m³), **= alta significancia (p ≤ 0,05), ns = no significativo (Duncan, 0.05).

Comportamiento de variables dasométricas y de biomasa en parcelas bajo aclareo de *Pinus pseudostrobus* Lind., en San Pedro el Alto, Zimatlán de Álvarez, Oaxaca.

Variables	Intensidad de aclareo (% de AB en m ² ha ⁻¹)	
	Alta	Baja
Densidad (árboles ha ⁻¹)	1656.01±82.8 a	1312.10±39.8 b
Altura (m)	10.80± 0.3 a	9.81± 0.5 b
AB (m ² ha ⁻¹)	0.24± 0.007 a	0.12± 0.01 b
Vol (m ³ ha ⁻¹)	80.41± 4.2 a	59.03± 1.1 b
Biomasa (kg m ³)	24.05± 1.5 a	18.10± 2.1 b
	Área basal residual (m ² ha ⁻¹)	
	Alta	Baja
Densidad (árboles ha ⁻¹)	1765.0±75.4 a	1191.61±24.9 b
Altura (m)	11.2± 0.4 a	9.42± 0.4 b
AB (m ² ha ⁻¹)	0.2± 0.01 a	0.15± 0.006 b
Vol (m ³ ha ⁻¹)	78.9± 2.7 a	59.76± 3.3 b
Biomasa (kg m ³)	26.3± 1.9 a	15.62± 1.6 b

Letras distintas en la misma hilera representan diferencias significativas (Duncan, $p \leq 0.05$). Se incluye la media \pm error estándar. AB= área basal final (m² ha⁻¹), Vol= volumen (m³ ha⁻¹); biomasa.

Biomasa de ramas y biomasa de acículas por sitio. BAR= biomasa aérea (kg m⁻³) de ramas, BAH= biomasa aérea de acículas (kg m⁻³).



Diferencia significativa en análisis de varianza para biomasa de ramas (BAR) y biomasa de acículas (BAH) ($p < 0.0001$).

Intensidades de aclareo de 50 y 70% promueven el crecimiento e incremento en las variables de los árboles bajo manejo, a excepción de la gravedad específica de la madera.





**CONTENIDO
NUTRIMENTAL: 2019**

Método de Walkey y Black para la determinación de C orgánico (contenido de materia orgánica).



Método de Kjendal: determinación N (oxidación húmeda de la materia orgánica con ácido sulfúrico caliente y de sustancias catalizadoras)

Carbono (C, kg ha⁻¹)

Factor		C_madera	C_rama	C_hoja	C_total
IA (%)	75	22591±4207.46 ^a	6801.1±1025.58 ^a	3925.4±579.19 ^a	33318±5695.81 ^a
	50	18691±3744.79 ^a	6057.6±814.64 ^a	2896.4±687.31 ^a	27645±5104.44 ^a
ABR (m ³ ha ⁻¹)	alta	26992±3252.75 ^a	7990.3±791.63 ^a	4457.7±449.50 ^a	39440±4354.73 ^a
	baja	14290±2555.96 ^b	4868.4±411.61 ^b	2364.2±522.89 ^b	21523±3263.22 ^b

Factor		C_necromasa	C_hojarasca	C_humus	C_arbusto	C_herbácea
IA (%)	75	2752±2032.45 ^a	4369.6±339.09 ^a	2599±519.28 ^b	37.59±10.76 ^a	36.45±9.15 ^a
	50	1656±403.66 ^a	4092.1±436.99 ^a	6085±1119.29 ^a	72.83±14.84 ^a	77.67±43.90 ^a
ABR (m ³ ha ⁻¹)	alta	3277±1969.54 ^a	4017.7±361.07 ^a	4459±991.30 ^a	56.29±13.88 ^a	32.47±9.04 ^a
	baja	1031±230.91 ^a	4444.0±406.32 ^a	4225±1322.9 ^a	54.13±16.34 ^a	81.65±43.09 ^a

Nitrógeno (N, kg ha⁻¹)

Factor		N mad	N rama	N hoja	N total
IA (%)	75	94.13±17.53 ^a	28.33±4.27 ^a	112.47±16.59 ^a	234.93±37.37 ^a
	50	77.88±15.60 ^a	25.24±3.39 ^a	82.98±19.69 ^a	186.10±36.58 ^a
ABR (m ³ ha ⁻¹)	alta	112.47±13.55 ^a	33.29±3.29 ^a	127.72±12.87 ^a	273.48±28.42 ^a
	baja	59.54±10.64 ^b	20.28±1.71 ^b	67.74±14.98 ^b	147.56±24.09 ^b

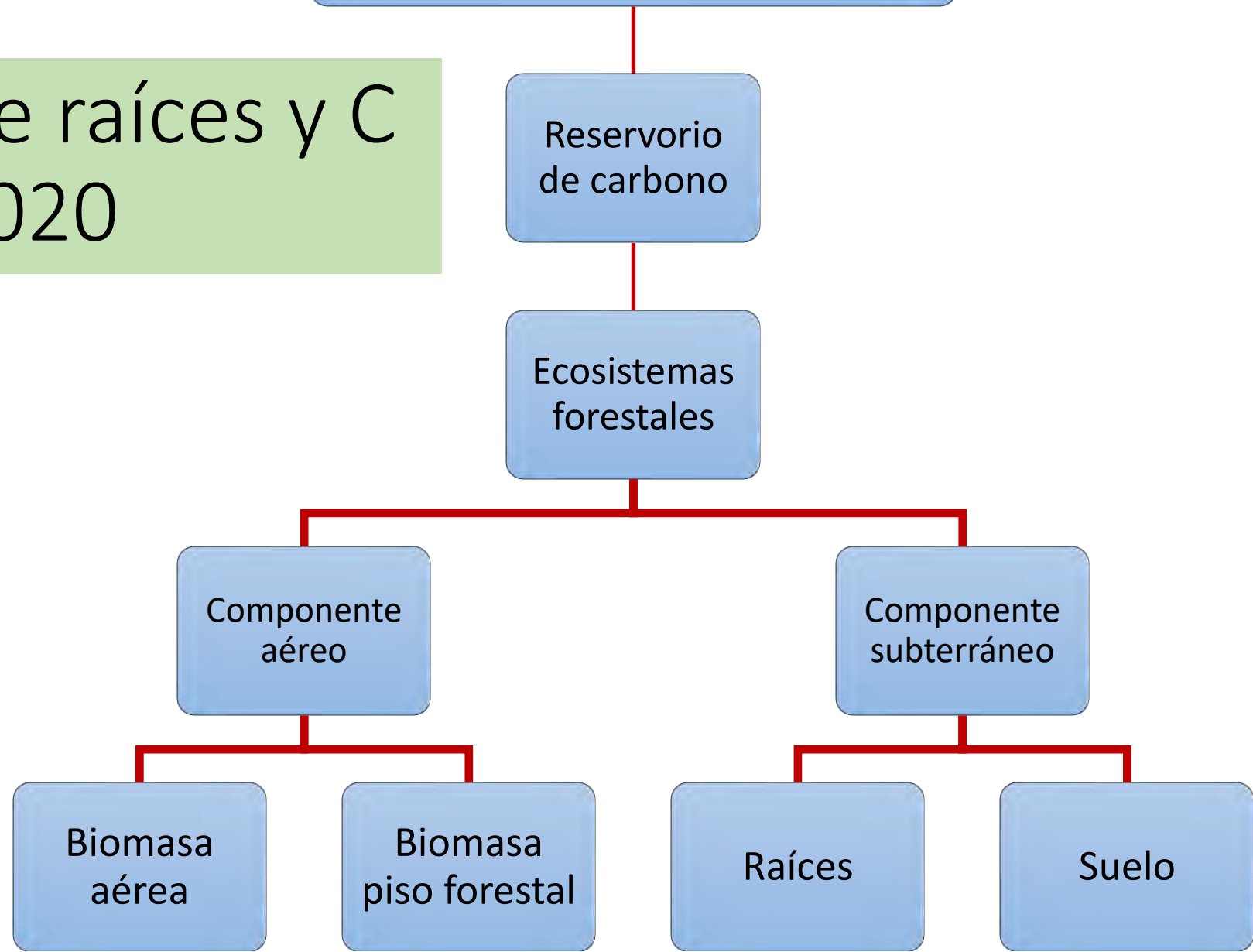
Factor		N necromasa	N hojarasca	N humus	N arbusto	N_herbácea
IA (%)	75	183.1±126.35 ^a	186.13±18.60 ^a	300.1±64.72 ^a	5.508±1.67 ^a	3.671±0.93 ^a
	50	66.3±20.09 ^a	146.28±15.55 ^a	496.9±101.21 ^a	10.535±2.14 ^a	5.840±3.14 ^a
ABR	alta	194.3±125.41 ^a	143.15±12.17 ^a	336.5±65.98 ^a	8.649±2.02 ^a	2.884±0.80 ^a
m ³ ha ⁻¹	baja	55.2±8.31 ^a	186.26±20.99 ^a	460.5±111.44 ^a	7.393±2.38 ^a	6.628±3.03 ^a

Conclusiones

- Mayor contenido de C en madera (20.6 tC ha^{-1}), resultando el área basal residual, el factor de mayor efecto.
- **Componente estructural arbustivo: cifra más baja de acumulación ($55.21 \text{ kg C ha}^{-1}$).**
- Las hojas obtuvieron la mayor acumulación de N, con un promedio de $97.7 \text{ kg N ha}^{-1}$, en cambio en el piso forestal fue hojarasca: $165.4 \text{ kg N ha}^{-1}$.

Cambio climático

Densidad de raíces y C
en suelo: 2020



Muestreo en campo

- 15 sitios de muestreo (400 m²)
- 4 excavaciones en cada sitio (uno en cada cuadrante)

Variables de medición

- Peso total materia orgánica
- Peso total humus
- Peso total suelo y raíces (15, 30 y 50 cm)
- Diámetro y altura de los árboles mas cercanos a la excavación.



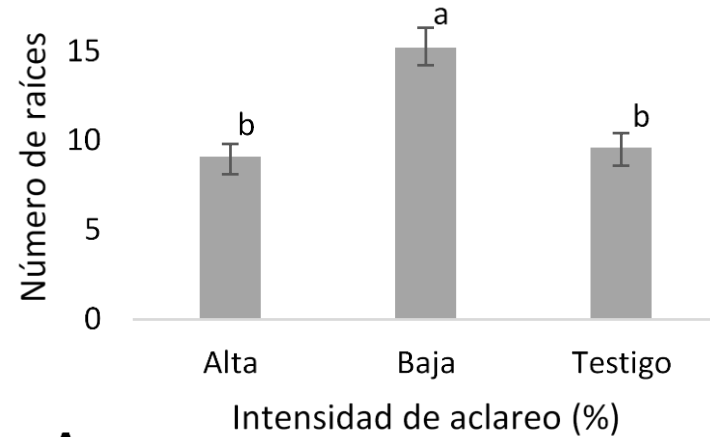
Fuente de variación	GL	Cuadrados medios					
		VOL	COR	DA	NR	DPROM	LONGT
IA	2	705.9 ns	13.24 ns	1.28 *	2273.41 **	10.53 ns	246641.87 **
ABR	1	2512.02 ns	281.5 *	0.00089 ns	237.04 ns	67.29 *	27478.02 ns
PROF	2	2189.78 ns	76.52 ns	0.79 ns	5661.45 **	4.35 ns	2096638.30 **
IA×ABR	1	10035.65 *	176.05 ns	0.0023 ns	1302.08 **	2.72 ns	401.44 ns
IA×PROF	4	3286.16 ns	34.45 ns	0.15 ns	153.88 ns	5.41 ns	25121.04 ns
ABR×PROF	2	2349.03 ns	18.63 ns	0.4004 ns	260.98 ns	1.13 ns	2879.41 ns
IA×ABR×PRF	2	211.26 ns	58.13 ns	0.35 ns	1607.31 **	12.41 ns	161335.40 **
Error	525	2378.98	46.83	0.37	132.51	13.75	30436.37
Total	539						

GL= grados de libertad, IA= intensidad de aclareo, ABR= área basal residual, PROF= profundidad, VOL= volumen, COR= carbono orgánico en raíces, DA= densidad aparente, NR= número de **raíces**, DPROM= diámetro promedio de raíces, LONGT= longitud de raíces. ns= no significativa ($p > 0.05$), **= significativa y altamente significativa ($p \leq 0.05$ y $p \leq 0.01$).

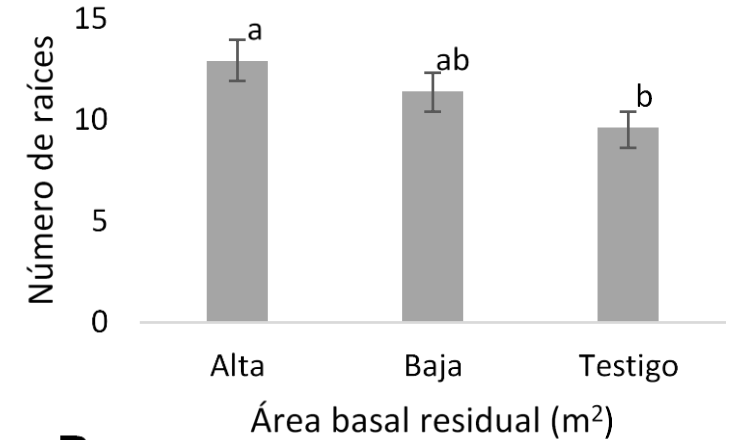
PFS= peso fresco **suelo**, VOL= volumen, GE= gravedad específica (g/cm^3), COS= carbono orgánico en suelo (tC ha^{-1}), CHS= contenido de humedad del suelo. ns= no significativa ($p > 0.05$). *significativa, **altamente significativa ($p \leq 0.05$ y $p \leq 0.01$).

Fuente de variación	GL	Cuadrados medios				
		PFS	VOL	GE	COS	CHS
IA	2	739.42 **	27025.55 **	0.185 **	50409.37 **	3099.24 **
ABR	1	0.00008 ns	217.13 ns	0.004 ns	1.08 ns	1251.46 **
PROF	2	11776.56 **	8209.38 **	3.016 **	102783.92 **	2263.46 **
IA*ABR	1	367.68 *	2548.72 *	0.467 **	579.90 ns	4878.32 **
IA*PROF	4	50.21 ns	5579.85 **	0.118 **	41559.74 **	658.88 **
ABR*PROF	2	65.27 ns	552.08 ns	0.026 ns	4665.98 *	1175.77 **
IA*ABR*PROF	2	3.66 ns	3464.13 **	0.0123 ns	2761.84 ns	1396.27 **
Error	165	70.99	406.21	0.026	1553.61	5.08
Total	179					

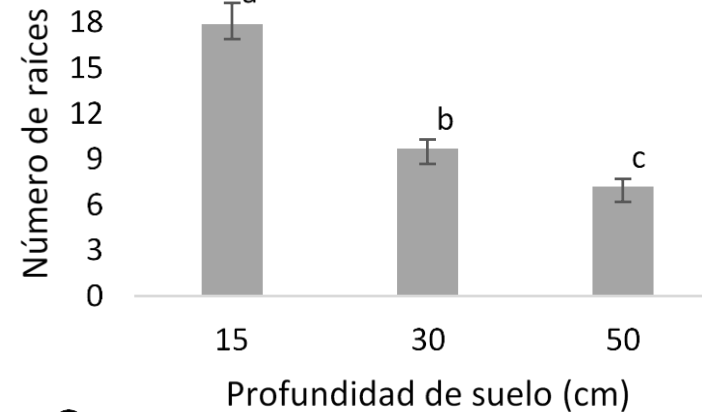
Comportamiento del número de raíces ante diferentes intensidades de aclareo (A), distintos residuales de área basal (B) y profundidad del suelo (C). Líneas verticales sobre columnas representan la desviación estándar. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Duncan, 0.05).



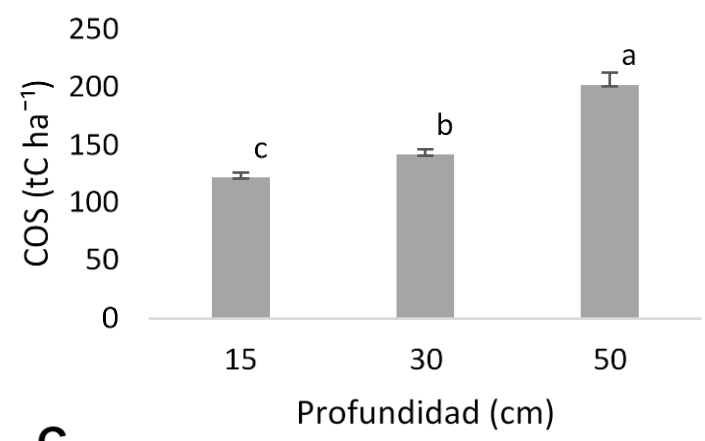
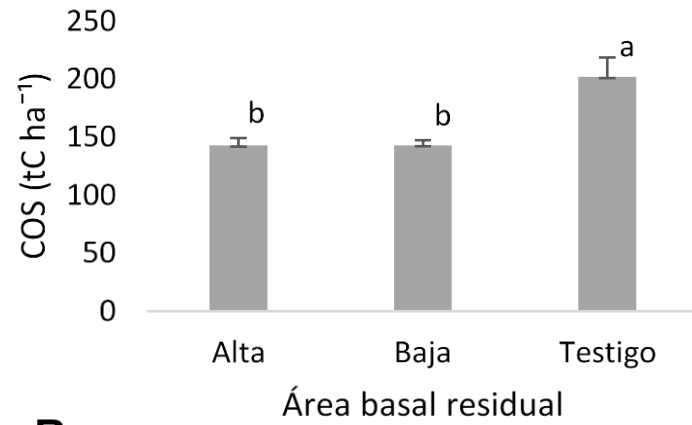
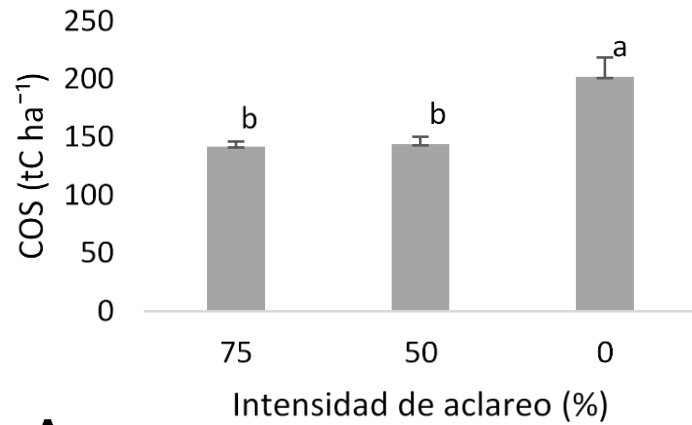
A



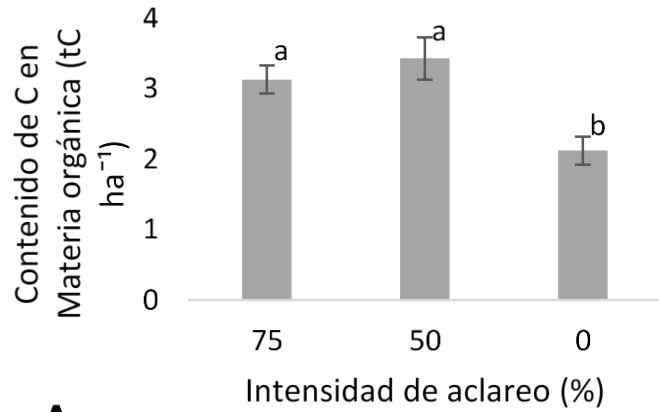
B



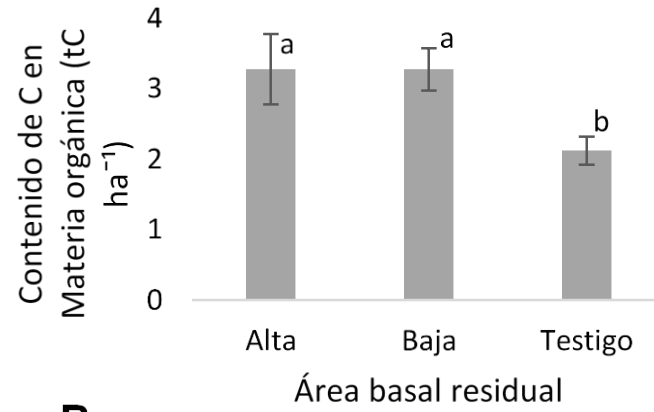
C



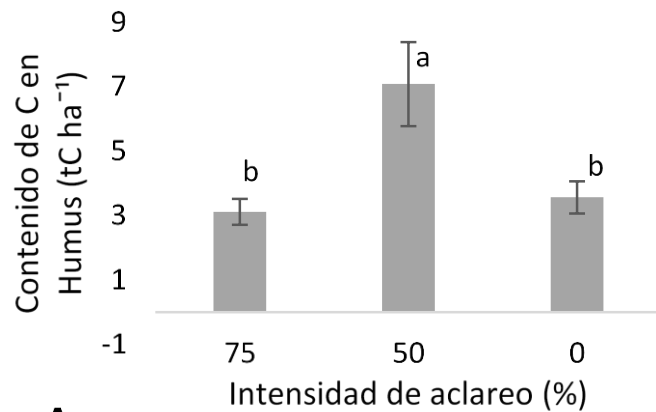
Comportamiento del **carbono orgánico del suelo** ante diferentes intensidades de aclareo (A), área basal residual (B) y profundidad (C). Líneas verticales sobre columnas representan la desviación estándar. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (*Duncan, 0.05*).



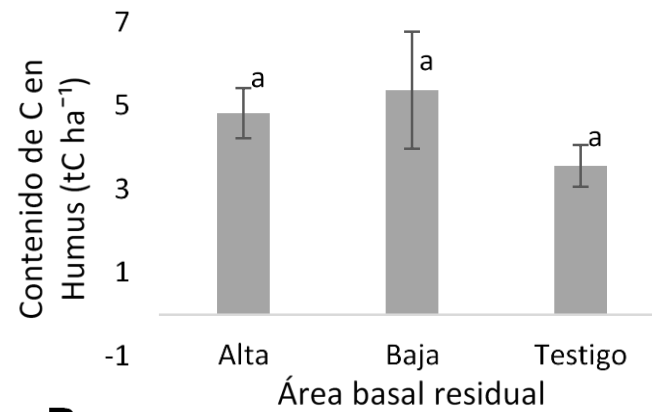
A



B



A



B

- Un año después de haber realizado el aclareo, los niveles de C en raíces, no fueron afectados, el área basal residual sin embargo influyó significativamente.
- El C en el suelo afectado por la intensidad de aclareo.
- los mayores contenidos de C en materia orgánica y humus se localizaron en sitios bajo aclareo.
- La biomasa aérea se recupera de manera exponencial después de los aclareos.

Incorporación al piso forestal (desfronde)





Efecto de la intensidad de aclareo sobre biomasa y contenido de nutrientes en desfronde de *Pinus pseudostrobus* Lind. en Oaxaca, México

Yazmin Pérez-Alavez¹, Gerardo Rodríguez-Ortiz², Wenceslao Santiago-García³, Gisela Virginia-Campos-Ángeles², José Raymundo Enríquez-del Valle², Meredith Martin^{4*}

¹Estudiante, ²profesor, Maestría en Ciencias en Productividad en Agroecosistemas. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO) División de Estudios de Posgrado e Investigación. Ex-Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, C.P. 71233, Oaxaca. (yazminprz720@gmail.com, gerardo.rodriguez@voaxaca.tecnm.mx*, wsantiago@unsij.edu.mx giscampos@hotmail.com, jenriquezdelvalle1959@gmail.com meredith.martin@yale.edu). ³Profesor investigador de la Universidad de la Sierra Juárez, C.P. 68725⁴Profesor investigador -Yale School of Forestry & Environmental Studies, 284 Graham Avenue, Brooklyn, NY, 11211, USA. *Autor de correspondencia.



Effect of Thinning Intensity on Litterfall Biomass and Nutrient Deposition in a Naturally Regenerated *Pinus Pseudostrobus* Lind. Forest in Oaxaca, Mexico

Yazmin Pérez-Alavez, Gerardo Rodríguez-Ortiz, Wenceslao Santiago-García, Gisela Virginia Campos-Angeles, José Raymundo Enriquez-del Valle & Meredith P Martin

To cite this article: Yazmin Pérez-Alavez, Gerardo Rodríguez-Ortiz, Wenceslao Santiago-García, Gisela Virginia Campos-Angeles, José Raymundo Enriquez-del Valle & Meredith P Martin (2021): Effect of Thinning Intensity on Litterfall Biomass and Nutrient Deposition in a Naturally Regenerated *Pinus Pseudostrobus* Lind. Forest in Oaxaca, Mexico, *Journal of Sustainable Forestry*, DOI: [10.1080/10549811.2021.1946410](https://doi.org/10.1080/10549811.2021.1946410)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/10549811.2021.1946410>

Published online: 26 Jul 2021.

Submit your article to this journal

View related articles

View Crossmark data

Effect of Thinning Intensity on Litterfall Biomass and Nutrient Deposition in a Naturally Regenerated *Pinus Pseudostrobus* Lind. Forest in Oaxaca, Mexico

Yazmin Pérez-Alavez^a, Gerardo Rodríguez-Ortiz^a, Wenceslao Santiago-García ^a, Gisela Virginia Campos-Angeles^a, José Raymundo Enriquez-del Valle ^a, and Meredith P Martin ^b

^aDivisión de Estudios de Posgrado e Investigación (DEPI), Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico Del Valle De Oaxaca, Xoxocotlán, Oaxaca, Mexico; ^bInstituto de Estudios Ambientales-División de Estudios de Postgrado, Universidad De La Sierra Juárez, Camino a La Universidad S/N, Ixtlán De Juárez, Oaxaca, Mexico; ^cDepartment of Forestry and Environmental Resources, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, USA

ABSTRACT

Litterfall is an important component of forest biomass and nutrient cycling, and can have key impacts on soil fertility through its decomposition. However, the effect of forest management on litterfall remains unclear. We evaluate the impact of thinning intensity on the biomass and nutrient content (C and N) of litterfall in *Pinus pseudostrobus* forest in Oaxaca, México, across two thinning intensities in areas with either high or low residual basal area and across seasons. There was significantly higher litter carbon content in the least intensive thinning treatment, but no significant differences in biomass or nitrogen content between treatments. However, there was a significant correlation between residual basal area and litter biomass at the $p < .1$ level. We found a clear seasonal pattern in litterfall fluxes, with 1.5 times more litter deposition in autumn's dry season compared to spring. We find that the thinned stand of *P. pseudostrobus* generated an annual mean litter biomass of 1059.27 ± 346.04 kg ha⁻¹ with mean carbon content of 125.31 ± 46.43 kg ha⁻¹ and mean nitrogen content of 4.76 ± 1.43 kg ha⁻¹. These values present an important contribution for modeling of biomass and nutrient cycling in this ecologically and economically important forest type.

KEYWORDS

Leaf litter; carbon; nitrogen; biomass; thinning intensity; silviculture; pine

Introduction

Carbon sequestration in forests has generated widespread international interest due to its potential to mitigate climate change (Bonan, 2008; Breedlow et al., 2004). While much attention is paid to understanding and estimating carbon capture within forest woody biomass, tree litterfall also contains high levels of carbon and mineral nutrients. On both stand and global levels, litterfall represents between 4–6% of all forest carbon content (Pan et al., 2011; Rodríguez-Ortiz et al., 2012). In addition, foliage is one of the most important components of stand productivity, as leaves are the site of photosynthesis and therefore of a forest's primary productivity. Furthermore, the nutrients contained in the foliage can be

Resumen del análisis de varianza de contenidos nutrimentales en biomasa de follaje caído en parcelas de aclareo.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios		
		Biomasa (kg ha ⁻¹)	Carbono [†] (kg ha ⁻¹)	Nitrógeno [†] (kg ha ⁻¹)
IA	3	18375.231 ^{ns}	0.021 [*]	0.009 ^{ns}
Season	3	31362.595 ^{**}	0.025 ^{**}	0.025 ^{**}
IA×Season	9	2507.852 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.002 ^{ns}
Error	32	10247.751	0.006	0.006
Total	47			

IA = intensidad de aclareo, MO = materia orgánica, R_CN = relación carbono/nitrógeno.

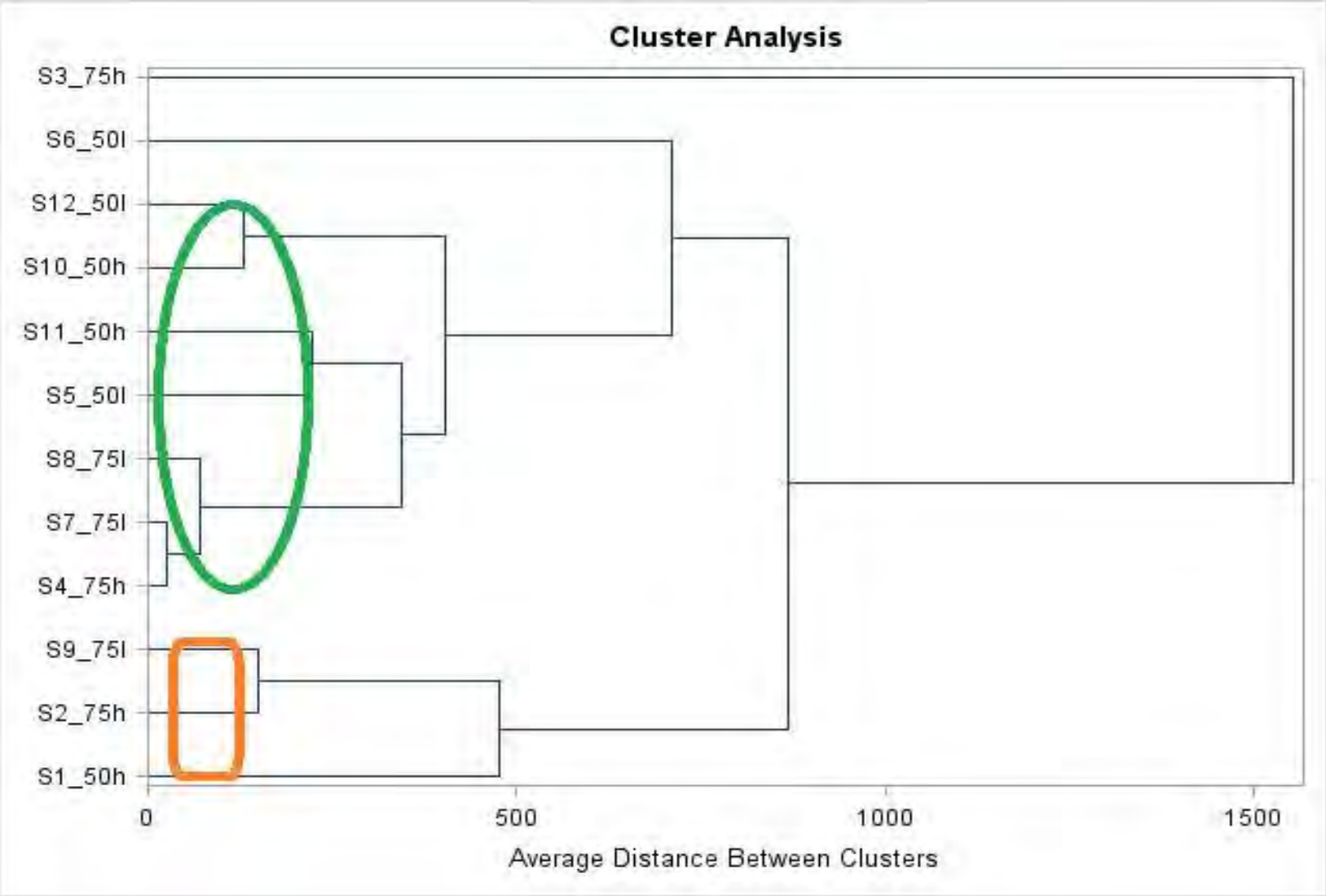
^{**}valores altamente significativos ($p \leq 0.01$), ^{ns} = no significativo ($p > 0.05$). [†]Datos transformados a $\log_{10} \sqrt{x}$

**Incorporación de biomasa y nutrientes originados de desfronde en sitios de *P. pseudostrobus*.
 Datos ordenados según niveles del factor Intensidad de aclareo y del factor Estación del año.**

Factor Intensidad de aclareo[†]	Biomasa (kg ha⁻¹)	Carbono (C) (kg ha⁻¹)	Nitrógeno (N) (kg ha⁻¹)
A50	1280.11 ± 603.06 ^a	166.45 ± 78.45 ^a	5.34 ± 2.51 ^a
A75	1004.37 ± 117.85 ^a	115.73 ± 13.58 ^{ab}	4.58 ± 0.54 ^a
B50	1009.05 ± 393.50 ^a	106.20 ± 41.41 ^b	4.05 ± 1.58 ^a
B75	943.53 ± 156.96 ^a	112.87 ± 18.78 ^b	5.07 ± 0.84 ^a
Factor Estación			
Primavera	203.810±22.106 ^b	24.209±3.026 ^a	0.928±0.104 ^b
Verano	225.020±30.005 ^{ab}	26.798±4.021 ^a	1.008±0.126 ^{ab}
Otoño	314.570±27.447 ^a	37.043±3.413 ^a	1.407±0.106 ^a
Invierno	283.000±30.505 ^{ab}	33.395±3.938 ^a	1.263±0.120 ^{ab}

[†]Extracción de 50 y 75% de área basal en sitios de alta (A) y baja (B) densidad. Valores con la misma letra no presentan diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05). La media se acompaña ± desviación estándar.

Formación de grupos de sitios (S) (elipse y rectángulo) con intensidades de aclareo de 50 y 75% y densidades residuales de área basal: h: alta área basal >13 m² ha⁻¹ (high), l: baja área basal ≤13 m² ha⁻¹ (low).



Estimadores y calidad del modelo exponencial para biomasa y nutrientes.

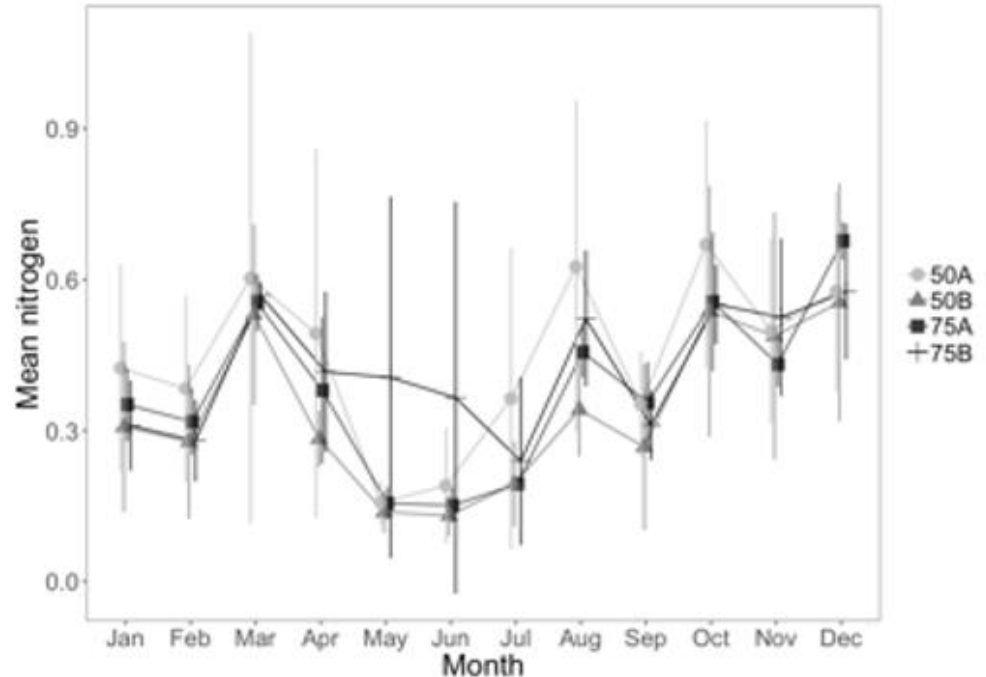
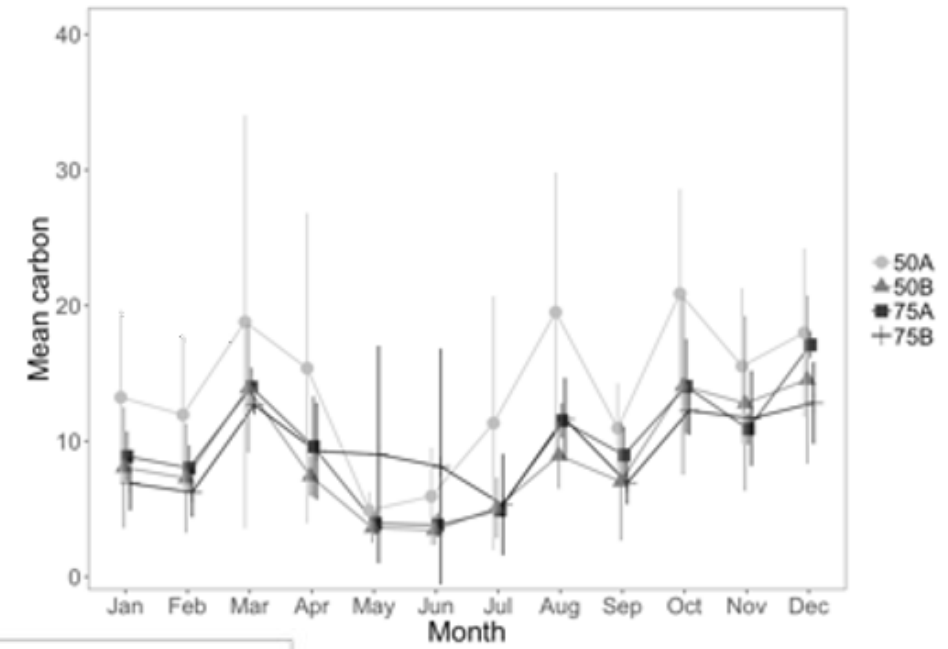
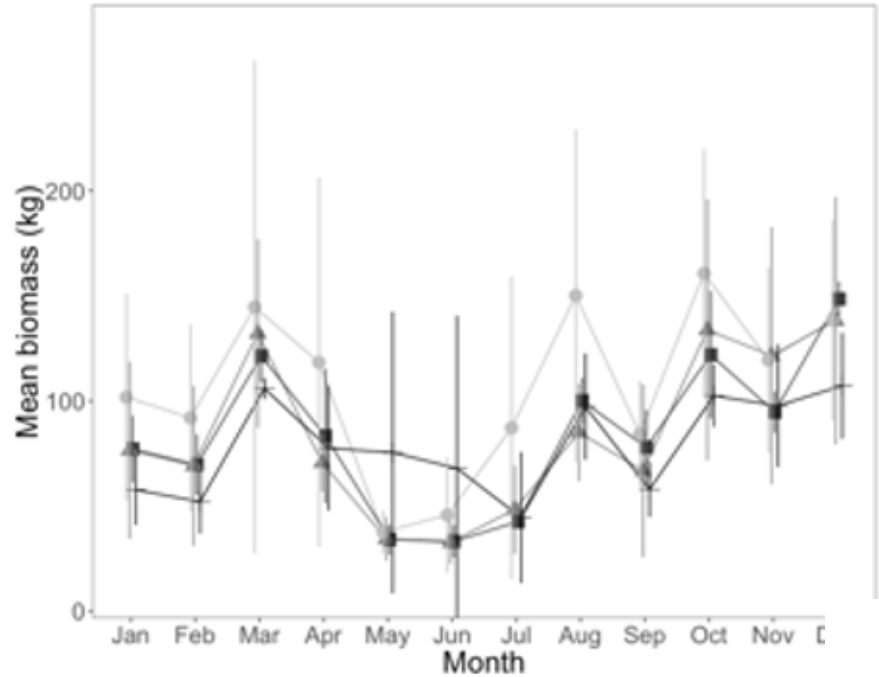
Modelo [†] II	Parámetros de regresión				
	β_0 β_1 II	β_1 β_2 II	R^2_{adj}	RMSE	CV (%)
Biomasa II	20.434**	-0.769**	0.430	464.250	108.441
Carbono [†]	11.207**	-0.283**	0.500	1086.970	3.157
Nitrógeno [†]	0.427**	-0.299**	0.560	1280.690	90.143

[†]Modelo exponencial $y = \beta_0 e^{\beta_1(month)}$,^{II}Modelo lineal cuadrático $biomass = \beta_1(month) - \beta_2(month)^2$

, R^2_{adj} = R cuadrada ajustada[†] para biomasa solo es R^2 , RMSE = raíz del cuadrado medio del error,

CV= coeficiente de variación. **valores de t Student ($p \leq 0.01$). **valores de F altamente significativos ($p \leq 0.01$).

Acumulación mensual estimada de los diferentes nutrientes durante un año de medición.



CONCLUSIONES

La intensidad de aclareo (IA) del 50 y 75% sobre el área basal del rodal de *Pinus pseudostrobus* influye en los montos de carbono contenidos en el desfronde, de tal forma que IA50% sobre áreas basales mayores de $13.0 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ generó 42% más de incorporación de C al piso forestal que las otras intensidades de aclareo.

La estacionalidad tiene gran influencia sobre el C y N contenidos en la biomasa del desfronde, teniendo mayor desfronde el otoño e invierno ya que incorporan 58.22% más de biomasa al piso forestal que en primavera.

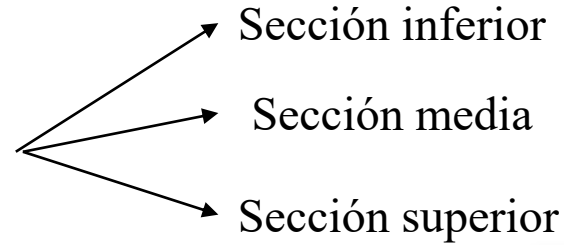
Independientemente de las IA que se apliquen, los resultados de este estudio sugieren que la biomasa, C y N contenidos en el desfronde estacional están mayormente influenciados por la densidad residual del rodal.

Crecimiento maderable, biomasa aérea y área foliar de *Pinus pseudostrobus* Lindl. bajo aclareo

Yazmin Pérez-Alavez¹, Gerardo Rodríguez-Ortiz^{2*}, Wenceslao Santiago-García³, Gisela Virginia-Campos-Ángeles², José Raymundo Enríquez-del Valle², Meredith Martin⁴

¹Estudiante, ²profesor, Maestría en Ciencias en Productividad en Agroecosistemas. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO) División de Estudios de Posgrado e Investigación. Ex-Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, C.P. 71233, Oaxaca. (yazminprz720@gmail.com, gerardo.rodriguez@voaxaca.tecnm.mx*, wsantiago@unsij.edu.mx giscampos@hotmail.com, jenriquezdelvalle1959@gmail.com meredith.martin@yale.edu). ³Profesor investigador de la Universidad de la Sierra Juárez, C.P. 68725⁴Profesor investigador -Yale School of Forestry & Environmental Studies, 284 Graham Avenue, Brooklyn, NY, 11211, USA. *Autor de correspondencia.

Muestreo destructivo de biomasa a nivel ramas: 2020



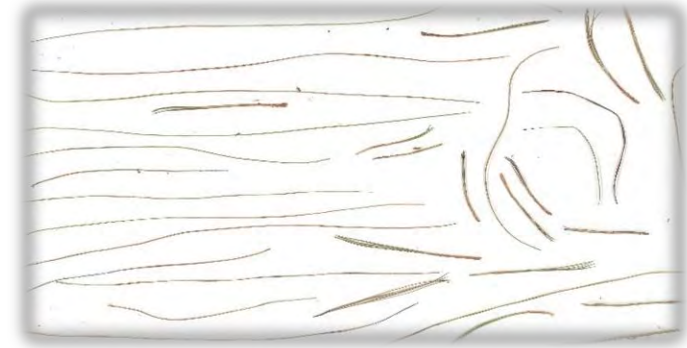
Longitud de copa viva (m) (n = 30)

1. Separación de ramas secas del fuste
2. Conteo del número de ramas
3. Longitud del pie del árbol al punto de inserción de la rama (m)
4. Diámetro basal de rama (DBR, cm)



Escaneo de acículas

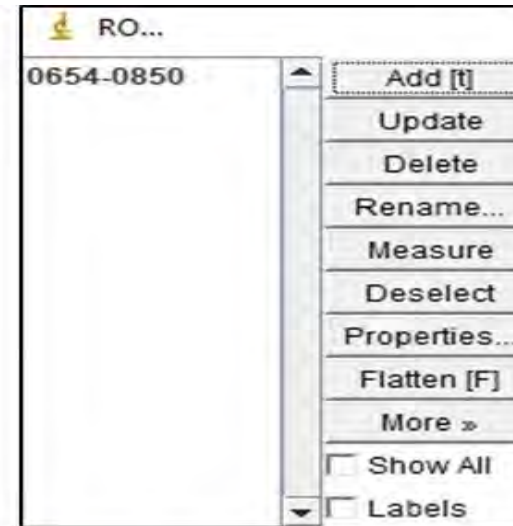
Para las muestras de acículas (293 muestras) y ramas se tomó su peso verde (g)



Las acículas se metieron a la estufa a 75°C por 4 días y las ramas por 7 días a 105°C

Cálculo del área foliar

Se utilizó el programa ImageJ



The screenshot shows the 'Results' window in ImageJ. The window has a menu bar with File, Edit, Font, and Results. Below the menu bar is a table with the following data:

	Area	Mean	Min	Max
1	16.507	255	255	255

Modelos de ajuste a nivel árbol y a nivel rama

Componentes a nivel rama

Modelo	Componentes a nivel rama	Parámetros			R ² _{adj}
		B ₀	B ₁	B ₂	
$y = \beta_0 \times ABR^{\beta_1} \times SR^{\beta_2}$	AF	0.115**	0.917**	0.211**	0.48
	PSA	18.553**	0.918**	0.424**	0.51
	PSR	45.518**	1.221**	-0.468**	0.58

ABR=área basal de rama, SR= sección de rama, R²_{adj}= R cuadrada ajustada

Componentes a nivel árbol

Modelo	Componentes a nivel árbol	Parámetros			R ²	CME
		B ₀	B ₁	B ₂		
$y = \beta_0 \times DN^{\beta_1} \times AT^{\beta_2}$	AF	0.792 ns	0.926**	0.143 ^{ns}	0.33	8.41
	PSA	0.132 ns	0.976**	0.137 ^{ns}	0.35	0.30
	PSR	0.007 ns	2.629**	0.149 ^{ns}	0.58	4.638

R²= R cuadrada, CME= cuadrado medio del error



Resumen del análisis de varianza de variables dasométricas, biomasa y área foliar en parcelas de aclareo a nivel árbol y a nivel de superficie.

Variable	F	CV (%)	F	CV (%)
	Nivel árbol		Nivel de superficie	
Diámetro (cm)	2.09 ns	23.4	1.23ns	12.3
Altura (m)	5.67**	19.6	1.34ns	12.8
Diámetro de copa (cm) ^{II}	0.85 ns	14.5	2.50ns	0.2
Área de copa (m ²) ^{II†}	0.84 ns	19.0	2.52ns	0.1
Área basal (m ² ha ⁻¹) ^{II}	2.26 ns	45.2	3.95ns	28.3
Volumen (m ³ ha ⁻¹) ^{II}	2.80*	52.4	4.81**	28.4
Biomasa en madera (kg) ^{II}	1.51 ns	15.3	3.99ns	30.2
Incremento medio anual (IMA) volumen ^{II}	2.84*	56.7	1.44ns	31.2
IMA diámetro	2.09 ns	23.4	1.23ns	12.3
IMA altura	5.67**	19.6	1.34ns	12.8
IMA área basal ^{II}	2.27 ns	45.7	1.41ns	22.9
Incremento corriente anual (ICA) volumen ^{II}	0.16 ns	139.3	0.32ns	35.9
ICA diámetro	0.26 ns	286.4	3.74ns	49.1
ICA altura ^{II}	1.88 ns	429.2	1.63ns	212.4
ICA área basal	0.94 ns	164.4	2.35ns	27.7
Biomasa de acícula (kg)	2.26 ns	24.7	2.2ns	32.5
Biomasa de ramas (kg) ^{II}	1.96 ns	21.3	4.91**	28.5
Area foliar (m ²)	2.27 ns	23.7	1.26ns	12.9

**Valores significativos ($p \leq 0.05$),
 ns = no significativo ($p > 0.05$), ^{II}
 Datos transformados a $\log_{10}\sqrt{x}$

†Datos transformados a arco
 tangente .

Variables dasométricas en parcelas de aclareo a nivel árbol .

Tratamiento	50A	75A	50B	75B
Variables				
DC20 ^{II}	6.217±0.623a	5.609±0.239a	5.473±0.203a	5.199±0.249a
AC20 ^{II}	47.440±20.374a	26.540±2.956a	24.850±1.831a	22.790±2.099a
BIOM20 ^{II}	67.612±5.673a	63.285±5.335ab	57.323±4.244ab	49.517±5.047b
IMAV20 ^{II}	0.015±0.001a	0.015±0.001a	0.013±0.001ab	0.011±0.001b
IMADN20	1.49825±0.049a	1.45357±0.056ab	1.457±0.047ab	1.316±0.049b
IMAAT20	1.013±0.028ab	1.070±0.029a	0.933±0.025bc	0.911±0.035c
IMAAB20 ^{II}	0.002±0.0001a	0.002±0.0001ab	0.002±0.0001ab	0.002±0.0001b
ICAV ^{II}	0.003±0.0006a	0.003±0.001a	0.003±0.0005a	0.003±0.0006a
ICADN	0.029±0.0299a	0.091±0.033a	0.107±0.028a	0.082±0.036a
ICAAT ^{II}	0.033±0.0142a	0.010±0.023a	-0.016±0.0315a	0.043±0.022a
ICAAB	0.0002±0.00008a	0.0003±0.0001a	0.0004±0.0001a	0.0002±0.0001a
PSA20	3.118±0.108a	3.0478±0.121a	2.996±0.102ab	2.706±0.11b
PSRT20 ^{II}	22.307±1.934a	20.674±1.995ab	19.685±1.583ab	15.173±1.525b
AF20	16.431±0.546a	16.092±0.611a	15.810±0.514ab	14.351±0.562b

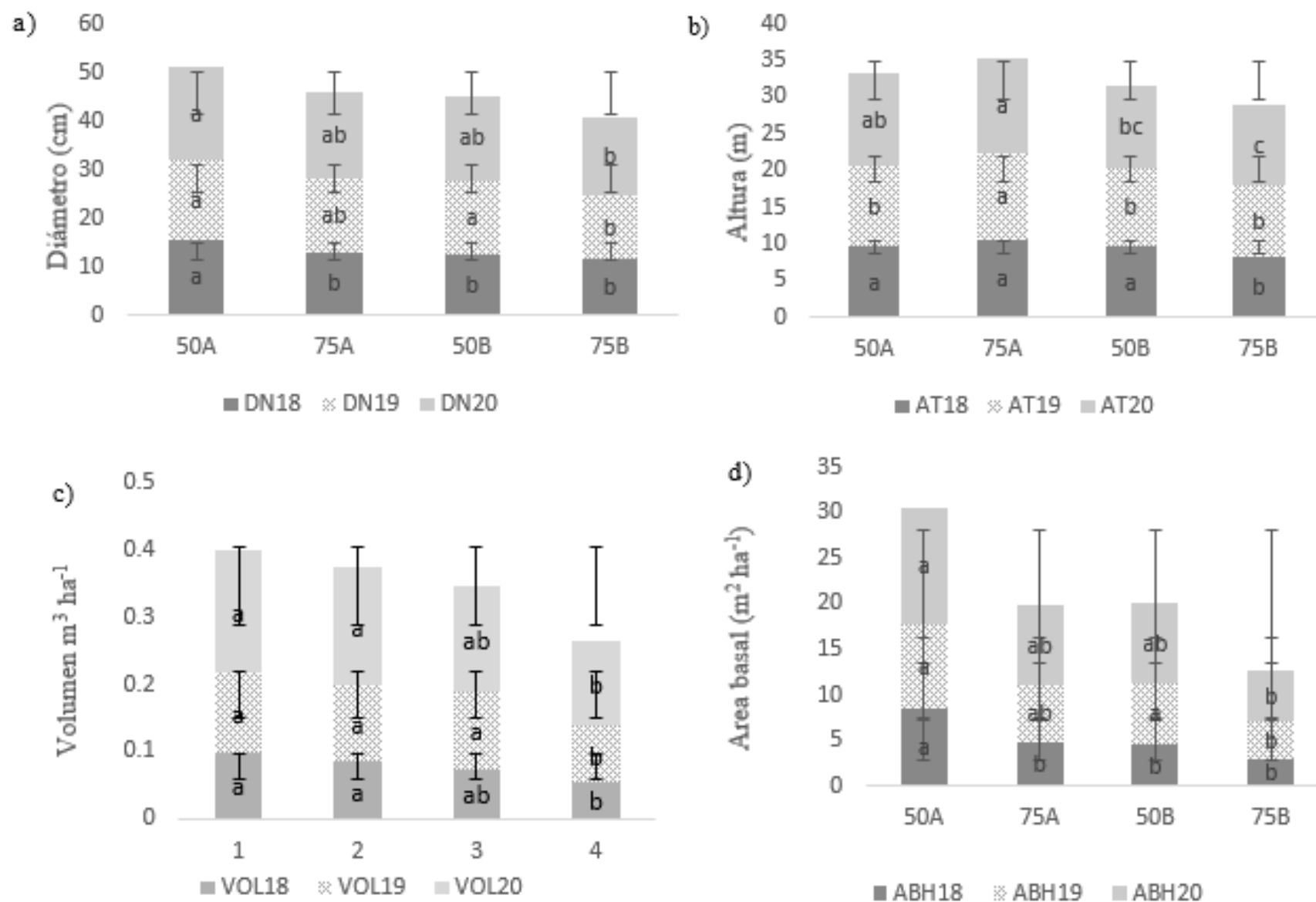
DC = diámetro de copa, AC=área de copa,BIOM=biomasa, IMA=incremento medio anual, ICA=incremento corriente anual PSA=peso seco acículas, PSRT=peso seco de rama total, AF= área foliar,20=año 2020. Valores con la misma letra no presentan diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05). La media se acompaña ± desviación estándar. ^{II} Datos transformados a $\log_{10}\sqrt{x}$

Comportamiento de variables dasométricas en parcelas de aclareo a nivel sitio.

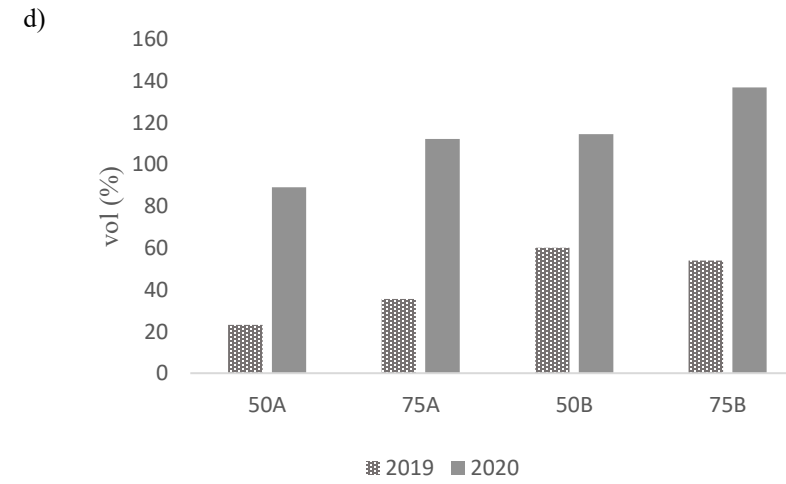
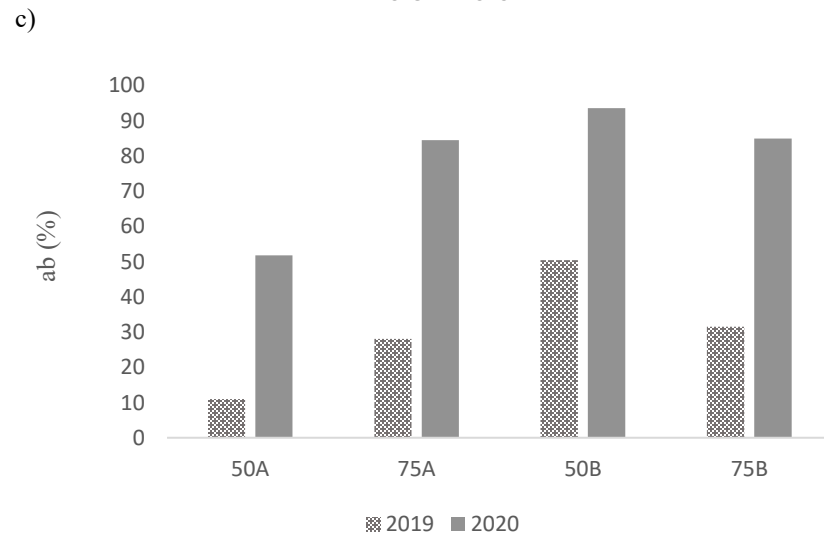
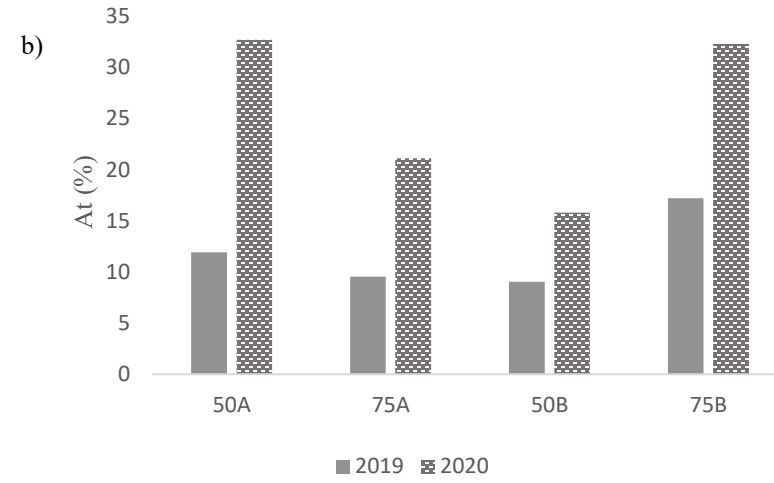
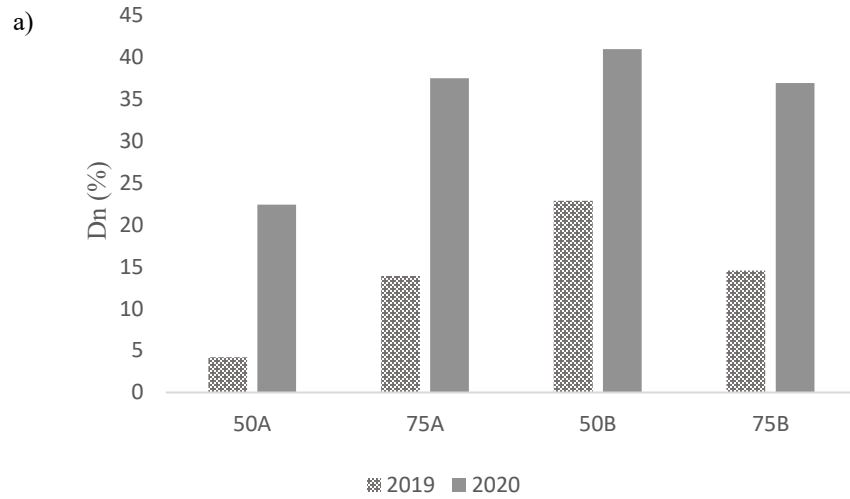
Tratamiento	50A	75A	50B	75B
Variable				
DN20	19.138±1.874a	17.971±1.381a	17.532±0.473a	15.795±0.762a
AT20	12.858±1.061a	12.891±1.020a	11.26±0.533a	10.966±0.820a
DPC20	6.306±0.132a	5.752±0.338a	5.507±0.373a	5.217±0.505a
AC20 ^{II}	901.40±462.578a	371.600±30.865a	347.900±39.998a	250.700±44.348a
AB20	0.030±0.005a	0.027±0.004a	0.025±0.0008a	0.021±0.002a
ABH20	12.783±2.753a	8.864±0.779ab	8.765±0.455ab	5.635±0.534b
VOL20	0.214±0.047a	0.189±0.034a	0.157±0.011a	0.128±0.018a
VOLH20	87.230±17.193a	62.410±7.752ab	54.650±2.324ab	35.170±4.956b
IMAV20	0.018±0.004a	0.016±0.003a	0.013±0.0009a	0.011±0.002a
IMADN20	1.595±0.156a	1.498±0.115a	1.461±0.039a	1.316±0.063a
IMAAT20	1.072±0.088a	1.074±0.085a	0.938±0.044a	0.9138±0.068a
IMAAB20	0.003±0.0004a	0.002±0.0003a	0.002±0.00007a	0.002±0.0001a
CRE(%)	90.783±9.076a	95.208±6.539a	85.892±2.689a	93.134±4.814a
GE	0.367±0.011a	0.355±0.011a	0.368±0.009a	0.384±0.012a
BIO20	32116±6726.96a	22150±2746.55ab	20063±617.927ab	13617±2385.21b
PSA20	59.24±14.841a	42.67±5.995a	41.95±2.256a	29.77±2.198a
PSRT20	423.830±88.849a	289.44±24.770ab	275.58±12.806ab	166.90±19.216a
AF20	17.544±1.781a	16.552±1.293a	15.865±0.499a	14.354±0.788a

DN= diámetro normal, AT= altura total, DCP = diámetro de copa promedio, AC=área de copa, AB=área basal, ABH=área basal por hectárea, VOL (v)=volumen, , VOLH=volumen por hectarea BIO=biomasa, IMA=incremento medio anual, ICA=incremento corriente anual, GE= gravedad específica, CRE=porcentaje de crecimiento, PSA=peso seco acículas, PSRT=peso seco de rama total, AF= área foliar. 20=año 2020. ** valores altamente significativos ($p \leq 0.01$), ^{ns} = no significativo ($p > 0.05$). ^{II} Datos transformados a arco tangente

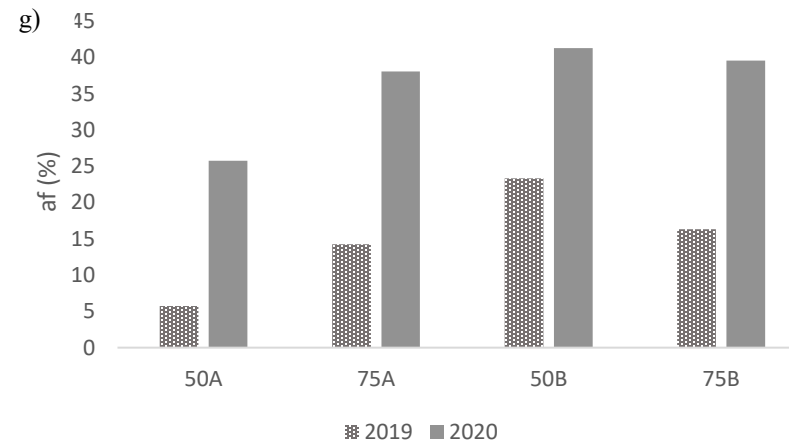
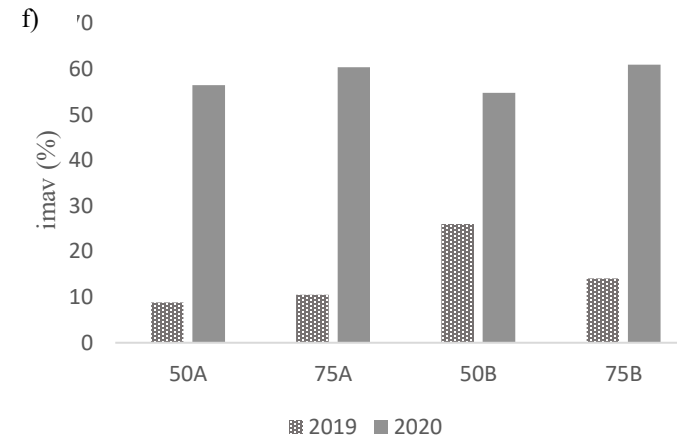
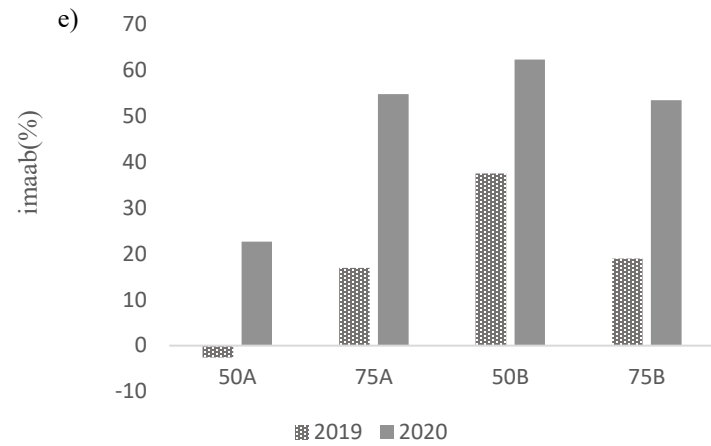
Variables dasométricas a nivel árbol con tres años de medición



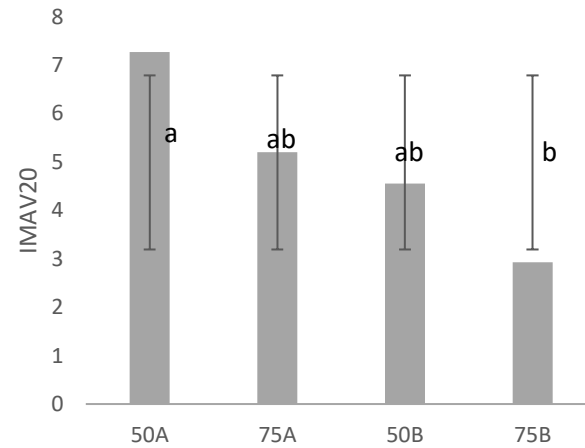
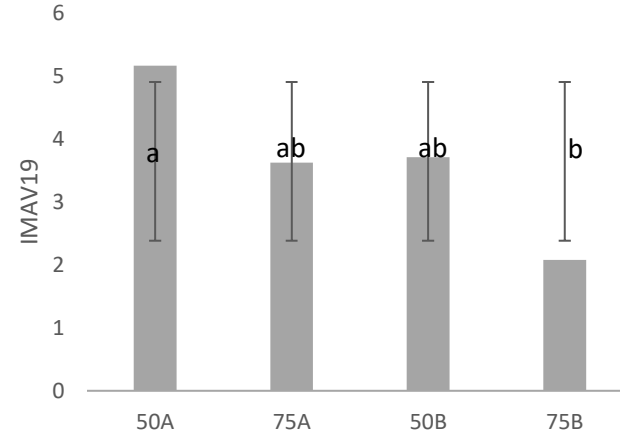
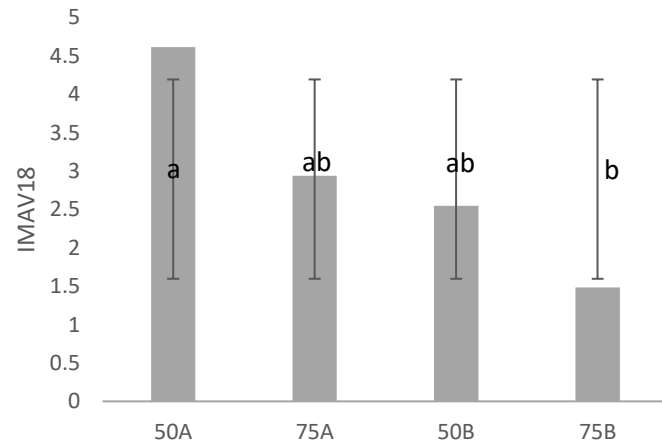
Porcentaje de incremento de las variables dasométricas con los diferentes tratamientos



Porcentaje de incremento de las variables dasométricas con los diferentes tratamientos



Incremento medio anual de volumen (IMAV) por unidad de hectárea con tres años de medición.



Carbono estructural y compartimentos en bosques certificados por el Forest Stewardship Council, en Oaxaca, México

Structural Carbon and Compartments in Forests Certified by the Forest Stewardship Council, in Oaxaca, Mexico

Pablo Espinoza-Zúñiga¹,
 Juan Antonio Leos-Rodríguez²,
 Gerardo Rodríguez-Ortiz³,
 Blanca Margarita Montiel-Batalla⁴,
 Ramon Vaidivia-Alcázar⁵

¹División de Ciencias Económico-Administrativas, Universidad Autónoma Chapingo, Carretera México-Texcoco Km 38.5, Texcoco, Estado de México, México.

²Tecnológico Nacional de México, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, Xalcoyotlán, CP. 71280, Oaxaca, Oaxaca, México.

³Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California, Nuevo León, CP. 21705, Mexicali, Baja California, México.

*Autor de correspondencia: jarel_es_zu@fajmail.com

Artículo científico

Recibido: 07 de septiembre 2022

Aceptado: 09 de marzo 2023

Como citar: Espinoza-Zúñiga P, Leos-Rodríguez JA, Rodríguez-Ortiz G, Martínez-Cruz AL, Montiel-Batalla BM, Vaidivia-Alcázar R (2023) Carbono estructural y compartimentos en bosques certificados por el Forest Stewardship Council, en Oaxaca, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 10(1): e3474. DOI: 10.19136/era.10n1.3474

RESUMEN. Este estudio compara la cantidad de carbono (C) estructural y de compartimiento aéreo versus C de suelo bajo dos tratamientos silvícolas (TS) aclareo y cortas de regeneración. Las mediciones se realizaron en 2021 en sitios de muestreo (SM) localizados en Oaxaca, México, correspondientes a una comunidad certificada en prácticas de manejo forestal por el Forest Stewardship Council, y a una comunidad forestal no certificada. Se realizaron análisis de varianza y pruebas de medias bajo diseño completamente aleatorio con arreglo factorial y, análisis clúster de los SM. No se documentan diferencias por comunidad o TS por sí mismos, pero la interacción entre comunidad y TS generó efectos altamente significativos ($p \leq 0.01$), de tal manera que los SM en la comunidad certificada presentaron mayores montos de C en los compartimentos evaluados. El TS aclareo en SM de la comunidad certificada generó en árboles y piso forestal mayor contenido de C que en SM de la comunidad sin certificación (334 y 24%, respectivamente). Los SM con cortas de regeneración, certificados o no, incrementan en 120.2% el C, al incorporar el piso forestal los montos almacenados en el C fijado en el árbol. No hubo diferencias en el C almacenado en piso forestal entre comunidades ($165.97 \text{ tC ha}^{-1}$), independiente del TS que se aplique. Los resultados son de utilidad para la toma de decisiones por los diseñadores de políticas públicas orientadas a mejorar el manejo forestal, las cuales tienen influencia en los montos de C almacenados en el ecosistema.

Palabras clave: Biomasa aérea, bosques comunitarios, piso forestal, prácticas forestales, tratamientos silvícolas.

ABSTRACT. This study compares the amount of structural and aboveground compartment carbon (C) versus soil C under two silvicultural treatments (ST) - thinning and regeneration cut. Measurements were made in 2021 at sampling sites (SS) located in Oaxaca, Mexico, corresponding to a community certified in forest management practices by the Forest Stewardship Council, versus a non-certified forest community. Analysis of variance and tests of means were performed under a completely randomized design with factorial arrangement and cluster analysis of the SS. No differences by community or ST by themselves are documented, but the interaction between community and ST generated highly significant effects ($p \leq 0.01$), in such a way that the SS in the certified community presented higher amounts of C in the evaluated compartments. The ST thinning in SS of the certified community generated higher C content in trees and forest floor than in SS of the community without certification (334% and 24%, respectively). The SS with regeneration cuts, certified or not, increase C by 120.2%, by incorporating the amounts stored in the C fixed in the tree into the forest floor. There were no differences in the C stored in the forest floor between communities ($165.97 \text{ tC ha}^{-1}$), regardless of the ST applied. The results are useful for decision-making by designers of public policies aimed at improving forest management, which have an influence on the amounts of C stored in the ecosystem.

Key words: Aboveground biomass, community forests, forest floor, forest practices, silvicultural treatments.

Carbono en bosques certificados

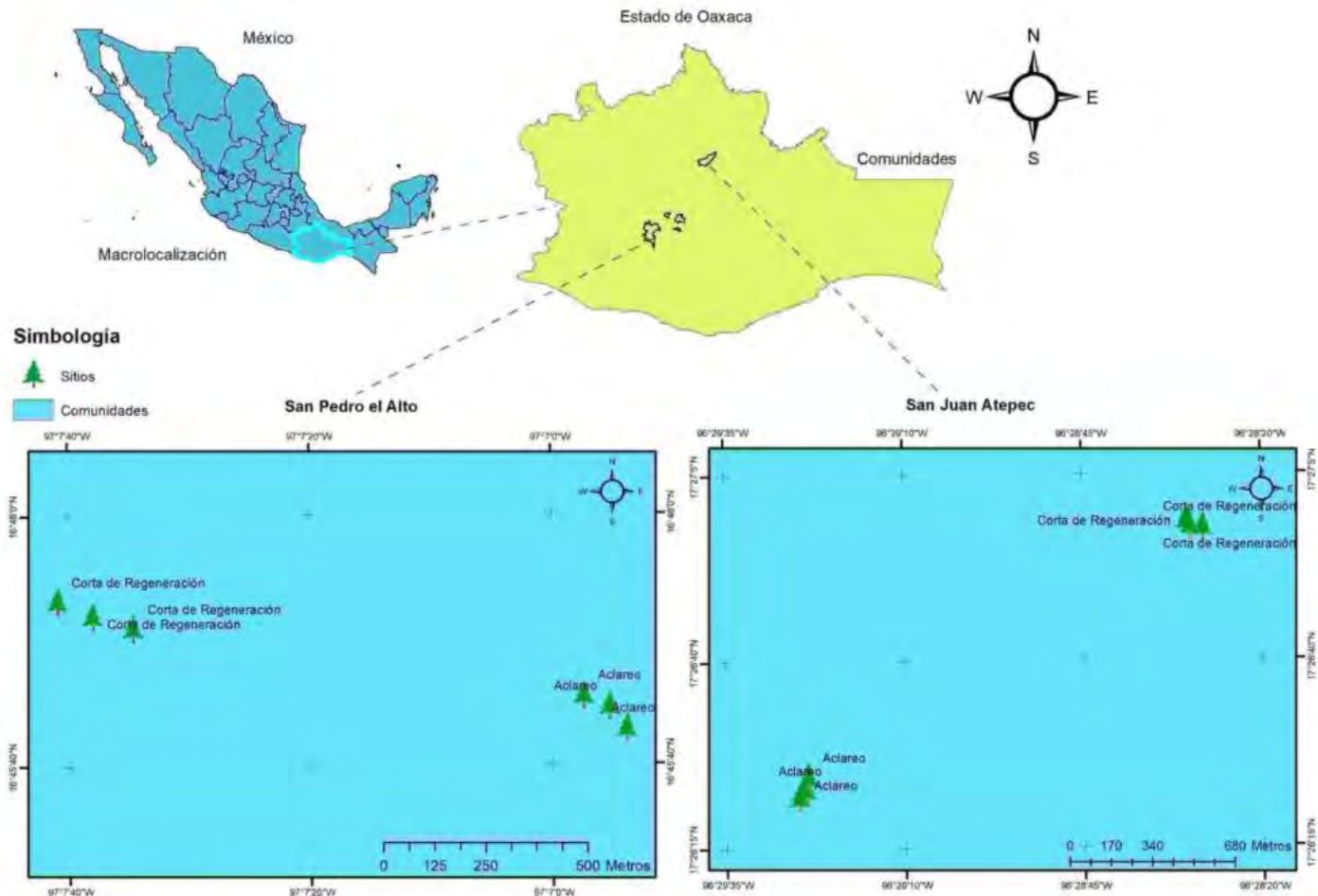


Tabla 2. Contenidos de carbono en biomasa ($t\ ha^{-1}$) entre tratamientos silvícolas de la localidad certificada y no certificada por el Forest Stewardship Council.

Variable	Localidad		Tratamiento silvícola	
	San Pedro	Atepec	Corta de regeneración	Aclareo
Tree_B	192.9 ± 59 ^a	143.11 ± 34.9 ^a	144.4 ± 34.7 ^a	191.5 ± 59.4 ^a
Nec_B	30.3 ± 6.1 ^a	20 ± 4.2 ^a	27.8 ± 7.6 ^a	22.4 ± 2.3 ^a
Bus_B	2.7 ± 0.8 ^a	1.1 ± 0.3 ^a	2.1 ± 0.9 ^a	1.7 ± 0.3 ^a
Herb_B	2.2 ± 0.3 ^a	0.4 ± 0.1 ^b	1.7 ± 0.5 ^a	0.9 ± 0.3 ^b
Llit_B	10.6 ± 2.4 ^a	9.2 ± 1.5 ^a	7.3 ± 1.1 ^b	12.6 ± 1.9 ^a
Humus_B	29.9 ± 5.5 ^b	73.6 ± 7.3 ^a	54.4 ± 11.5 ^a	49 ± 11.7 ^a
Tree_C	85.2 ± 26.1 ^a	65.4 ± 15.7 ^a	64.7 ± 16 ^a	85.9 ± 25.8 ^a
Nec_C	13.4 ± 2.7 ^a	9.5 ± 2 ^a	12.6 ± 3.3 ^a	10.3 ± 1.2 ^a
Bus_C	2.7 ± 0.8 ^a	1.1 ± 0.3 ^a	2.1 ± 0.9 ^a	1.7 ± 0.3 ^a
Herb_C	1 ± 0.1 ^a	0.1 ± 0.07 ^b	0.7 ± 0.2 ^a	0.5 ± 0.2 ^a
Llit_C	4.9 ± 1.2 ^a	4.2 ± 0.5 ^a	3.3 ± 0.5 ^b	5.8 ± 1 ^a
Humus_C	9.2 ± 1.5 ^b	30.7 ± 3 ^a	20.5 ± 5.4 ^a	19.4 ± 5.3 ^a
Soil_C	133.7 ± 8.4 ^a	120.7 ± 13.4 ^a	132.2 ± 7.8 ^a	122.2 ± 14 ^a

B = biomasa, C = carbono, Nec = necromass, Bus = arbustos, Herb = herbáceas, Llit = hojarasca, a y b = letras distintas por localidad y tratamiento silvícola indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05), ± = error estándar.

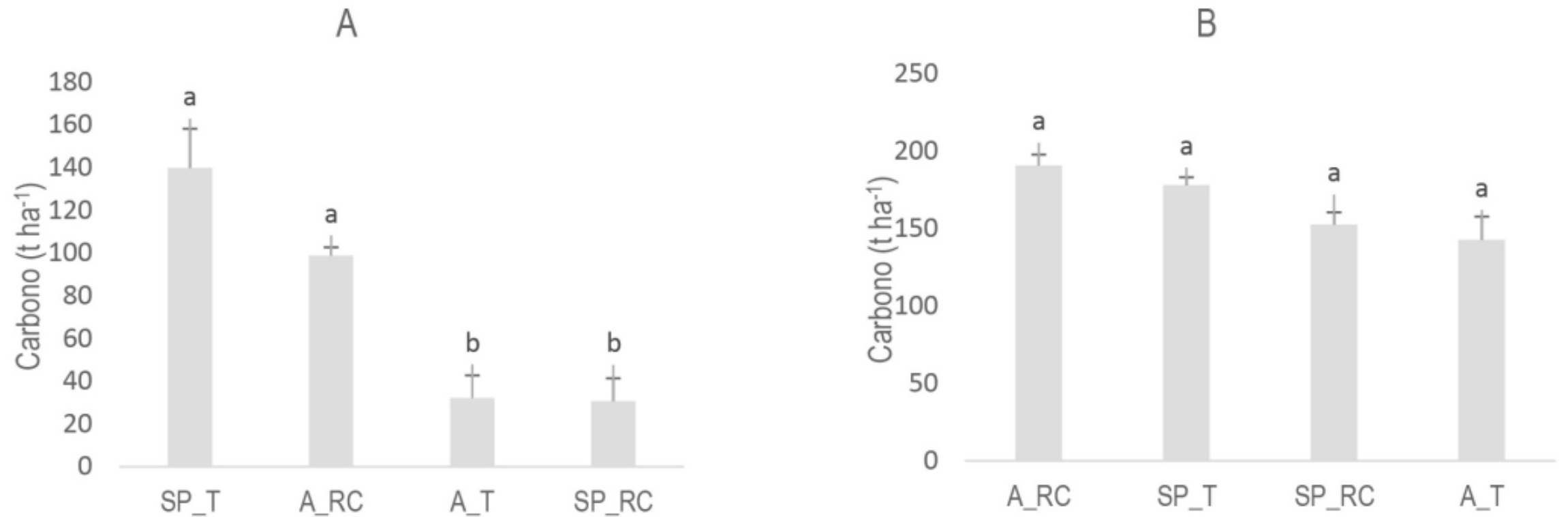
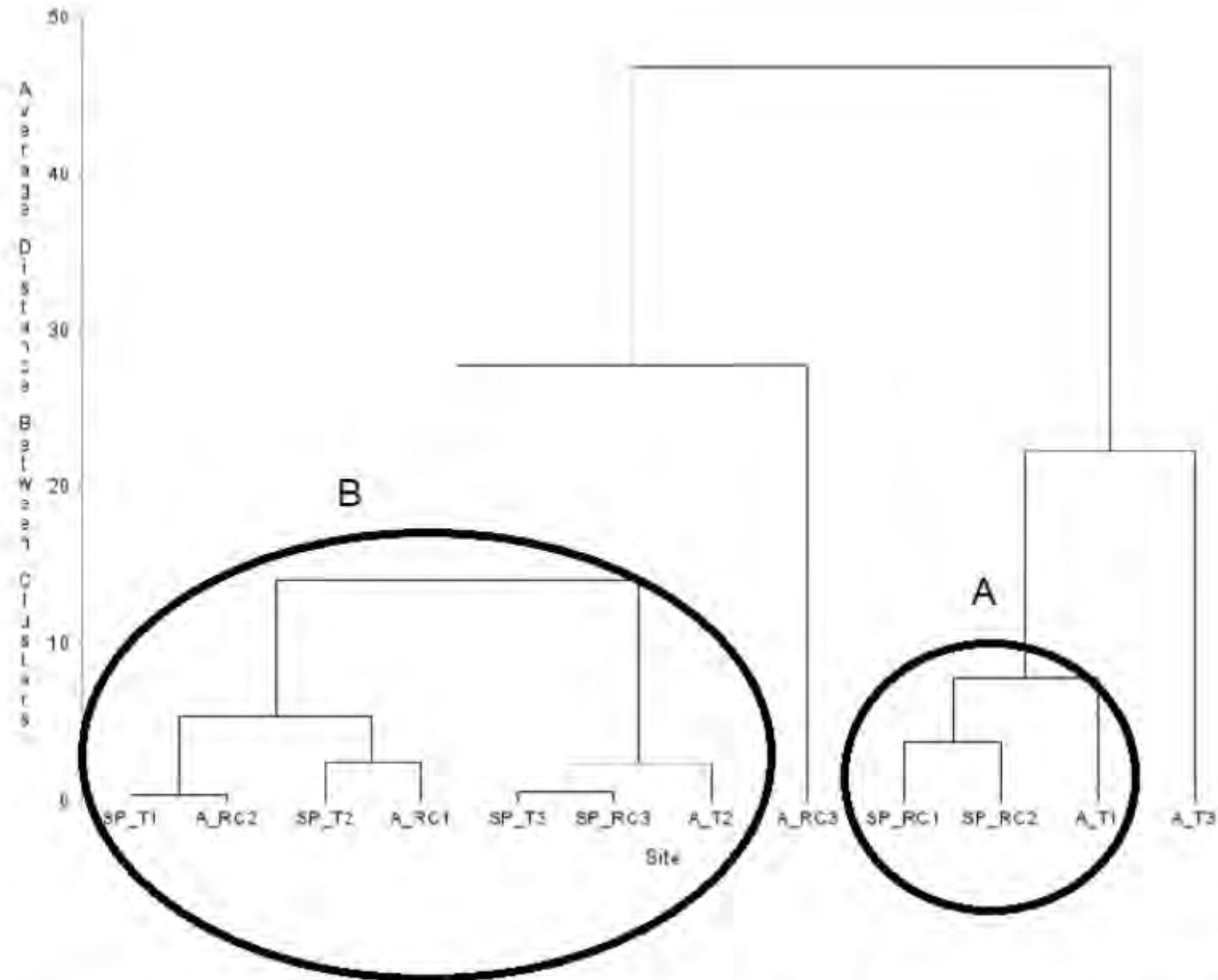


Figura 2. Secuestro de carbono en la estructura arbórea (A) vs piso forestal (B) entre tratamientos silvícolas de comunidades no certificadas y certificadas por FSC. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05). Las líneas verticales sobre las barras indican el error estándar, SP = San Pedro, A = Atepec, RC = Regeneration cut, T = Thinning.



Actividades como aclareos y otros tratamientos silvícolas, actividades de abastecimiento maderable, tratamientos complementarios como corte y acomodo de residuos en curvas a nivel, protección y mantenimiento de las áreas de corta a las que obliga el FSC, repercuten en las reservas de C almacenado en el piso forestal a través de los años. Las actividades de manejo forestal asociadas a la certificación, el tratamiento silvícola (TS) **aclareo genera mayores reservas de C en la estructura arbórea (107.57 tC ha⁻¹), que representa 334 % más C respecto al manejo forestal sin certificación.**

Figura 3. Interacción de los sitios de muestreo entre grupo de control y tratamiento. SP = San Pedro (certificado con FSC), A = San Juan Atepec (no certificada), T = aclareo, CR = cortas de regeneración.

Los bosques comunitarios en ambas localidades con manejo forestal maderable, certificados o no por el Forest Stewardship Council (FSC), pueden incrementar en 120.2 % (90.61 tC ha⁻¹) el secuestro de carbono (C), al incorporar el piso forestal a los montos almacenados en el C estructural del árbol (75.26 tC ha⁻¹).



Se observa que los rodales bajo el FSC, generan en cualquier TS mayores reservas de C estructural arbóreo (39.52 tC ha⁻¹). Anivel piso forestal los montos de C no se diferenciaron entre comunidades (con FSC vs. sin FSC), generando 165.97 tC ha⁻¹, independiente del TS que se aplique.

Revista Mexicana de Agroecosistemas

<https://rmae.voaxaca.tecnm.mx/>

*Revista Mexicana
de Agroecosistemas*
ISSN 2007-9559

Difusión Via Red de Cómputo

Sistema Regional de Información
en Línea para Revistas Científicas
de América Latina, el Caribe, España y Portugal

latindex

INICIO ▾ ACERCA DE ▾ ENVIOS ▾ VOLÚMENES ▾

Bienvenido

Vol. 9 Número 1, Enero-junio 2022





USFS | MEX



Colegio de
Postgraduados



Planificación forestal multi-objetivo:

opciones para la gestión del bosque de San Pedro El Alto

TALLER

“Gestión forestal comunitaria: Avances científicos, técnicos y silvícolas en bosques de San Pedro el Alto”

Presentan:
José René Valdez Lazalde, Elizabeth Serrano Ramírez

ABRIL 2023



CONTENIDO

01

Gestión forestal
sostenible: *contexto*

02

Planificación forestal

03

Optimización multiobjetivo

04

Caso de estudio: *San
Pedro el Alto*

01

Gestión forestal sostenible

An aerial photograph of a dense forest with a wooden boardwalk or path running through the center. The trees are lush green, and the path is made of light-colored wooden planks. The overall scene is serene and natural.

01

Gestión forestal sostenible

Contexto: ¿qué es? ¿manejo forestal? vs ¿gestión forestal?

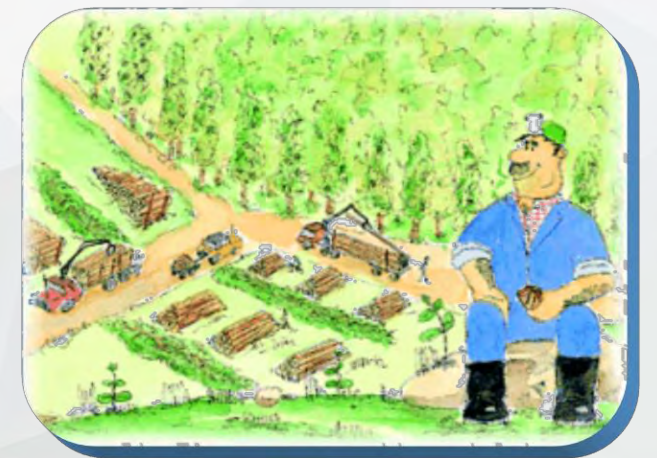
❖ Proceso de toma de decisiones que implica la aplicación práctica de la ciencia, la tecnología y la economía a una propiedad forestal, para la producción de ciertos bienes deseados en forma eficiente (Brassnet, 1953).

ciencia = dasonomía

tecnología = silvicultura, equipo, maquinaria

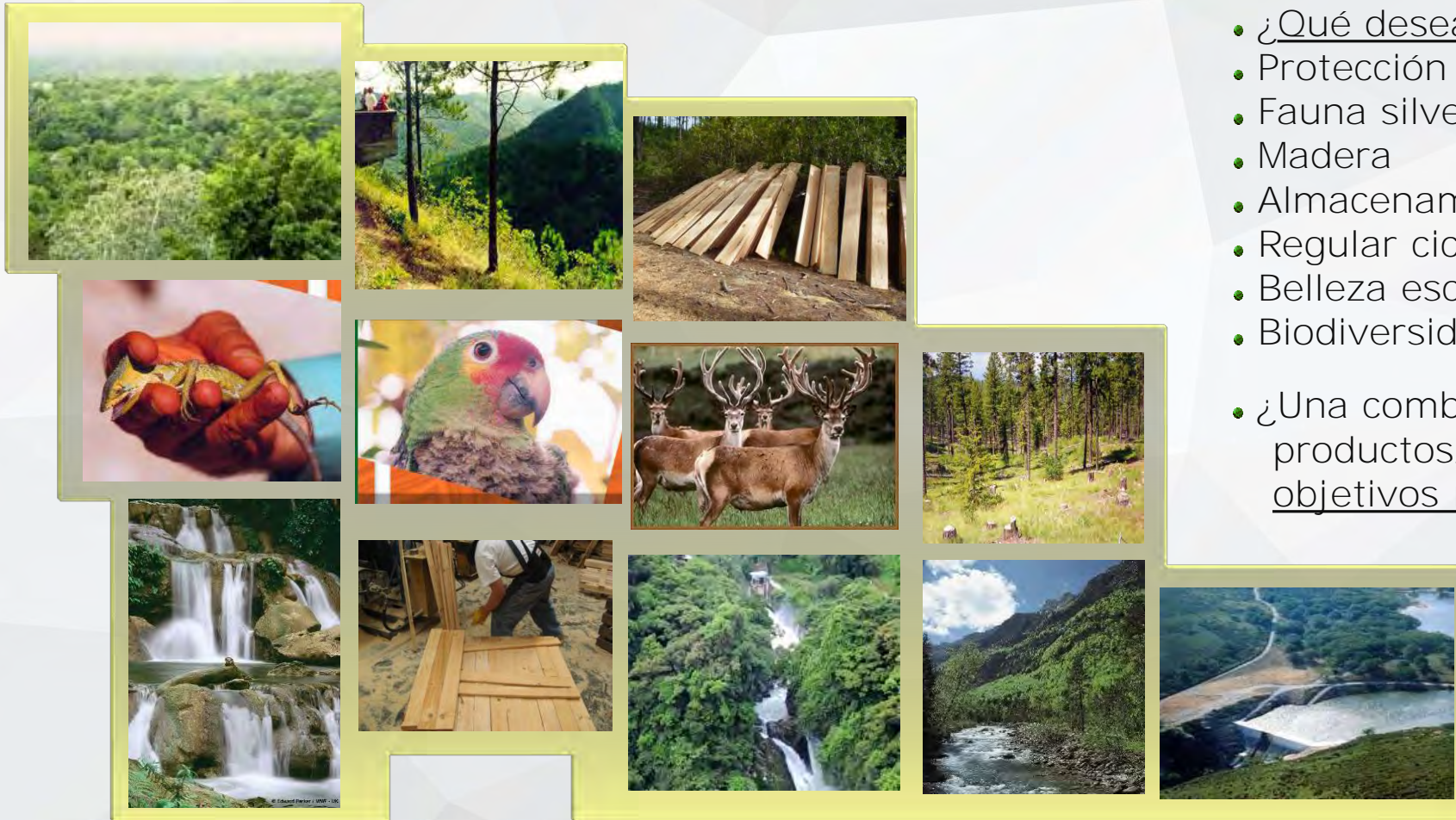
economía = administración eficaz y razonable de los bienes

legalidad



01 Gestión forestal sostenible

Objetivos de uso/producción



- ¿Qué desean producir?
- Protección del suelo
- Fauna silvestre
- Madera
- Almacenamiento de carbono
- Regular ciclo del agua
- Belleza escénica – Ecoturismo
- Biodiversidad

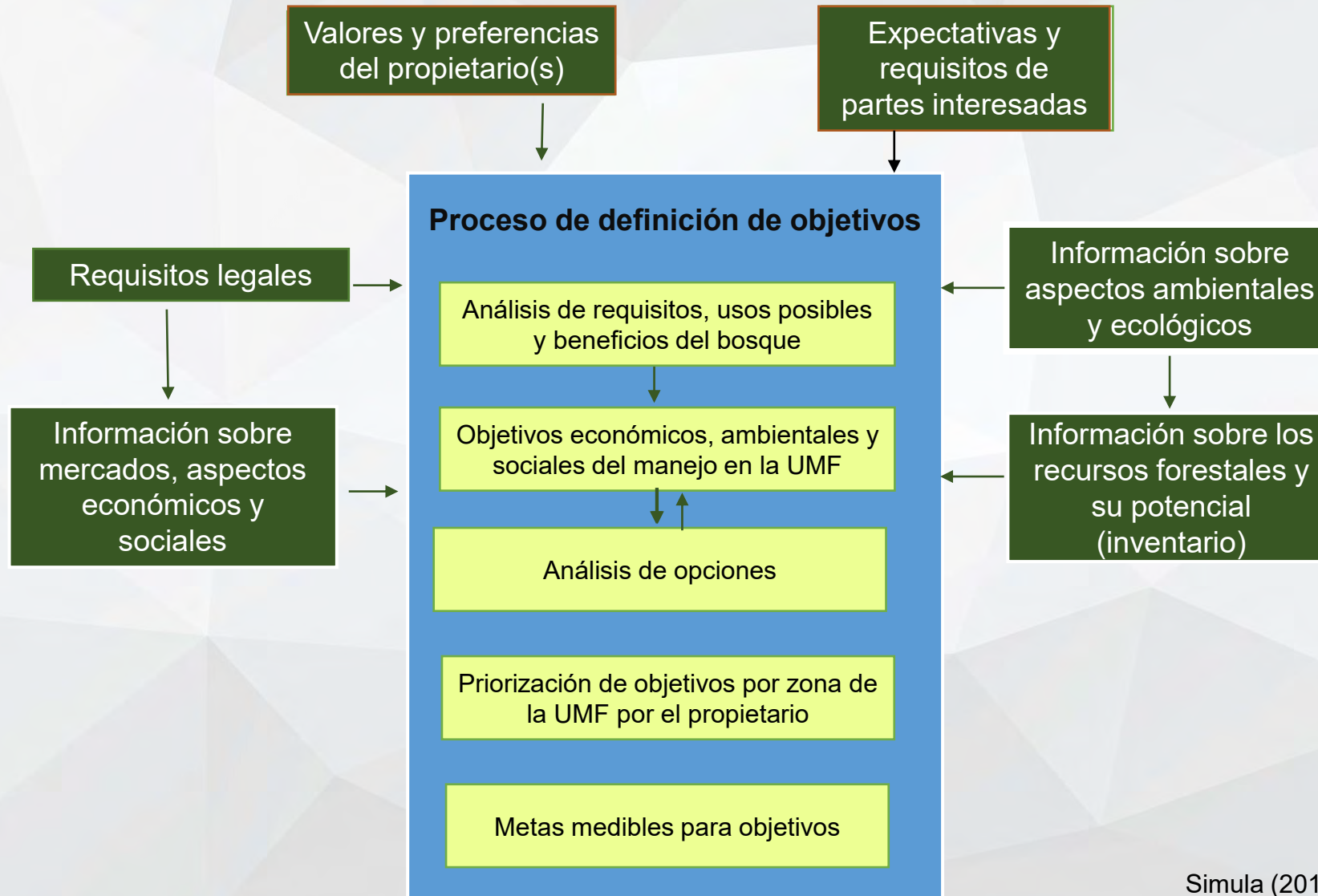
- ¿Una combinación de productos/servicios, objetivos múltiples?

¿Qué objetivos esperan lograr los dueños mediante la gestión de sus recursos?

01

Gestión forestal sostenible

Contexto: objetivos de uso/producción



01

Gestión forestal sostenible

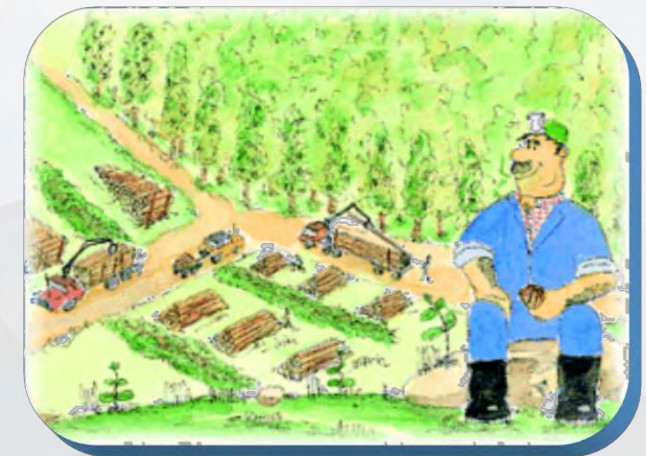
Gestión = administración = manejo (anglicismo "management")

❖ La aplicación de métodos administrativos y principios técnicos forestales, para la operación de la propiedad forestal (Davis, 1966)

❖ Es fundamentalmente un proceso de toma de decisiones que involucra un proceso/subproceso de planificación intensivo



PLANEACIÓN



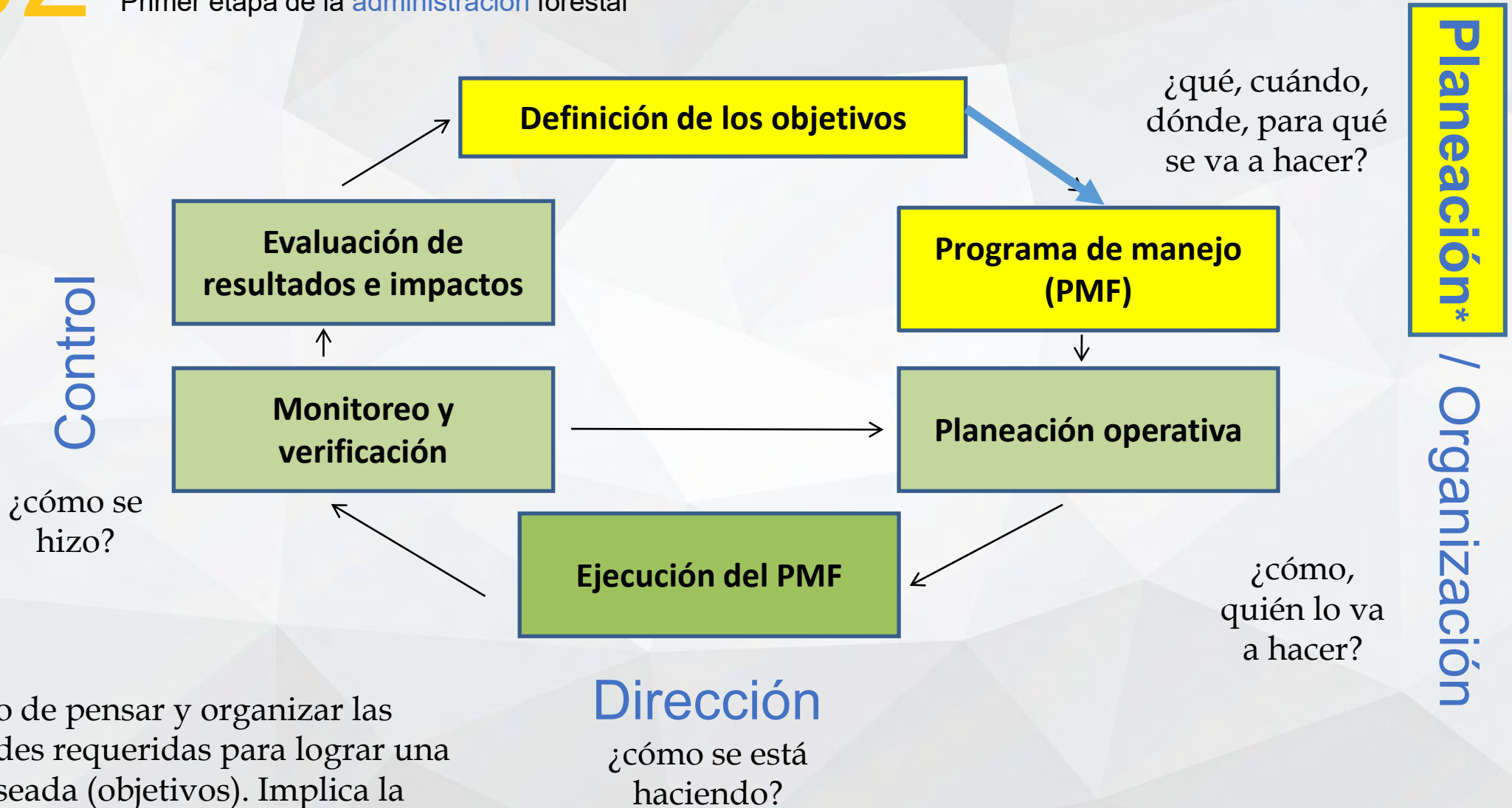
02

Planificación forestal

An aerial photograph of a dense forest with a wooden boardwalk or path running through the center. The trees are lush green, and the path is made of light-colored wooden planks. The overall scene is captured from a high angle, looking down into the forest.

02 Planificación forestal

Primer etapa de la **administración** forestal

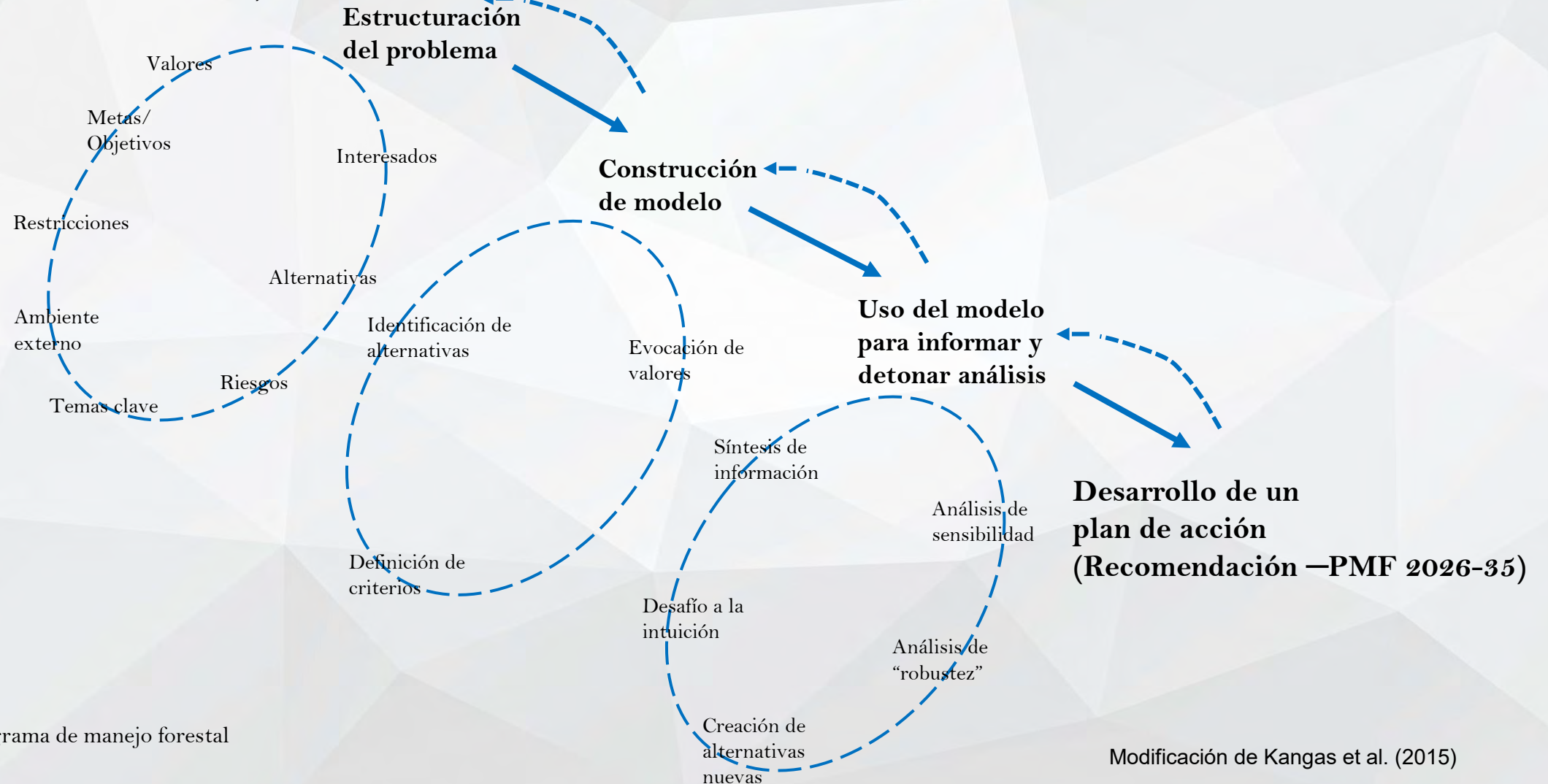


* Proceso de pensar y organizar las actividades requeridas para lograr una meta deseada (objetivos). Implica la creación y el mantenimiento de un plan.

02 Planificación forestal

Primer etapa de la **administración forestal**

Identificación del problema
(Elaborar el PMF 2026-35)



03



Optimización multi-objetivo

03 Optimización multi-objetivo

Introducción



La planificación forestal ha evolucionado de una producción con objetivos meramente económicos (basados en la producción únicamente de madera) a un enfoque de gestión forestal multifuncional.

03

Gestión multi-objetivo

Introducción

La gestión de los bosques para uso múltiple es el nuevo desafío del siglo XXI, pues plantea armonizar los valores ecológicos, económicos y socioculturales de los ecosistemas forestales sobre una base sostenible, diversificando la gestión forestal, no sólo a nivel de rodal sino también a nivel paisaje, incluyendo la participación de los poseedores del recurso.



03 Optimización multi-objetivo

Contexto

Uno de los métodos más populares para abordar la gestión forestal sostenible de uso múltiple es la

optimización multi-objetivo

Consideran dos o más objetivos que suelen estar en conflicto, y como es poco probable que exista una solución única que cumplir con todos los objetivos, emplea algoritmos heurísticos para realizar una búsqueda eficiente de soluciones “aceptables” en un tiempo “razonable”



03

Optimización multi-objetivo

Contexto

$$\text{Max (o min) } \{f_1(x), \dots, f_n(x)\}$$

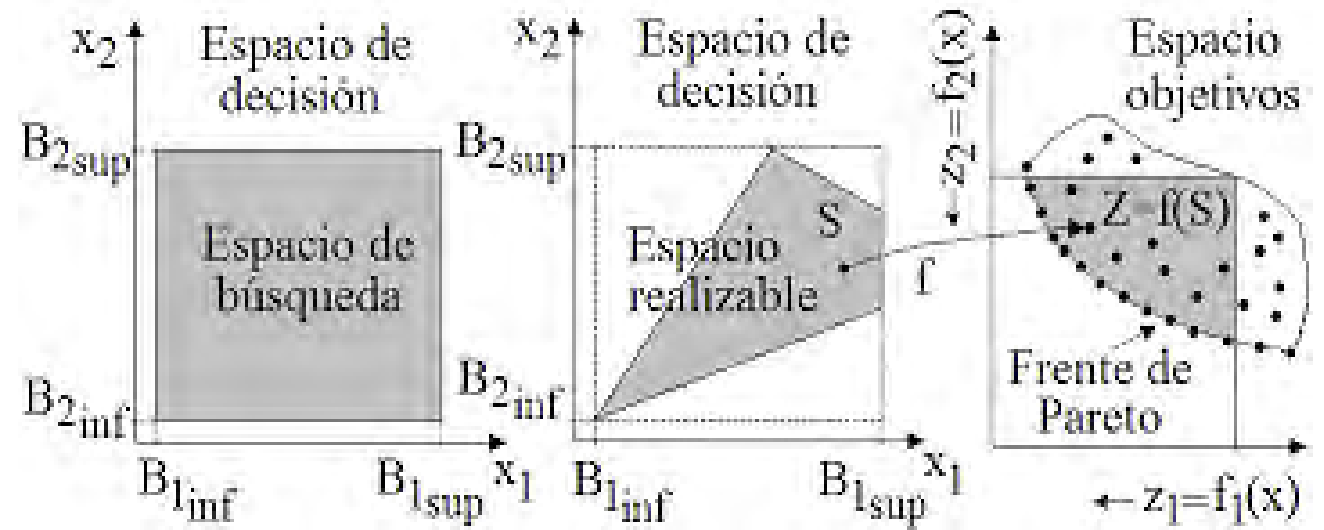
s.a.

$$g_j(x) \geq 0 \quad \forall j = 1, \dots, J$$

$$h_k(x) = 0 \quad \forall k = 1, \dots, K$$

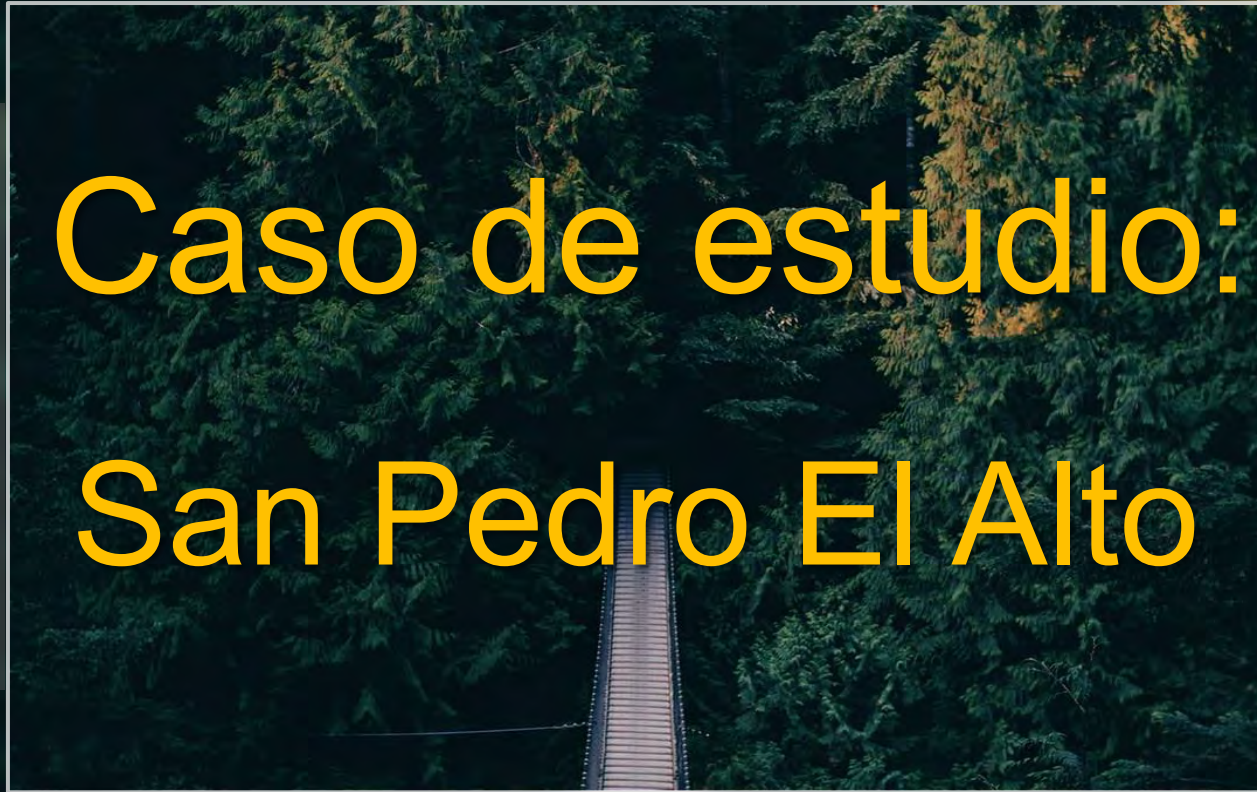
$$a_i \leq x_i \leq b_i \quad \forall i = 1, \dots, I$$

$$x = (x^i, x^r) \text{ donde } x_i \in \mathbb{Z}^c \text{ y } x_i \in \mathbb{R}^{n-c}$$



04

Caso de estudio:
San Pedro El Alto



04 Caso de estudio

Antecedentes

Son pocos los ejidos y comunidades en donde la extracción y comercialización regulada de madera ha favorecido la reducción de la pobreza y mantenido la cobertura forestal.

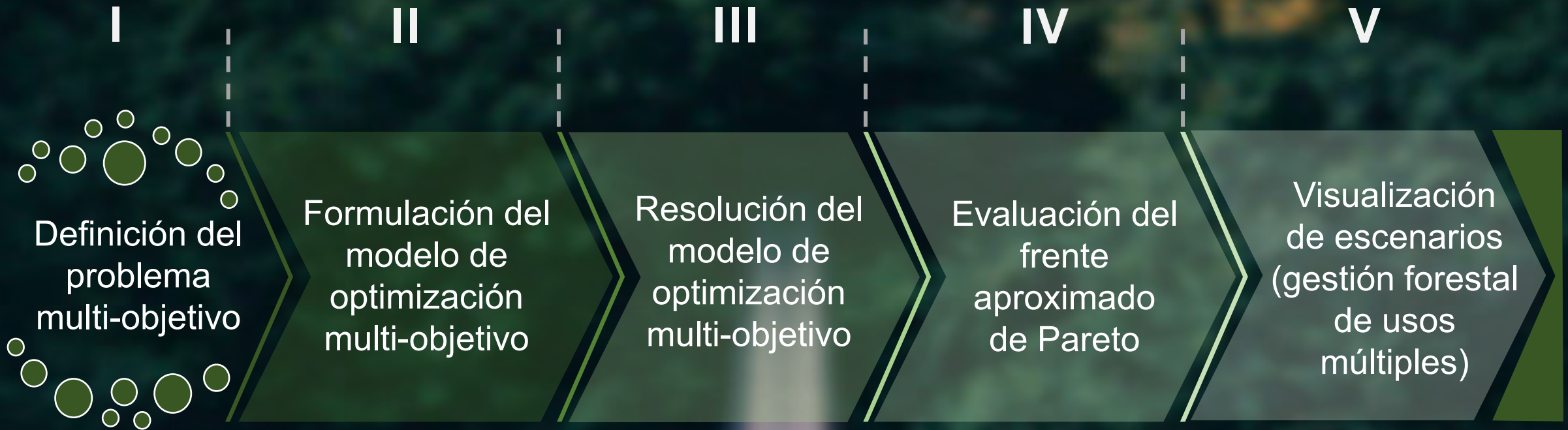


SAN PEDRO EL ALTO, OAXACA

Sin embargo, la mayoría de ellos cuentan con PMF inadaptados a los requerimientos actuales de gestión sostenible que resguarde cada uno de sus tres pilares:
economía, sociedad y medio ambiente

04 Caso de estudio

Metodología



Maximización del beneficio económico derivado de la cosecha de madera y prestación de servicios ecosistémicos

04 Caso de estudio

Metodología



Minimización de la brecha salarial de los trabajadores que participan en las actividades de manejo forestal

Minimización del impacto ecológico al paisaje por actividades de aprovechamiento

Definición del problema multi-objetivo

04 Caso de estudio

Metodología

Modelo matemático

$$\varphi = \delta_N + \gamma_N + \beta_N$$

sujeto a

$$\sum_{i=1}^N V_{ik} \geq 1 \quad \forall \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (1) \quad \sum_{i,i'=1,i \neq i'}^N U_{ii'k} \leq F_k \quad \forall \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^T \sum_{z=1}^Z T_{iz} = 1 \quad \forall \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (3) \quad Mu_j \leq \sum_{s=1}^S Ps_j \leq Mo_j \quad \forall \quad j = 1, 2, \dots, T \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^T \sum_{\{i:(i,i') \in N\}} Z_{ii'j} - \sum_{j=1}^T \sum_{\{i:(i,i) \in N\}} Z_{ii'j} \geq K_{ij} - MR_{ij} \quad (5) \quad \sum_{i=1}^N R_{ij} \geq 1 \quad \forall \quad j = 1, 2, \dots, T \quad (6)$$

$$\sum_{\{i:(i,i') \in N\}} Z_{ii'j} \leq (M-1)K_{ij} \quad \forall \quad j = 1, 2, \dots, T \quad (7) \quad Z_{ii'j} \geq 0 \quad \forall \quad j = 1, 2, \dots, T; \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (8)$$

$$H_j = \sum_{a=1}^A H_a \quad \forall \quad j = 1, 2, \dots, T \quad (9) \quad \sum_{a=1}^A ST_a = ddc \quad (10)$$

$$ddc = SdC - \sum_{a=1}^A Sc_a \quad (11) \quad ST_a \leq SE_a \quad (12)$$

$$SE_a \begin{cases} 0 & \text{si } g_a \leq 0 \\ S_a - LS_a & \text{si } g_a > 0 \end{cases} \quad (13) \quad Asc \leq SCmax \quad (14)$$

$$TA_{j+10} \geq TA_j \quad \forall \quad j = 1, 2, \dots, T-10 \quad (15) \quad X_j, Y_j \geq 0 \quad \forall \quad j = 1, 2, \dots, T \quad (16)$$

$$\max \gamma = \sum_{j=1}^T \sum_{r=1}^R DI_r Pt_j \pi_{rj} \quad (17) \quad Pt_j \cdot \pi_{rj} \leq Fe_r \quad \forall \quad r = 1, 2, \dots, R \quad (18)$$

$$\pi_{1j} - 2\pi_{2j} \geq 0 \quad (19) \quad \pi_{2j} - 2\pi_{3j} \geq 0 \quad (20)$$

$$\pi_{3j} - 2\pi_{4j} \geq 0 \quad (21) \quad \pi_{3j} - 2\pi_{5j} \geq 0 \quad (22)$$


$$\sum_{r=1}^R Inf_{rj} \cdot Pt_j \cdot \pi_{rj} \leq \theta \frac{X_j - Y_j}{(1+IR)^j} \quad \forall \quad j = 1, 2, \dots, T \quad (23) \quad \sum_{r=1}^R \pi_{rj} = 1 \quad \forall \quad j = 1, 2, \dots, T \quad (24)$$


$$\pi_{rj} \geq 0 \quad \forall \quad j = 1, 2, \dots, T \quad (25) \quad Z_j \geq 0 \quad \forall \quad j = 1, 2, \dots, T \quad (26)$$

$$\delta, \gamma, \beta \geq 0 \quad (27)$$



Formulación del modelo de optimización multi-objetivo

 Ecológico

 Social

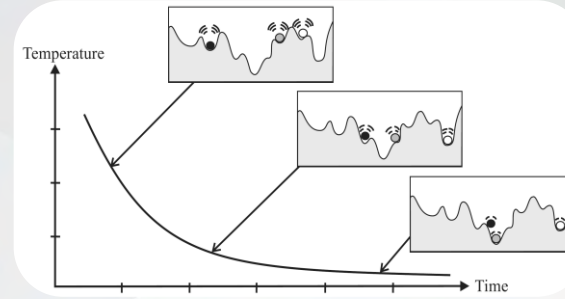
 Económico

Algoritmo "Recocido simulado (simulated annealing)"

Algorithm 1 Simulated annealing algorithm.

```

1: while  $l \leq L$  or  $|m(\theta^{(l)}) - m(\theta^{(l-1)})| < \delta$ , for objective function  $m$  do
2:   Randomly generate a candidate state  $\theta_*^{(l)}$ ,  $l \geq 1$ 
3:   if  $\theta_*^{(l)}$  has a lower objective function than  $\theta^{(l-1)}$  then
4:     set  $\theta^{(l)} = \theta_*^{(l)}$ 
5:   else if  $\rho = \exp\{-\Delta h_l / t(l)\} \geq U_l$ , where  $\Delta h_l = m(\theta^{(l-1)}) - m(\theta_*^{(l)})$  and  $U_l \sim \text{Uniform}(0, 1)$  then
6:     set  $\theta^{(l)} = \theta_*^{(l)}$ 
7:   else
8:     set  $\theta^{(l)} = \theta^{(l-1)}$ 
9:   end if
10: end while
    
```



Algoritmo "Genético (genetic algorithm)"

Input:

Population Size, n
Maximum number of iterations, MAX

Output:

Global best solution, Y_{bt}

begin

Generate initial population of n chromosomes Y_i ($i=1,2,\dots,n$)

Set iteration counter $t=0$

Compute the fitness value of each chromosomes

while ($t < MAX$)

Select a pair of chromosomes from initial population based on fitness

Apply crossover operation on selected pair with crossover probability

Apply mutation on the offspring with mutation probability

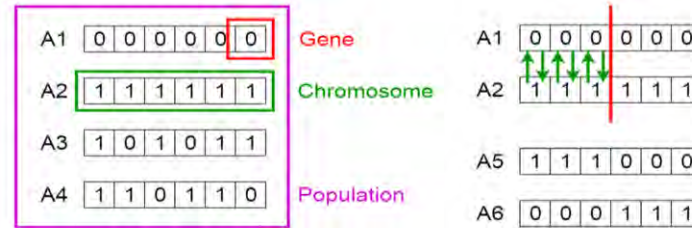
Replace old population with newly generated population

Increment the current iteration t by 1.

end while

return the best solution, Y_{bt}

end

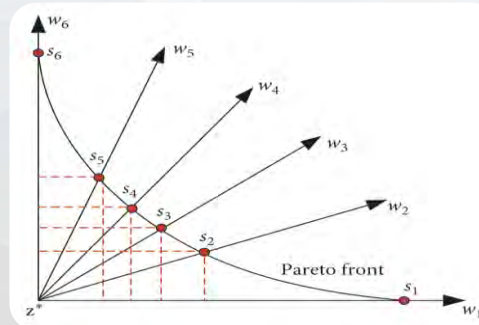


Algoritmo "MOEA/D (multiobjective evolutionary algorithm based on decomposition)"

Algorithm 2. Selection Probability Update

```

1: Input: The population  $P_k$  and objective vector  $PF_k$ ,  $k=1, \dots, K$ .
2: if  $\text{mod}(t, \Delta T) = 0$  then
3:   for  $k=1$  to  $K$  do
4:     for  $i=1$  to  $N$  do
5:       Calculate the relative improvement  $\mu_k^i$  as Eq. (6).
6:       Calculate the probability of improvement  $PoI_k^i$  as Eq. (7).
7:     end for
8:   end for
9:   Apply fast non-dominate sorting for  $\cup_{k=1}^K PF_k$  to obtain the non-dominated rank matrix  $r$  and calculate the dominance utility  $u$  as Eq. (8).
10:  Calculate the probability of dominance  $PoD$  as Eq. (9).
11:  Update the selection probability  $p$  as Eq. (10).
12: end if
13: Output: The selection probability  $p$ .
    
```



04 Caso de estudio

Metodología



Resolución del modelo de optimización multi-objetivo

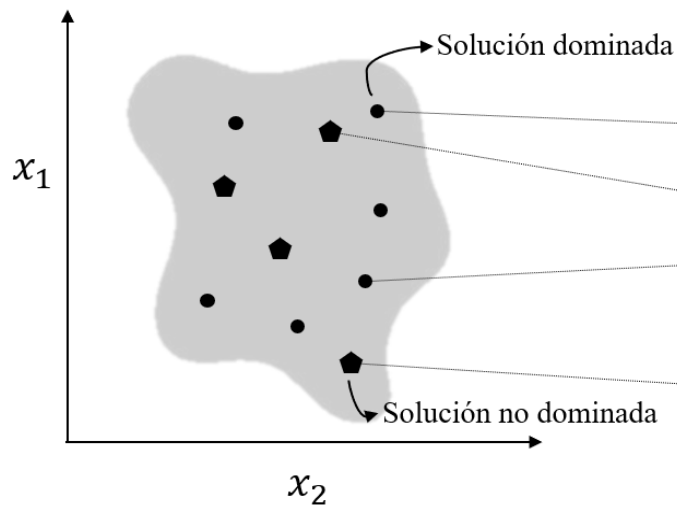
04 Caso de estudio

Metodología

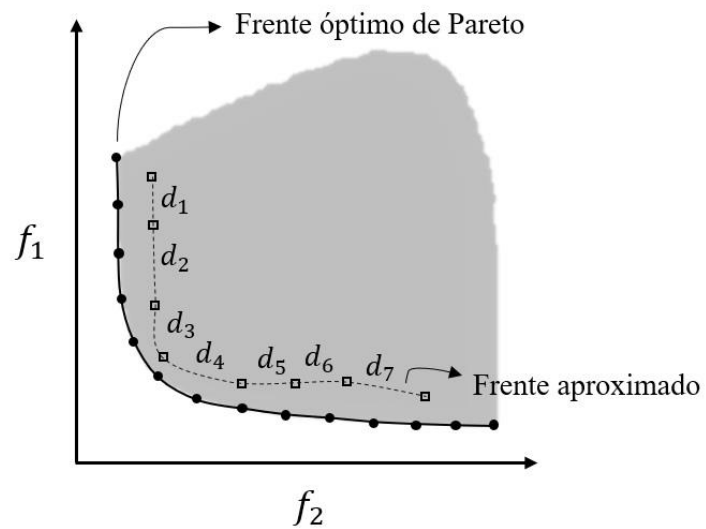
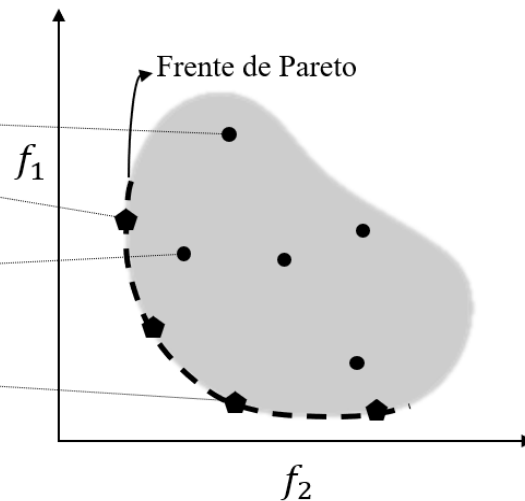
IV

Evaluación del frente aproximado de Pareto

Espacio de variables de decisión

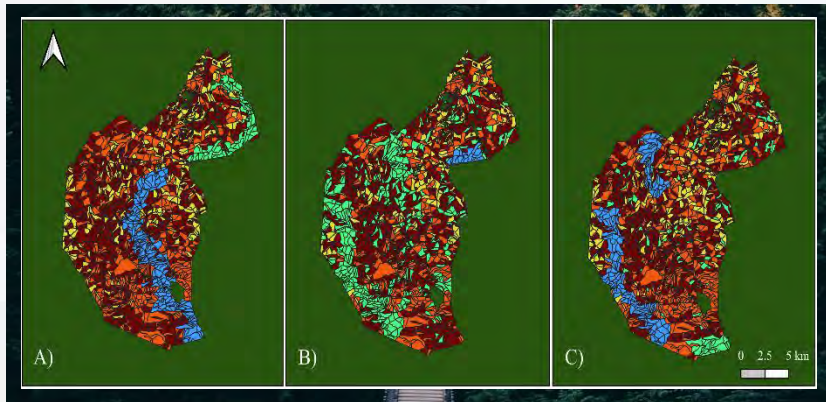
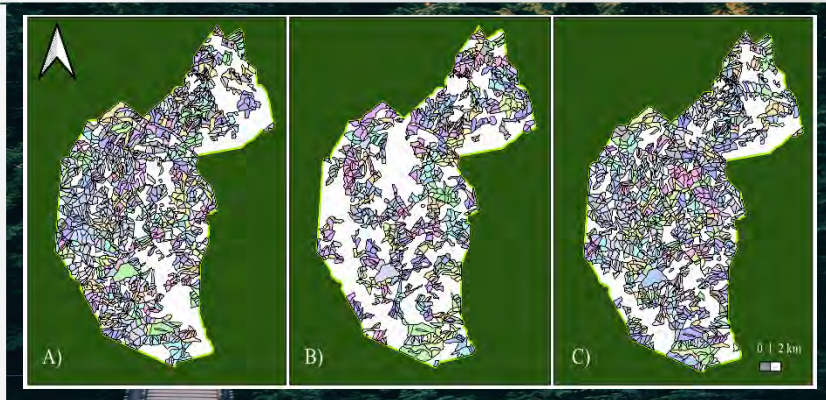
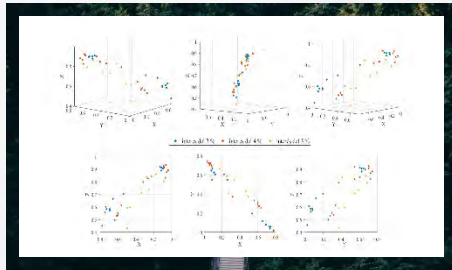
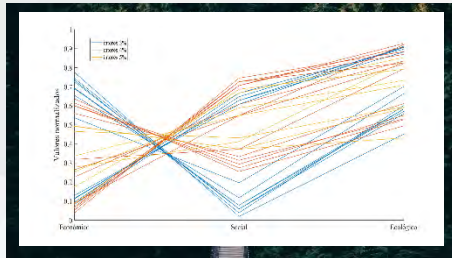
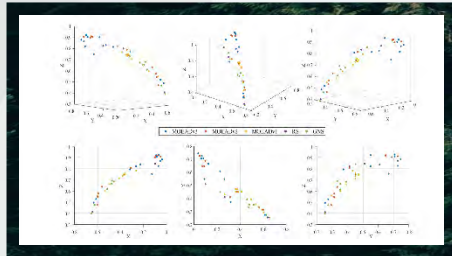


Espacio de funciones objetivo



04 Caso de estudio

Metodología



Visualización
de escenarios
(usos múltiples)



04 Caso de estudio

Resultados

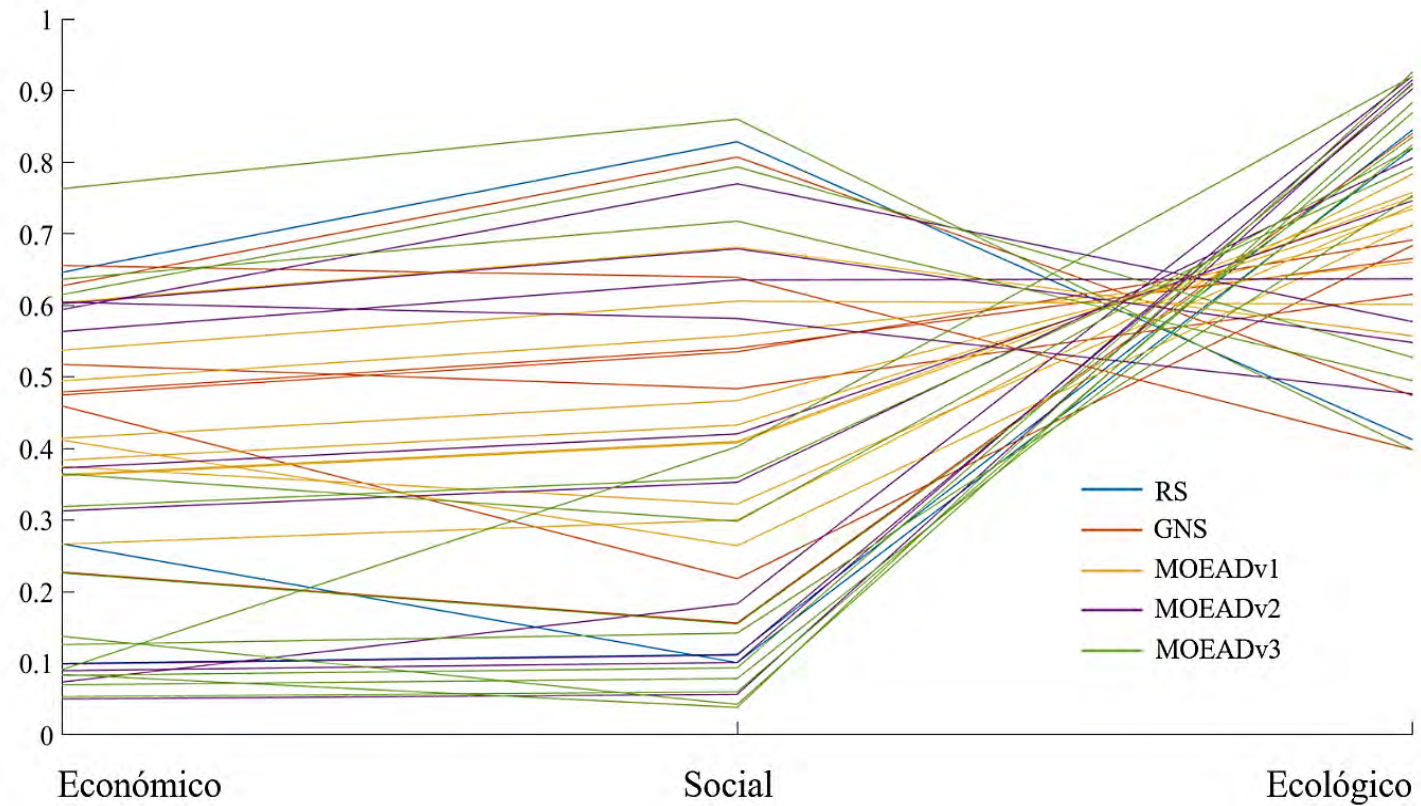
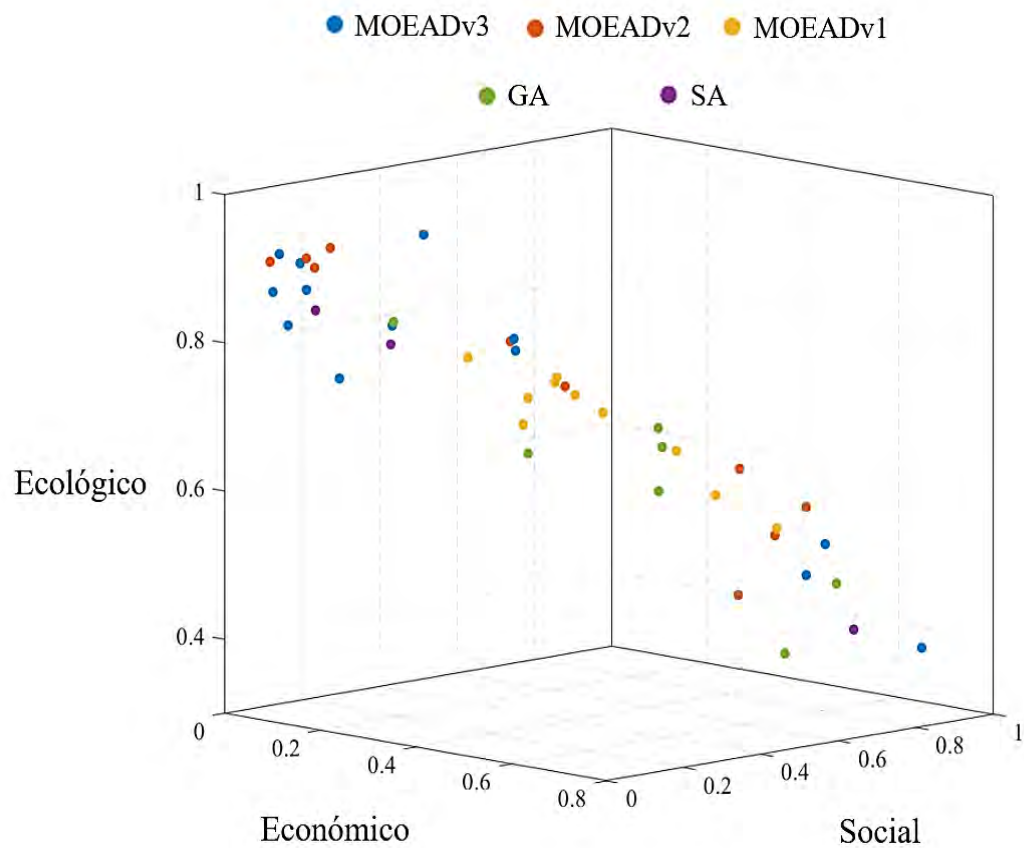
Rendimiento y desempeño de los algoritmos al resolver el problema multi-objetivo

	$\#U-MW$				$\$HP$	$\%S$	Tiempo de solución	
	GA	MOEADv1	MOEADv2	MOEADv3			(s)	(min)
SA	6.6E-03	1.3E-03	3.0E-05	1.2E-05	0.39	0.31	2229	37
GA	-	0.34	1.2E-03	2.0E-03	0.29	0.14	1714	29
MOEADv1	-	-	3.8E-03	1.7E-02	0.27	0.06	1067	18
MOEADv2	-	-	-	0.94	0.63	0.05	1073	18
MOEADv3	-	-	-	-	0.66	0.07	1069	18

SA: recocido simulado, GA: algoritmo genético, $\#U-MW$: prueba U de Mann-Whitney, $\$HP$: hipervolumen, $\%S$: espaciamento.

04 Caso de estudio

Resultados



04 Caso de estudio

Resultados

Soluciones con más alto valor en el objetivo económico y ecológico (B)

			Escenario	
			A	B
Valor del objetivo (0 - 1)	Económico	(γ_N)	0.76	0.08
	Social	(β_N)	0.86	0.38
	Ecológico	(δ_N)	0.39	0.93
VNP (MX\$ millones/turno)			5719.99	633.55
Usos potenciales del bosque (número total de rodales asignados)	α BApI	(787)	702	787
	ρ BApE	(472)	366	508
	$\$$ BBpE	(290)	171	245
	\uparrow SC	(90)	548	88
	\dagger CB	(168)	20	179

α BApI: bosque de alta productividad con potencial de aprovechamiento intensivo

$\$$ BBpE: bosque de baja productividad con potencial de aprovechamiento extensivo

ρ BApE: bosque de alta productividad con potencial de aprovechamiento extensivo

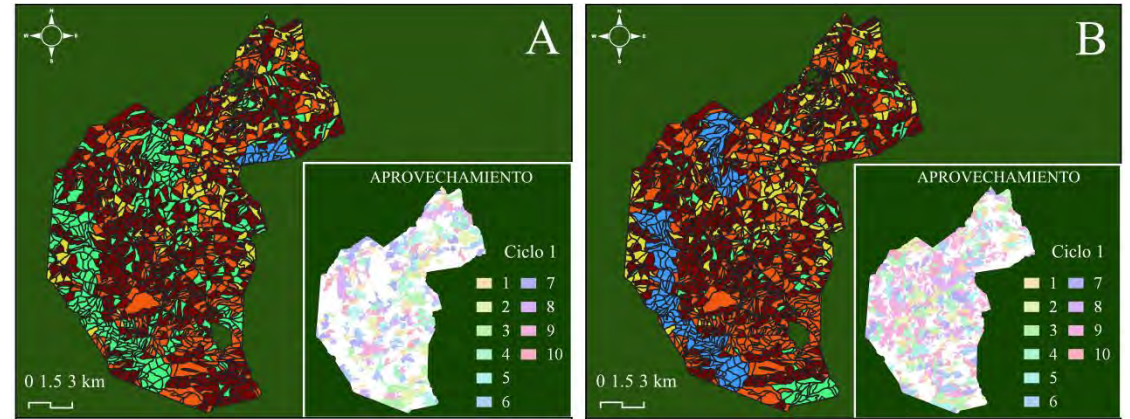
\uparrow SC: sumideros de carbono

CB: conservación de biodiversidad

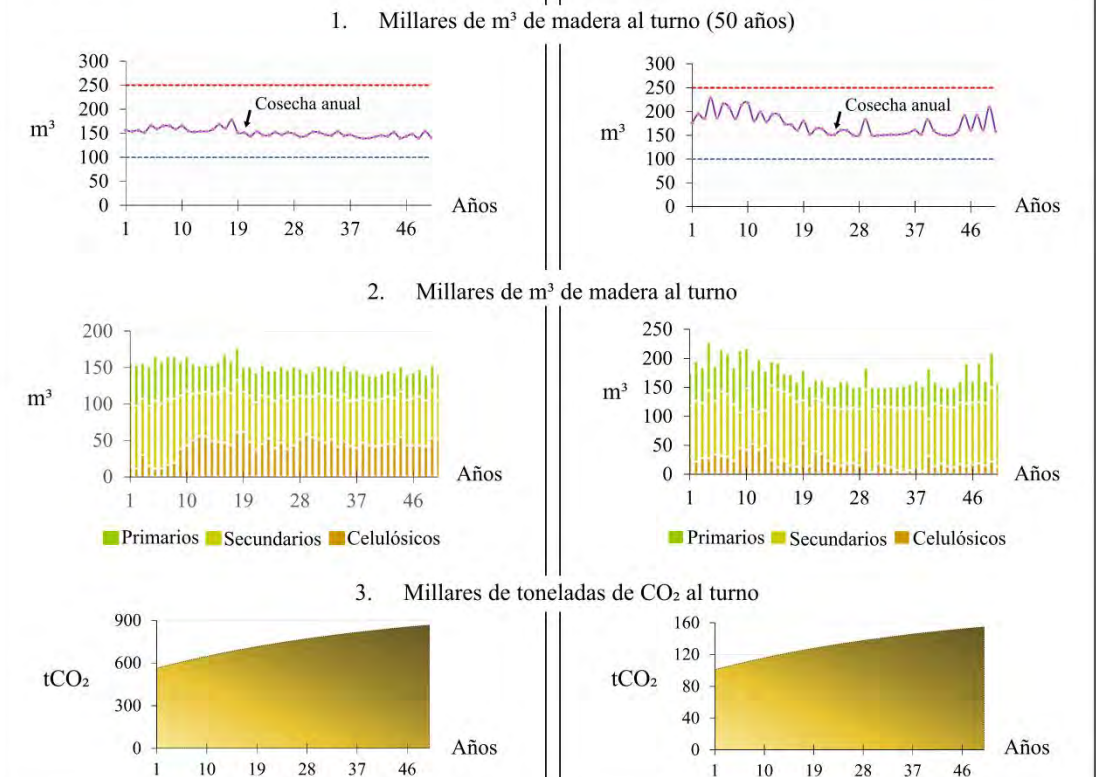
04 Caso de estudio

Resultados

ESTRATOS SALARIALES



11358 ha	Bosque de alta productividad con potencial de aprovechamiento intensivo (BApI)	12440 ha	Bosque de alta productividad con potencial de aprovechamiento intensivo (BApI)
6409 ha	Bosque de alta productividad con potencial de aprovechamiento extensivo (BApE)	7414 ha	Bosque de alta productividad con potencial de aprovechamiento extensivo (BApE)
2959 ha	Bosque de baja productividad con potencial de aprovechamiento extensivo (BBpE)	4265 ha	Bosque de baja productividad con potencial de aprovechamiento extensivo (BBpE)
8119 ha	Bosque sumidero de carbono (SC)	1604 ha	Bosque sumidero de carbono (SC)
407 ha	Bosque para la conservación de biodiversidad (CB)	3527 ha	Bosque para la conservación de biodiversidad (CB)



04 Caso de estudio

Conclusiones

Multifuncionalidad forestal

Motor esencial para garantizar la persistencia de los bosques.

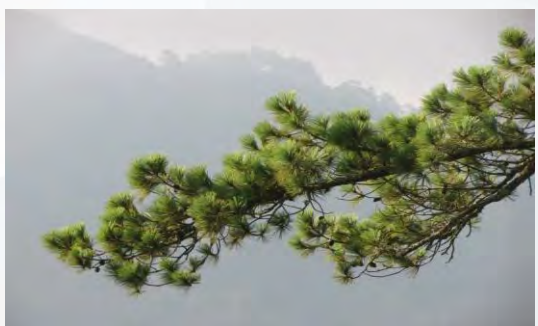


**SERVICIOS
ECOSISTÉMICOS**



**PRODUCCIÓN
RENTABLE**

**PLANIFICACIÓN
INTEGRADA**



Gestión forestal diversificada

No sólo a nivel de rodal, sino también sobre el paisaje.

04 Caso de estudio

Conclusiones



Optimización multi-objetivo permite considerar simultáneamente múltiples objetivos de gestión, permitiendo a los tomadores de decisiones, visualizar el impacto de sus decisiones a nivel de paisaje y con ello a elegir la estrategia que mejor combine con sus intereses.



USFS | MEX



Colegio de
Postgraduados



Gracias

por su atención

CONTACTO

valdez@colpos.mx

serrano.elizabeth@colpos.mx