

COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN
EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO
POSTGRADO FORESTAL

Estructura y regeneración de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis*

D. K. Bailey en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala.

JENNI ARLETT CARRILLO FLORES

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2009

La presente tesis titulada “Estructura y regeneración de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala”, realizada por JENNI ARLETT CARRILLO FLORES bajo la dirección del consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de :

MAESTRA EN CIENCIAS
FORESTALES

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:

Dr. Gregorio Angeles Pérez

ASESOR:

Dr. Vidal Guerra de la Cruz

ASESOR:

Dr. Javier López Upton

ASESOR:

Dr. Héctor. Manuel de lo Santos Posadas

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Octubre de 2009

El presente trabajo se llevó a cabo bajo el financiamiento del Fondo Sectorial CONAFOR-CONACYT a través del proyecto 42031: “Programa de Investigación y Transferencia de Tecnología para el manejo Sustentable de Poblaciones de Pino Piñonero (*Pinus cembroides* subsp. *orizabensis*) en el ejido Santa María Las Cuevas, Tlaxcala”

AGRADECIMIENTOS

- 🇲🇽 Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) fue posible realizar este estudio de Maestría.

- 🇲🇽 Dr. Gregorio Ángeles Pérez, por darme la oportunidad de aprender un área muy interesante para mí, y ver los aspectos importantes de la ecología. Así mismo por ayudarme en la dirección en la investigación.

- 🇲🇽 Dr. Vidal Guerra, Dr. Javier López y Dr. H. Manuel de los Santos, por su dirección y sugerencias para mejorar la calidad del trabajo y realizar el trabajo de investigación en el estado de Tlaxcala.

- 🇲🇽 Comunidad de Santa María las Cuevas, Tlaxcala, por el apoyo en las diversas salidas a campo y las vivencias con la comunidad para poder llevar a cabo este estudio.

- 🇲🇽 Autoridades del Ejido de Santa María las Cuevas, Tlaxcala. Por permitir realizar la presente investigación para beneficio de la comunidad.

DEDICATORIA

- 🚩 Este trabajo esta dedicado a **DIOS y Virgen del Carmen**, por haberme dado la oportunidad de prepararme. Y a las personas más importantes en mi vida que son :
- 🚩 Mi mamá, papá son las personas que me han apoyado en toda mi vida y que gracias a su apoyo y confianza que me brindan llegue a realizar esta meta más en mi vida. **GRACIAS** por el apoyo incondicional y **AMOR** que me brindaron en todo momento en el transcurso de este trabajo. Los quiero mucho y **DIOS** los bendiga por ser los padres que son.
- 🚩 A mi hermano, por que a pesar de las distancias seguimos apoyándonos sonriendo a la vida con todas sus adversidades. Sabes que te quiero mucho y se que vamos a llegar muy lejos.
- 🚩 A mí ahijada Sarita y Familia; ya que desde que **DIOS** la puso en mis manos me dio un regalo hermoso en mi vida.
- 🚩 A todas las personas que colaboraron en campo, entre ellas amigos y personas de la comunidad, entre ellas: Rafa, Roger, Gabriel (Ka), Emilio, etc.
- 🚩 Y en especial a todos mis amigos que conocí en el transcurso de este estudio: Joseph, Martín, Deya, Dyan, Oscar, Esther, Karla Venegas, Reynita, Pat, Lili, Sandy, Oli y su familia que es como una segunda familia para mí (Marco, Juan C. Joaquín); y amigos que aún en la distancia están siempre presentes.

CONTENIDO

	Página
Índice de cuadros.....	vii
Índice de figuras.....	viii
Resumen.....	xii
Summary.....	xiii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Generalidades de las zonas áridas y semiáridas en México.....	4
2.2. Antecedentes generales de los pinos piñoneros.....	5
2.3. Características de diferenciación entre <i>Pinus cembroides</i> y <i>P. cembroides</i> subsp. <i>orizabensis</i>	6
2.4. Estudios realizados con <i>Pinus cembroides</i> subsp. <i>orizabensis</i> y <i>Pinus cembroides</i>	8
2.5. Disturbio.....	12
2.5.1. Magnitud, frecuencia y predicción de los disturbios.....	13
2.6. Regeneración natural.....	13
2.7. Estructura del bosque.....	17
3. OBJETIVOS.....	20
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
4.1. Ubicación del área de estudio.....	21
4.2. Clima.....	21
4.3. Suelo.....	22
4.4. Vegetación.....	22
4.5. Trabajo de campo.....	22
4.6. Análisis de la información.....	23
4.6.1. Diversidad de especies (Diversidad alfa).....	24
4.6.2. Similitud florística (Diversidad beta).....	25
4.6.3. Patrón de distribución espacial.....	26

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
5.1. Estructura del bosque de <i>Pinus cembroides</i> subsp. <i>orizabensis</i>	28
5.1.1. Composición de especies.....	28
5.1.2. Distribución diamétrica.....	29
5.1.3. Relación diámetro-altura total.....	32
5.1.4. Diversidad de especies.....	33
5.2. Patrón de distribución y correlación espacial.....	40
5.3. Asociación intra-específica.....	40
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	59
7. LITERATURA CITADA.....	60

Índice de Cuadros

	Página
Cuadro 1	Composición de especies, densidad, área basal, frecuencia e índice de valor de importancia del bosque de <i>Pinus cembroides</i> subsp. <i>orizabensis</i> en el sitio el Piñonal en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala..... 30
Cuadro 2	Composición de especies, densidad, área basal, frecuencia e índice de valor de importancia del bosque de <i>Pinus cembroides</i> subsp. <i>orizabensis</i> en el sitio el Organito en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala..... 31
Cuadro 3	Densidad de individuos de <i>Pinus cembroides</i> subsp. <i>orizabensis</i> por estadio de desarrollo en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala..... 32
Cuadro 4	Valores del Índice de Shannon (<i>H'</i>), Índice de Equidad (E) y Índice de Jaccard (C _j) en el Piñonal y Organito en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala..... 38
Cuadro 5	Índice de Jaccard (C _j) para los sitios analizados, Piñonal y el Organito, en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala..... 38

Índice de Figuras

		Página
Figura 1	Distribución de <i>Pinus cembroides</i> subsp. <i>orizabensis</i>	8
Figura 2	Datos de precipitación y temperatura media anual de municipio de Altzayanca, Tlaxcala.....	21
Figura 3	Dimensiones y subdivisiones de las unidades muestrales (50 x 50 m).....	22
Figura 4	Distribución diamétrica de <i>Pinus cembroides</i> subsp. <i>orizabensis</i> en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala. a) Parcela Piñonal-1, b) Parcela Piñonal-2, y c) Parcela Piñonal-3.....	34
Figura 5	Distribución diamétrica de <i>Pinus cembroides</i> subsp. <i>orizabensis</i> en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala. a) Parcela Organito-1, b) Parcela Organito-2.....	35
Figura 6	Relación de diámetro-altura de <i>Pinus cembroides</i> subsp. <i>orizabensis</i> , en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala. a) Parcela Piñonal-1, b) Parcela Piñonal-2, y c) Parcela Piñonal-3.....	36
Figura 7	Relación de diámetro-altura de <i>Pinus cembroides</i> subsp. <i>orizabensis</i> en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala. a) Parcela Organito-1, b) Parcela Organito-2.....	37
Figura 8	Índice de diversidad de Shannon para las parcelas analizadas en el bosque de <i>Pinus cembroides</i> subsp. <i>orizabensis</i> , en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala. (P1-Piñonal-1, P2-Piñonal-2, P3-Piñonal-3, O1-Organito-1, O2-Organito-2).....	39
Figura 9	Distribución en planta de <i>Pinus cembroides</i> subsp. <i>orizabensis</i> en la parcela Piñonal-1 en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala. a) Plántulas (H<0.3 m), b) Brinzales (0.3≤H<2.0 m), c) Adultos (dap≥5 cm).....	44
Figura 10	Distribución en planta de <i>Pinus cembroides</i> subsp. <i>orizabensis</i> en la parcela Piñonal-2 en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala. a) Plántulas (H<0.3 m), b) Brinzales (0.3≤H<2.0 m), c) Juveniles (H≤2.0 m, dap<5 cm) y d) Adultos (dap≥5 cm).....	45
Figura 11	Distribución en planta de <i>Pinus cembroides</i> subsp. <i>orizabensis</i> en la parcela Piñonal-3 en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala. a) Plántulas (H<0.3 m), b) Brinzales (0.3≤H<2.0 m), c) Juveniles (H≤2.0 m, dap<5 cm) y d) Adultos (dap≥5 cm).....	46
Figura 12	Distribución en planta de <i>Pinus cembroides</i> subsp. <i>orizabensis</i> en la parcela Organito-1 en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala. a) Plántulas	

	($H < 0.3$ m), b) Brinzales ($0.3 \leq H < 2.0$ m), c) Juveniles ($H \leq 2.0$ m, $dap < 5$ cm) y d) Adultos ($dap \geq 5$ cm).....	47
Figura 13	Distribución en planta de <i>Pinus cembroides</i> subsp. <i>orizabensis</i> en la parcela Organito-2 en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala. a) Plántulas ($H < 0.3$ m), b) Brinzales ($0.3 \leq H < 2.0$ m), c) Juveniles ($H \leq 2.0$ m, $dap < 5$ cm) y d) Adultos ($dap \geq 5$ cm).....	48
Figura 14	Distribución espacial ($L(t)$) de <i>Pinus cembroides</i> subsp. <i>orizabensis</i> en la parcela Piñonal-1, en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala. a) Plántulas y b) Adultos. La línea sólida muestra los valores de $L(t)$ y las líneas discontinuas el intervalo de confianza con un 99% de confiabilidad.....	49
Figura 15	Distribución espacial ($L(t)$) de <i>Pinus cembroides</i> subsp. <i>orizabensis</i> en la parcela Piñonal-2, en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala. a) Plántulas y b) Brinzales, c) Juveniles y d) Adultos. La línea sólida muestra los valores de $L(t)$ y las líneas discontinuas el intervalo de confianza con un 99% de confiabilidad.....	50
Figura 16	Distribución espacial ($L(t)$) de <i>Pinus cembroides</i> subsp. <i>orizabensis</i> en la parcela Piñonal-3, en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala. a) Plántulas y b) Brinzales, c) Juveniles y d) Adultos. La línea sólida muestra los valores de $L(t)$ y las líneas discontinuas el intervalo de confianza con un 99% de confiabilidad.....	51
Figura 17	Distribución espacial ($L(t)$) de <i>Pinus cembroides</i> subsp. <i>orizabensis</i> en la parcela Organito-1, en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala. a) Plántulas y b) Brinzales, c) Juveniles y d) Adultos. La línea sólida muestra los valores de $L(t)$ y las líneas discontinuas el intervalo de confianza con un 99% de confiabilidad.....	52
Figura 18	Distribución espacial ($L(t)$) de <i>Pinus cembroides</i> subsp. <i>orizabensis</i> en la parcela Organito-2, en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala. a) Plántulas y b) Brinzales, c) Juveniles y d) Adultos. La línea sólida muestra los valores de $L(t)$ y las líneas discontinuas el intervalo de confianza con un 99% de confiabilidad.....	53
Figura 19	Matriz de correlación espacial $L_{12}(t)$ de la distribución bivariada para los estadios de desarrollo de <i>Pinus cembroides</i> subsp. <i>orizabensis</i> (Parcela Piñonal-1). I: Plántulas, y IV: Adultos. La línea sólida muestra los valores de $L_{12}(t)$ y las líneas discontinuas el intervalo de confianza con un 99% de confiabilidad.....	54
Figura 20	Matriz de correlación espacial $L_{12}(t)$ de la distribución bivariada para los estadios de desarrollo de <i>Pinus cembroides</i> subsp. <i>orizabensis</i> (Parcela Piñonal-2). I: Plántulas, II: Brinzales, III: Juveniles, y IV: Adultos. La línea sólida muestra los valores de $L_{12}(t)$ y las líneas discontinuas el intervalo de confianza con un 99% de confiabilidad de la relación de independencia.....	55
Figura 21	Matriz de correlación espacial $L_{12}(t)$ de la distribución bivariada para los estadios de desarrollo de <i>Pinus cembroides</i> subsp. <i>orizabensis</i> (Parcela Piñonal-3). I: Plántulas, II: Brinzales, III:	

Figura 22	Juveniles, y IV: Adultos. La línea sólida muestra los valores de $L_{12}(t)$ y las líneas discontinuas el intervalo de confianza con un 99% de confiabilidad de la relación de independencia.	56
	Matriz de correlación espacial $L_{12}(t)$ de la distribución bivariada para los estadios de desarrollo de <i>Pinus cembroides</i> subsp. <i>orizabensis</i> (Parcela Organito-1). I: Plántulas, II: Brinzales, III: Juveniles, y IV: Adultos. La línea sólida muestra los valores de $L_{12}(t)$ y las líneas discontinuas el intervalo de confianza con un 99% de confiabilidad de la relación de independencia.	57
Figura 23	Matriz de correlación espacial $L_{12}(t)$ de la distribución bivariada para los estadios de desarrollo de <i>Pinus cembroides</i> subsp. <i>orizabensis</i> (Parcela Organito-2). I: Plántulas, II: Brinzales, III: Juveniles, y IV: Adultos. La línea sólida muestra los valores de $L_{12}(t)$ y las líneas discontinuas el intervalo de confianza con un 99% de confiabilidad de la relación de independencia.	58

RESUMEN

La determinación de la estructura vertical y horizontal (composición de edades, densidad y tamaño) de una población es importante porque refleja la heterogeneidad ambiental en los ecosistemas. Este análisis espacial y estructural refleja los cambios ocurridos en el tiempo a través del desarrollo de una población, lo cual proporciona información para esclarecer los procesos de regeneración y la fase de madurez de las especies arbóreas. La mayoría de los bosques de pino piñonero en México se encuentran perturbados, con suelos erosionados debido a la tala inmoderada, el sobre pastoreo y una escasa repoblación natural. El objetivo general de este trabajo fue determinar la estructura y el patrón de regeneración de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala. Se establecieron cinco parcelas de observación de 2500 m² dividida en 25 cuadrantes de 10 x 10 m. Para caracterizar la estructura del bosque de *P. cembroides* se consideraron individuos con DAP (diámetro a la altura del pecho) ≥ 1.0 cm. La población se dividió en cuatro estadios de desarrollo: plántulas, brinzales, juveniles y adultos. Para el análisis estructural se realizaron histogramas de frecuencia con base en el DAP. El patrón de distribución y correlación espacial se analizó mediante las funciones $L(t)$ y $L_{12}(t)$ de Ripley, y su significancia fue determinada con simulaciones de Monte Carlo. El área basal total varió de 33.37 a 54.39 m²/ha, y la densidad de 1,124 a 2,110 ind/ha. En los dos sitios *P. cembroides* presentó una distribución diamétrica de forma de J invertida, lo que indica un constante reclutamiento de individuos a la población, además, esta especie domina a los otros géneros con una densidad de 1695 a 753 ind/ha. El Índice de valor de importancia relativo (IVIR) de *P. cembroides* subsp. *orizabensis* fue más alto en el sitio expuesto al ganado que en el sitio de exclusión (50.08 y 33.82, respectivamente). El patrón de distribución espacial de individuos pequeños presentó alto grado de agrupación, y esta disminuyó hasta alcanzar la distribución aleatoria en individuos adultos. La interacción espacial entre los estadios de desarrollo mostró independencia entre ellos. Dado que la especie estudiada presenta un reclutamiento constante de individuos a la población, se puede inferir que la producción de piñón como producto comercial no está amenazada en el presente. Sin embargo, es necesario conducir estudios demográficos desde la etapa de semilla hasta la etapa adulta para determinar la influencia de factores ambientales que pudieran poner en riesgo la permanencia de la especie.

SUMMARY

The determination of the vertical and horizontal structure (density, age, and size structure) of a population is important since it reflects the environmental heterogeneity in forest ecosystems. This analysis reflects the spatial and structural changes over time through the development of a population, providing information to clarify the regeneration process and the maturity phase of tree species. Most of the pinyon pine forests in Mexico are altered, with soil erosion due to excessive logging and overgrazing, and poor natural regeneration. The overall objective of this study was to determine the structure and regeneration patterns of *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* in Santa Maria Las Cuevas, Tlaxcala. Five observational plots of 2500 m² were established, and divided into 25 quadrants of 10 x 10 m. To characterize the forest structure of *P. cembroides* all individuals with DBH (diameter at breast height) ≥ 1.0 cm were considered. The population was divided into four developmental stages: seedlings, saplings, juveniles and adults. For the structural analysis of frequency histograms were constructed based on the DBH. The spatial distribution pattern and spatial correlation were examined using the functions $L(t)$ and $L_{12}(t)$ of Ripley, and its significance was determined with Monte Carlo simulations. The total basal area ranged from 33.37 to 54.39 m²/ha, and density of 1.124 to 2.110 ind/ha. In both sites *P. cembroides* showed a diameter distribution of reversal J-shaped, indicating a constant recruitment of individuals to the population. Moreover, this is the dominant species with a density of 1695 and 753 ind/ha, respectively. The Index of Relative Importance Value (IRIV) of *P. cembroides* subsp. *orizabensis* was the higher at the site exposed to cattle than at of exclusion (50.08 and 33.82, respectively). The individuals in seedling stage showed an aggregated spatial distribution pattern. The degree of aggregation decreased as the population advanced to at adult stage, where the distribution patten was close to random. Spatial interaction between developmental stages showed independence among them. Since the studied species has a constant recruitment of individuals to the population, one can infer that the pinyon production as a commercial product is not threatened at present. However, it is necessary to conduct demographic studies from the seed to adult stages to determine the influence of environmental factors that could endanger the continued existence of the species in the site.

1. INTRODUCCIÓN

Los bosques templados cubren una gran parte de las zonas semisecas y templadas del norte de México, y han sido afectados durante siglos por los factores naturales y antropogénicos de diversa índole. En las laderas interiores de la Sierra Madre Oriental del noroeste de México, el pastoreo es el principal agente de disturbio (De los Ríos *et al.*, 2003) ya que la carga animal sobrepasa la capacidad recomendado. Otros factores ligados a la destrucción de estas áreas boscosas han sido los incendios forestales y los posibles cambios del clima, por lo que un gran número de especies se encuentra en riesgo de extinción. A pesar de la sobre explotación y cambio de uso del suelo en los bosques nativos, aún se observan relictos de bosques caracterizados por diversas especies de *Pinus* y *Juniperus*. La escala espacial y temporal a la que estas especies responden a la degradación del medio, varía en su magnitud y la respuesta de cada una de las especies es diferente (De los Ríos *et al.*, 2003).

En este contexto, la caracterización de la estructura de estos ecosistemas forestales constituye una condición importante para tomar decisiones sobre su manejo, tanto en localidades bajo aprovechamiento como en áreas naturales protegidas, de tal forma que pueden entenderse los procesos de disturbio y sucesión que permitan determinar las mejores acciones de manejo. El estudio de la estructura y desarrollo de diferentes ecosistemas, permite conocer la heterogeneidad espacial, temporal y complejidad, que son elementos críticos en el funcionamiento de los mismos, por lo que los procesos que mantienen esta heterogeneidad y diversidad de especies deben ser conservados (Aguirre, 2002).

Por lo anterior existe la necesidad de contar con metodologías cuantitativas para el análisis estructural de ecosistemas con énfasis en el estrato arbóreo, a través de la integración de índices estructurales desarrollados, parámetros dasométricos, convencionalmente empleados para la evaluación de tales ecosistemas, además de los factores físicos de la localidad objeto de estudio (Aguirre, 2002). La estructura del estrato arbóreo de ecosistemas forestales, se refiere al ordenamiento espacial y temporal de los elementos que lo constituyen. En este marco interesan particularmente la estructura de especies, las estructuras espacial y dimensional de los ecosistemas, caracterizadas mediante procedimientos cuantitativos que

permitan su evaluación y monitoreo en diferentes etapas de desarrollo a nivel de rodal. Los métodos para la caracterización pueden ser distintos en función de los objetivos, pudiendo incluir índices de diversidad, mezcla de especies, perfil de especies, distribución espacial, diferenciación dimensional, o coeficientes de homogeneidad, que permiten caracterizar con diferente precisión la condición de los rodales.

Desgraciadamente pocos estudios de este tipo se han realizado en los bosques mexicanos, especialmente los de las regiones semisecas, como es el caso de los pinos piñoneros. En México existen nueve especies de pinos piñoneos correspondientes a las especies: *Pinus cembroides* Zucc., *Pinus pineana* Gordon, y *P. nelsonii* Shaw, que a veces pueden encontrar mezcladas. También se encuentran *P. culminicola* Andresen *et* Beaman y *P. maximartinezii* Rzedowski que ocupan áreas muy reducidas; *P. monophylla* Torr. *et* Frem; *P. edulis* Eng. y *P. quadrifolia* Parl., localizados únicamente en el norte de la península de Baja California y *P. lagunae* en Baja California Sur. Este complejo de especies se encuentran distribuidos en forma natural en los estados del norte-centro del país, Baja California, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Durango, Zacatecas y San Luis Potosí hasta Aguascalientes, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Querétaro, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y Veracruz (Fonseca, 2003).

Una de las especies de pino representativa de las zonas áridas de México es *Pinus cembroides* cuyas semillas, llamadas “piñones” son comestibles y agradables al gusto (Francoise, 1977), además es el pino más abundante de las especies nativas en México que dan piñón. La situación de transición que ocupa el bosque de *P. cembroides* entre la vegetación semiárida de la Planicie Central y los bosques templados de las áreas montañosas, permiten pensar que esta especie tiene un gran potencial adaptativo y resistencia a condiciones climáticas difíciles (Fonseca, 2003). Estas características ambientales lo hace un buen candidato para la reforestación de zonas secas y erosionadas en la República Mexicana; teniendo en cuenta que los límites altitudinales del bosque de *P. cembroides* se encuentra entre 1,700 a 2,500 m.s.n.m.

Los bosques de *P. cembroides* presentan una composición florística variable, en el estrato arbóreo es posible observar las siguientes asociaciones:

1. Bosque mixto de *P. cembroides*, *P. engelmanni* Carr., *P. chihuahuana* Engelm. y *Quercus* spp.
2. Bosque mixto de *P. cembroides* y *Juniperus fláccida* Schlechtendal.
3. Bosque de *P. cembroides* en masa puras. Este último tipo parece ser una formación secundaria. El estrato arbustivo y herbáceo de estos bosques es en general, muy pobre (Francoise, 1977).

Los bosques de pino piñonero en México se ven altamente afectados por actividades humanas como la recolección de semilla y la extracción de leña como combustible. Así mismo sus poblaciones se ven afectadas por incendios forestales provocados por el hombre, daño por insectos, entre otros (Segura y Snook, 1992).

Francoise (1977) menciona que *Pinus cembroides* tiene una gran capacidad de adaptación, ya que crece sobre toda clase de rocas calcáreas y con alto contenido de yeso en la Sierra Madre Occidental; en suelos muy delgados o profundos, con valores de pH entre 4 y 8, siendo distinto del norte al sur de la República Mexicana con respecto al estrato arbóreo.

En la región oriental del estado de Tlaxcala, existe una población de *P. cembroides* subsp. *orizabensis* D. K. Bailey. Esta población no escapa a la problemática general que afecta a los bosques de pinos piñoneros. Debido a las condiciones económicas de la población que habitan en la región, los bosques de esta especie se ven altamente amenazados por factores como: cambio de uso de suelo, extracción de leña, heno, a ataque de plagas de descortezadores, consumo de semillas por roedores y aves, y sobre todo por la explotación de piñón y el sobrepastoreo histórico en la zona.

Actualmente no hay estudios detallados del estado que guardan estos bosques en términos de su estructura, composición y reclutamiento de nuevos individuos de esta especie. Ante esta situación, es necesario la conducción de estudios para evaluar el grado de conservación del bosque y determinar los factores que afectan su regeneración, por lo que el objetivo general de este trabajo es determinar la estructura y patrones de regeneración natural de *P. cembroides* subsp. *orizabensis* en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades de las zonas áridas y semiáridas en México.

En la actualidad existe a nivel mundial, un creciente interés en las zonas áridas, motivado fundamentalmente por sus recursos naturales, que pueden presentarse bajo tres formas: 1) productividad biológica, en donde están incluidas las plantas, los animales y el suelo; 2) recursos minerales, y 3) recursos energéticos (Díaz, 1992).

México es considerado como uno de los seis países con mayor diversidad biológica y esta conformado en un 60% por zonas áridas y semiáridas, ocupando una superficie de 58.5 millones de hectáreas en el país (Velasco, 1991).

El matorral xerófilo es el más vasto de todos los tipos de vegetación que existen en México, ya que ocupa cerca del 40% de la superficie de la República. El clima asociado a este tipo de vegetación es bastante variable, desde uno muy caluroso, propio de las planicies costeras, hasta el fresco de las partes más elevadas del Altiplano. Destaca, además el extremo septentrional de México. La temperatura media anual correspondiente se ubica entre los 12 y 26°C, la precipitación media anual es inferior a los 700 mm. Un aspecto importante que presentan estos ecosistemas es la gran diversidad de formas de vida, resultado de las variadas estrategias adaptativas que sus componentes han adoptado para lidiar con la aridez. Muchas de estas especies son endémicas para México (Rzedowski, 1988).

El territorio mexicano sufre en algún momento del año de condiciones relativamente severas de aridez. Ocho estados (Baja California, Durango, Chihuahua, Nuevo León, San Luis Potosí, Sonora y Zacatecas) están ocupados en grandes partes de su territorio por regiones secas. Con 105 millones de hectáreas de superficie total, estos estados reúnen el 72% de los agostaderos del país estimado en 54 millones de hectáreas de pastizales naturales. Los ecosistemas desérticos son frágiles, ya que en general la cobertura vegetal es baja, la posibilidad de erosión de suelos es considerable, y su recuperación después de una perturbación ambiental es sumamente lenta (Díaz, 1992).

El aprovechamiento que se da en México a los ecosistemas áridos consiste fundamentalmente en la extracción de la vegetación natural a través del pastoreo, la tala o la recolección por cortes. El pastoreo, dentro de estas alternativas productivas, es el mecanismo de manejo más usado, seguido del corte de madera para leña y construcción, y de la extracción de productos naturales por medio de recolección. Desafortunadamente, el aprovechamiento de las comunidades naturales áridas llevan un riesgo asociado; aumenta las superficies de suelo desnudo y con ellas aumenta la erosión y el arrastre de sedimentos, disminuyendo la infiltración de agua de lluvia al subsuelo, y en general deteriorando la calidad y cantidad del suelo y del agua como recursos naturales (Díaz, 1992).

2.2. Antecedentes generales de los pinos piñoneros

Las teorías más aceptadas del origen del género *Pinus* en México, se basa en el postulado de la deriva continental, para aparecer después de la fractura de la Pangea en el oeste de Eurasia o el oeste del Norte de América (Eguiluz, 1985). Este género se originó en un clima templado con una estación de crecimiento (verano) y una de reposo (invierno). Los pinos piñoneros lograron sobrevivir a finales del periodo terciario; estableciéndose originalmente en áreas montañosas previamente ocupadas por otros pinos que no lograron sobrevivir; adoptando cambios evolutivos a través del tiempo y evolucionar a lo que ahora conocemos como piñoneros (Eguiluz, 1985). Eguiluz (1977) reportó diez especies del grupo piñonero:

1. *Pinus cembroides* Zucc.
2. *Pinus culminicola* Andresen Beaman
3. *Pinus edulis* Englem.
4. *Pinus maximartinezii* Rzedowski
5. *Pinus monophylla* Torrey
6. *Pinus nelsoni* Shaw
7. *Pinus pinceana* Gordon
8. *Pinus quadrifolia* Shaw
9. *Pinus lagunae* Passini
10. *Pinus johannis* Robert

Pinus cembroides es una especie típica de México, de la cual, se han descrito dos subespecies: *P. cembroides* subsp. *orizabensis* D. K. Bailey que comprende la población de Puebla, Tlaxcala y Veracruz; y *P. cembroides* subsp. *cembroides* que abarca el resto de la distribución antes indicada. Es una de las especies con un alto potencial adaptativo y resistente a la sequía, ya que se desarrolla (producción de conos) entre 15 y 18°C de temperatura, soportando heladas frecuentes en invierno. Al parecer requieren de lugares con gran insolación y bajas concentraciones de calcio y magnesio (Perry, 1991).

Aunque su madera tiene poco valor comercial, se emplea como madera aserrada para construcción rural y postes, también es apreciada en la elaboración de muebles rústicos e instrumentos musicales, sin embargo, no tiene utilidad para muebles de alta calidad. También se usa como leña y carbón, y pulpa para papel. La resina es utilizada como materia prima en impermeabilizantes y como pegamento casero. Esta especie tiene importancia económica por su semilla (piñón), y abastece poco más del 90% de los piñones conocidos en el mercado (Eguiluz, 1982).

2.3. Características de diferenciación entre *Pinus cembroides* y *P. cembroides* subsp. *orizabensis*.

Los bosques de *Pinus cembroides* son unos de los de mayor distribución en México. Cubren los extremos de la parte septentrional del país, en latitudes variables de los 18° hasta los 32° Norte y longitudes de los 90° a 116° Oeste. Se han reportado en los estados de Aguascalientes, Coahuila, Chihuahua, Baja California, Baja California Sur, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, México, Nuevo León, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Sonora, Tamaulipas, Veracruz, Tlaxcala y Zacatecas (Eguiluz, 1978). Y al oriente con límites de Texas y al sur con Nuevo México y Estados Unidos (Perry, 1991).

El *Pinus cembroides*, comúnmente conocido como piñón blando o piñonero, es una especie que se encuentra en zonas de transición entre los chaparrales y el bosque de encino y pino, las cuales se encuentran entre lomeríos y laderas de cerros, no sobrepasan los 2,700 m sobre nivel del mar y pueden descender hasta los 1,350 m, aunque la altura promedio es de 2,000 m (Eguiluz, 1977). Donde se desarrolla esta especie, las precipitaciones promedio anual fluctúan

de entre los 350 a 800 mm anuales; temperatura media entre los -7° a 40°C con promedios de 18°C, soportando heladas frecuentes en inviernos. Los tipos climáticos de Köppen son BSk (seco y templado) y Cwb (templado con época seca larga). Esta especie es típica de suelos pobres, pedregosos o calizos, de color grisáceos o negros, delgados, normalmente prefieren suelos neutros a alcalinos. Desarrollándose en varios tipos de suelo, como los litosoles, rendzina, regosol eutrico y suelos someros. *P. cembroides* es un árbol de 5 a 15 m de altura y de 30 a 70 cm de diámetro, sus semillas son de color negruzco o morenas, de 10 mm de largo.

La floración es de marzo a abril, y los conos se abren de noviembre a diciembre. La edad reproductiva de los piñoneros se inicia a partir de los 10 a 20 años con años semilleros en periodos de tres, dependiendo de las condiciones climáticas y la precipitación. Es una especie que forma masas puras dominantes, especialmente en la Sierra Madre Oriental.

El *Pinus cembroides* se asocia con estrato arbóreo o arbustivo, formado principalmente por encinos (*Quercus* sp.) enebros (*Juniperus* sp.) y otros pinos (*P. johannis*, *P. pinceana*, entre otros). Observándose también en asociación con yucas (*Yucca carnerosana* Trel y *Y. filifera* Chab.), maguey (*Agave* sp.), nopales (*Opuntia* sp.), sotol (*Dasyliirion acrotiche* (Schiede) Zucc.), entre otros (Eguiluz, 1978).

Bailey (1983) describe a *P. cembrioides* subsp. *orizabensis* como un árbol de 8 a 10 m de altura, similar a *P. cembroides*, acículas en grupos de tres, y a veces cuatro y rarisimamente dos por fascículo, de 1.3 a 2 mm de ancho; parte dorsal, verde oscuro, ventral verde claro o grisáceo; estomas en ambas superficies; fisuras longitudinalmente irregulares en la corteza de árboles maduros con color interno amarillo a naranjado. Este autor lo distingue de la subespecie *cembroides* en la que tiene las acículas un poco más ásperas y gruesas, tiene ligeramente menor número de líneas de estomas en la parte dorsal y un poco más en la ventral; en cuanto al número de conductos resiníferos en promedio dos en la subespecie *cembroides* y tres para la subespecie *orizabensis*. El color de las hojas es mucho más verde claro en la parte ventral de la *orizabensis* que en la subespecie *cembroides* y, finalmente, la corteza de los árboles adultos parece más cerrada que la subespecie *cembroides*.

Bailey justifica que *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* tiene su estatus aludiendo a la posición de los estomas, a la longitud del pedúnculo y a las diferencias en la composición química de los monoterpenos de *P. cembroides* y *P. cembroides* subsp. *orizabensis*. Por su parte Eguiluz (1987) hace mención que el *P. cembroides* subsp. *orizabensis* está presente en intervalos altitudinales de 2,350 a 2,650 m sobre nivel del mar; precipitación anual de 500 a 600 mm; y temperaturas extremas de -3 a 40°C.

De todos los pinos piñoneros mexicanos la subespecie *orizabensis* se distribuye más hacia el sur, limitándose en la región de los estados de Puebla, Tlaxcala y Veracruz. Una población aislada de este taxón se encuentra a 15 km del este de la ciudad de Tehuacán, Puebla (Figura 1). Crece en las laderas rocosas y en montañas con poca pendiente y climas ligeramente húmedos y fríos, en contraste con la mayoría de los ambientes áridos con los que se asocian los *Pinus cembroides* que se distribuyen en el noreste y noroeste de México (Perry, 1991)



Figura 1. Distribución de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* (Fuente: Perry, 1991).

2.4. Estudios realizados con *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* y *P. cembroides*
Cetina (1984) realizó un estudio sobre germinación del *Pinus cembroides* en condiciones naturales, donde obtuvo una viabilidad del 79% y un 56% de germinación; este proceso se ve afectado por el contenido de grasa de las semillas, ya que son consumidas por animales. Además evaluó el efecto que tiene la germinación bajo diferentes condiciones de luz y mantillo en condiciones naturales y controladas. Concluyó que la supervivencia de las

semillas en condiciones naturales se ve afectada por la depredación por roedores, aves y cabras. Por otro lado, la intensidad de luz es un factor que influye directamente en este proceso, ya que reduce la pérdida de humedad en el sustrato, lo que disminuye la germinación de la semilla. El tipo de mantillo no influyó directamente en la germinación, sólo la capacidad para retener humedad del suelo.

Por su parte Zavala (1987) estudió las yemas terminales de invierno en *Pinus cembroides* de las Serranías Meridionales de San Luís Potosí, durante 1985 y 1986, a fin de establecer las fechas de iniciación de primordios de conos femeninos. En 1985, la iniciación fue aproximadamente un mes más tardía que en 1986, lo cual coincidió con el aumento de la precipitación y la disminución de la temperatura en ese año con respecto al promedio de 11 años. En 1986 el período de iniciación de primordios de cono en *P. cembroides* duró de mediados de agosto a fines de septiembre (o principios de octubre). La variación en la temperatura y la precipitación en años sucesivos, influyeron en el proceso y alteraron la cantidad de estructuras reproductoras que se forman.

Por otra parte se han llevado a cabo estudios con esta especie, donde se han evaluado otras características importantes. Una de las cuales hecha por Sánchez *et al.* (2002) donde evaluaron las características de longitud y diámetro de conos, así como largo, ancho y peso de semillas de 15 árboles procedentes de Santa María Las Cuevas, Tlaxcala, con el fin de conocer la variación entre árboles. De cada árbol se tomaron diez conos sanos cuya longitud y el diámetro promedio de los conos fue de 3.80 y 3.51 cm, respectivamente. En cuanto a las semillas, el largo, ancho y peso promedio fue 1.27 cm, 0.72 cm y 0.38 mg. Se encontró que existen diferencias significativas en todas ellas, entre los árboles de esa localidad.

Otro estudio fue el desarrollado por González (2006), en el cual se evaluó la variación entre poblaciones naturales basándose en las características morfológicas, calidad nutricional del fruto y planta producida en vivero, así como la dinámica en la producción de conos y semillas de *P. cembroides* procedentes de once poblaciones naturales en tres regiones de México. La variación se midió a partir de las siguientes características: diámetro, longitud de la semilla, grosor y peso de la testa, proteína cruda, humedad, fibra cruda entre otras variables. Los

resultados obtenidos indicaron que existen diferencias significativas en las características morfológicas a nivel de regiones y procedencias (22.7% y 11.9%). Así mismo en la calidad nutricional, y calidad de planta (diámetro, altura, índice de robustez, relación tallo/raíz e índice de calidad de Dickson. El número de árboles productores de conos varió significativamente entre años evaluados; en el primer año sólo el 5% y en el tercero el 30% produjeron conos.

Poulos y Berlyn (2007), mostraron que la respuesta morfológica y fisiológica de *Pinus cembroides* var. *bicolor* Little en diferentes elevaciones en las montañas del oeste de Texas, E.U.A, es capaz de sobrevivir en diferentes medios y en pendientes bajas, medias y altas; teniendo respuestas favorables en biomasa, retención de agua, estrés, transpiración, entre otras características. Esto es congruente con otros estudios realizados con *P. cembroides*.

Fuentes (1992) caracterizó la vegetación mediante el perfil semirealista (Richard, 1952) y danserograma (Dansereau, 1951), en el paraje El Progreso Municipio de Guadalupe Victoria Puebla. El segundo diagrama considera la forma de vida, tamaño y forma de la hoja, textura y estructura de la misma. Reportó un índice de Shannon con valor de 0.5353, el índice de dominancia (0.3775) y el índice de complejidad (2,600); agregando una lista florística de las especies encontradas. Las muestras que sirvieron de base se obtuvieron mediante el manejo de punto cuadrante de manera aleatorio en todo el bosque de *P. cembroides* subs. *orizabensis*

Los valores cuantitativos y parámetros complementarios evaluados manifiestan una asociación vegetal representada por *P. cembroides* y *Nolina longifolia* (Karw. Ex Schult F.) Baker dentro del cual se identifican algunos endemismos. Obteniendo los valores de importancia (IVIR) siguientes: piñonero con 129.58, *Nolina longifolia* con 118.56, *Quercus microphylla* H. & B. con 15.59, *Agave obscura* Shiede 11.19, *Opuntia* sp. 9.57, *Juniperus deppeana* Steud 7.85 y *Dasyllirion acrotiche* (Schiede) Zucc. con 7.67.

Otro estudio similar fue el realizado por Silva (1994), donde caracteriza la sinecología del bosque de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala. El muestreo se obtuvo de igual manera de punto cuadrante central, el cual permitió obtener los

parámetros ecológicos que definen a cada comunidad (distancia media, dominancia absoluta, frecuencia absoluta, densidad relativa y el valor de importancia). Los parámetros que se evaluaron fueron el índice de complejidad, de diversidad y el de dominancia en las especies. La estructura de la vegetación del bosque piñonero se realizó mediante un perfil fisonómico en forma dimensional por el danserograma (Dansereau, 1951), y además se hizo mención a la evolución, biología, ecología y características taxonómicas de los pinos piñoneros así como los factores que influyen en la distribución y estructura del bosque piñonero. Fisonómicamente las especies dominantes de esta masa arbórea fue *P. cembroides* subsp. *orizabensis* y *Nolina longifolia*, esta misma tendencia presentó el fitograma de Lutz (1930), donde la dominancia, frecuencia, densidad y tamaño de clase e incluso los índices que se evaluaron son mayores para estas dos especies, hecho que se atribuye a la adaptabilidad y carácter genético de estas especies.

Por los atributos y características morfológicas que presenta el *Pinus cembroides*, es una especie que se ha utilizado para la restauración de áreas muy erosionadas. Se ha probado la adaptabilidad de tres especies de pinos piñoneros (*P. cembroides*, *P. nelsonii* y *P. pinceana*.) 20 años después (1983-2002) de haber sido plantadas (De los Ríos *et al.*, 2003). El diseño experimental fue bloques al azar con seis repeticiones en dos localidades determinadas por la altura sobre el nivel del mar (1,250 y 1,680 m). En cada parcela se plantaron 49 plantas, con un total por bloque y sitio de 294 y de 882 plántulas.

En los tres primeros años se midieron semestralmente los diámetros basales, la altura total y la supervivencia. En el año 2002 se volvió a medir los mismos parámetros. Los resultados indicaron que *P. pinceana* tuvo mayor supervivencia y altura en ambos sitios y en diámetro basal exclusivamente; en el sitio de mayor altitud. *P. cembroides* desarrolló un mayor crecimiento en diámetro. La supervivencia en general fue del 50% y se presentó indicios de mortandad de árboles por competencia. Estos resultados demostraron que *P. pinceana* podría ser recomendada como especie para reforestación de sitios degradados de las vertientes interiores de la Sierra Madre Oriental (De los Ríos *et al.*, 2003).

Además de que es una especie con características de adaptabilidad; *Pinus cembroides* enfrenta cambios en su desarrollo; dependiendo a las altitudes que se encuentre. (Segura y Snook, 1992) ya que la topografía crea diferencias micro-climáticas, en diferentes altiplanicies. Los bosques de pino piñonero en México que se encuentran en valles son afectados por los disturbios humanos y naturales. El disturbio más frecuente que se presentan es el fuego; factor que influye en la estructura vertical y regeneración del bosque.

2.5. Disturbio

Dentro de un hábitat particular puede haber una variedad considerable de mecanismos que dan lugar a la destrucción de los componentes de la vegetación. Además de las catástrofes naturales (inundaciones y huracanes) y al deterioro originado por el hombre (labranza, pisoteado y quemas), deben tenerse en cuenta efectos más sutiles como los debidos a las fluctuaciones climáticas y las actividades de los herbívoros, organismos desintegradores y microbios patógenos (Kimmins, 2004).

El término que se usa es el de disturbio (alteración o perturbación) que consiste en los mecanismos que limitan la biomasa de la planta al originar su parcial o total destrucción. Entre las formas de perturbación que afectan a los organismos, se puede trazar una distinción entre los mecanismos que comprenden la inmediata remoción del hábitat de estructuras vegetales (pastoreo, incendio,) y aquéllos en que solo mueren pero quedan los restos *in situ* (heladas, sequía, aplicación de herbicida) (Kimmins, 2004).

Los disturbios son factores que alteran el desarrollo normal de un ecosistema; y se dividen en disturbios mayores y menores. Los primeros incluyen, incendios de copas, huracanes, tornados, avalanchas, deslizamientos, erupciones volcánicas, la erosión severa, depósito de material aguas bajo y cortas forestales. Por otro lado, los disturbios menores son superficiales, es decir son menos dañinos que los anteriores y no causan daños severos, entre estos están, vientos fuertes, insectos y enfermedades y algunas cortas (Dearing, 1980). Estos también se clasifican en catastróficos y no catastróficos. Los primeros son aquellos que causan cambios considerables en la estructura del ecosistema, los cuales son, incendios, desplazamiento de tierra, huracanes e inundaciones; y los no catastróficos son aquellos que causan cambios

severos de manera parciales la estructura de la vegetación como los incendios superficiales, defoliaciones de insectos y enfermedades.

2.5.1. Magnitud, frecuencia y predicción de los disturbios

La magnitud y la frecuencia de los disturbios depende de las condiciones generales del área en que estos incidan, los factores importantes a considerar son la vegetación, la topografía, la pendiente, los factores climáticos, biológicos entre otros. Sin embargo, mucho de los disturbios son prácticamente impredecibles, tal es el caso de fluctuaciones de temperatura, variaciones de las lluvias, la presencia de huracanes y las erupciones volcánicas, entre otros. Por otro lado, en general los incendios se presentan en temporadas específicas del año con cierta seguridad, para lo cual se puede hacer trabajos para prevenirlos, detectarlos y combatirlos.

En lo que concierne a los disturbios antropogénicos pueden ser al azar e impredecibles en su magnitud y frecuencia o bien planeado previamente. La magnitud de los disturbios depende de la frecuencia del factor, del tamaño del área con disturbio y del daño causado. Todos los aspectos anteriormente mencionados son de suma importancia y todos funcionan como disturbios de los bosques, debido a que se está interrumpiendo el desarrollo natural del mismo (Daniel *et al.*, 1982).

La frecuencia y la duración de los disturbios pueden determinar la dominancia relativa de cada especie sobre un área, determinando el tipo de bosque. Si estos se presentan con frecuencia y de poca intensidad, los bosques que se generan son incoetáneos; si son de tipo catastrófico, la nueva población será un bosque coetáneo (Daniel *et al.*, 1982).

2.6. Regeneración natural

La regeneración natural es el proceso por el cual las plantas adultas o aquellas que han llegado al final del turno en un bosque son substituidas en forma natural por otras, de la misma o diferente especie; definiéndose como el proceso el cual una población vuelve a poblar un área o parte de ella. Las etapas de regeneración incluyen la floración, desarrollo de los frutos y semillas, diseminación, germinación, crecimiento y establecimiento de las plántulas; incluso

contempla la fructificación y producción de rebrotes de nuevos individuos. La regeneración sexual se da cuando los bosques se regeneran mediante la dispersión y germinación de las semillas de los árboles maduros. Normalmente los bosques de pinos y otras coníferas son fáciles de regenerarse naturalmente. La regeneración vegetativa se da por medio de rebrotes donde los retoños se originan de yemas adventicias del tocón o de las raíces (Pérez, 2006).

Por ejemplo, Arteaga *et al.*, (2000) reporta que la regeneración natural de *Pinus maximartinezii* comienza a presentarse a los ocho días después de que caen las primeras lluvias. Mientras que Hirayama y Sakimoto (2003) mencionan que la regeneración natural de *Cryptomeria japonica* (L.f.) D. Don en valles con un alto grado de pendiente en climas fríos se ven restringidas por nutrientes, agua y por la limitación de la luz, siendo este un factor esencial para el establecimiento y la supervivencia de las plántulas. Además la mortalidad depende de la densidad y competencia con otras especies y con la especie misma. La pendiente, el contenido de nutrientes, la humedad, competencia, los disturbios y la presión de la nieve son factores que influyen sobre la mortalidad y supervivencia de las especies.

De acuerdo con Oldeman (1989) la dinámica del bosque tropical depende básicamente del comportamiento de tres tipos de arquitectura forestal:

- a) Árboles potenciales (o del futuro) los cuales tienen un potencial para crecer en altura, expandir su copa o ambos, pero que pueden morir muy jóvenes.
- b) Árboles del presente, los cuales tiene un alto potencial para expandir su copa, aunque su tamaño es el máximo en un sitio dado, pero su permanencia en el bosque es buena debido a que tiene una gran habilidad para reemplazar partes pérdidas.
- c) Árboles del pasado, los cuales han sido dañados, muertos, en proceso de muerte o cualquier combinación de ellos.

En un ecosistema tropical predominan los árboles potenciales los cuales compiten con otras especies y crecen rápidamente alcanzando el dosel, por lo que llegan a dominar la estructura del bosque; mientras que los árboles potenciales remanentes son suprimidos, presentando una

mortalidad prematura. Posteriormente, cuando los árboles del presente decaen y llegan a ser árboles del pasado, el sistema completo puede ser remplazado por otra especie.

Durante su desarrollo, los rodales cambian constantemente en forma predecible. Algunos autores (Oliver, 1981; Peet y Christensen, 1987 citados por Kozłowski, 1991) han definido el desarrollo de los rodales forestales a través de cuatro estados secuenciales:

- a) Estado de regeneración o de iniciación del rodal;
- b) Estado de exclusión de tallos o “autoaclareo”,
- c) Estado de transición o iniciación del sotobosque
- d) Estado estable o de crecimiento avanzado.

El primero se caracteriza por la presencia de plántulas de árboles que eventualmente forman un nuevo rodal al invadir el espacio creado por algún aprovechamiento o disturbio. El estado de exclusión, ocurre cuando los árboles de doseles cerrados, favorecen la competencia provocando la muerte de los árboles de crecimiento lento con lo que disminuye el número de árboles en el rodal. Mientras que en el estado de transición, se forman claros en el dosel, lo cual beneficia la regeneración de especies que invaden el sotobosque. Finalmente, en el último estado, las plántulas de los árboles del sotobosque que logran sobrevivir a las condiciones prevalecientes ocupan lentamente el espacio liberado por los individuos muertos (por causa de la edad), con lo que el bosque queda constituido por un mosaico de parches de diferentes tamaños y edades. Dentro de cada manchón los procesos de establecimiento, aclareo y formación se repiten (Oliver, 1981; Peet y Christensen, 1987, citados por Kozłowski, 1991).

1. **Estado iniciación del rodal.** Después de un disturbio grande, las plantas pueden recuperarse desarrollando nuevo tallos, mediante el tocón, raíces o una nueva dispersión de semillas y promovándose nuevamente la regeneración en aquellos individuos que aparezcan en la parte inferior del dosel, la nueva población puede tener un rápido crecimiento. Lo anterior depende de algunos factores como:

- ❖ Intensidad de disturbio. Una intensidad fuerte de los disturbios puede destruir parte del suelo y reducir el potencial de crecimiento o productividad del mismo.

En caso de erupciones volcánicas, el suelo fértil es cubierto en su totalidad, teniendo que pasar quizás cientos de años para que éste sea cubierto por la vegetación.

- ❖ Características del área disturbada. Si el área disturbada es grande, la regeneración es generalmente por semilla.
- ❖ Tasa de crecimiento del rodal. Nuevos individuos invaden el área; si las condiciones son favorables, las plantas invasoras crecen rápidamente. En sitios pocos favorables, lo harán lentamente.
- ❖ Mecanismos de regeneración de especies invasoras. Los mecanismos pueden ser sexuales o asexuales, estos mecanismos pueden estar relacionados con el tipo de disturbio que se presente.
- ❖ Densidad y tasas de multiplicación de productores de semillas o competencia por arbustos. Si los arbustos y competidores son eliminados, el período repoblación se acorta; generalmente estos factores se presentan en masas naturales, por lo que se requiere desarrollar prácticas específicas para su control.
- ❖ Condiciones de disturbios, semillación y condiciones de humedad. Algunos disturbios pueden favorecer el establecimiento de la nueva población, la producción de abundante semilla sólo se da periódicamente (años semilleros), y con la existencia de condiciones adecuadas de humedad ocurre la germinación y el crecimiento inicial, si estas condiciones no se dan, el tiempo de crecimiento se extiende.

2. Estado de exclusión del rodal. Después de los disturbios mayores, se extienden los nuevos tallos cubriendo el área de crecimiento, lo que está restringido por uno o varios factores limitantes de crecimiento. Inmediatamente después de los disturbios menores, por ejemplo en la remoción de árboles, se da una mezcla de rodales por clases de edad.
3. Estado de reiniciación del dosel inferior. Eventualmente pueden aparecer especies del estrato superior. En el caso del estrato inferior pueden aparecer plantas herbáceas, plantas perennes y árboles, regenerando el área, esto se da si las condiciones del medio son favorables. La duración de reiniciación del desarrollo de la nueva población

depende de la tolerancia al dosel superior, así como de la presencia de los disturbios menores.

4. **Estado de madurez del rodal.** Generalmente en un rodal, el dosel superior es más susceptibles a disturbios, como huracanes y el viento, mientras que el dosel inferior es más susceptible a los incendios superficiales. Si el dosel inferior puede progresar al liberarse formará árboles dominantes en el nuevo bosque (Oliver, 1981; Peet y Christensen, 1987 citados por Kozlowski, 1991).

La regeneración de los árboles puede ser afectada por dos tipos principales de factores: los bióticos como polinizadores, dispersores y depredadores de semillas, así como patógenos que afectan el reclutamiento de las plántulas; y los físicos que alteran la estructura del medio, conocidos estos últimos como disturbios. De acuerdo con Clark (1990) un disturbio, es definido como un evento relativamente discontinuo que causa un cambio en la estructura física de la vegetación y superficie del suelo en un sitio dado, el cual modifica, a su vez, la disponibilidad de recursos.

Los bosques perturbados o aprovechados pueden regenerarse por varios mecanismos como crecimiento de plantas suprimidas, germinación de semillas enterradas (banco de semillas), retoños o brotes de raíz y fragmentos de ramas enraizadas. El desarrollo de uno u otro mecanismo de regeneración dependen del grado de severidad del disturbio. Por ejemplo, después de un disturbio leve, se pierde uno o pocos árboles del dosel, entonces usualmente, el rodal forestal se regenera de manera vegetativa por el crecimiento de plántulas y plantas jóvenes de árboles suprimidos.

2.7. Estructura del bosque

La estructura de un ecosistema es un buen indicador de la biodiversidad y es fácilmente modificable a través de prácticas silvícolas, incendios, perturbaciones, claros etc. La caracterización estructural de un ecosistema constituye una condición básica para la toma de decisiones sobre el manejo de los recursos naturales en áreas naturales. En general, la estructura se refiere a la distribución temporal y física de los árboles en un bosque, en donde se incluyen una descripción de la distribución horizontal y vertical, patrones espaciales, el

tamaño de los árboles y la edad respectiva. Su conocimiento es necesario para el manejo sustentable de los recursos (Jiménez *et al.*, 1999).

La estructura arbórea se refiere a la distribución de las características de un individuo dentro de un rodal forestal. La estructura de un ecosistema se define por el tipo, número, ordenamiento espacial y temporal de los elementos que lo constituyen y que deben considerarse para una correcta planificación de los recursos naturales (Spurr y Barnes, 1982).

La caracterización de la estructura del estrato arbóreo de ecosistemas forestales debe basarse en índices cuantitativos que permitan analizar objetivamente influencias antropogénicas o procesos de sucesión natural.

En este contexto destacan principalmente la estructura de especies, la espacial y la dimensional de los ecosistemas. Tales índices deben considerarse adicionalmente a las variables empleadas de manera convencional (diámetro, altura media, área basal, volumen, edad, densidad, etc.) a fin de lograr una mejor descripción de los bosques (Torres *et al.*, 2006).

Diversos son los estudios que se han realizado para caracterizar la estructura de bosques en diferentes condiciones ambientales. Por ejemplo, López y Tamarit (2006), realizaron un estudio para describir la estructura de un bosque tropical secundario derivado de la selva mediana subperennifolia después de haber sido eliminada la vegetación original por la práctica de roza-tumba-quema; durante veinte años en el campo experimental “El Tormento” en Escárrega, Campeche. A mayor edad del bosque la composición de especies aumenta, con tres patrones con respecto a la edad, lo que sugiere la necesidad de formar grupos ecológicos para facilitar el manejo y la aplicación de tratamientos silvícolas a los taxa que ofrezcan un potencial de aprovechamiento comercial maderable.

Otro estudio en el bosque tropical caducifolio y un bosque de encino fue realizado por Novoa *et al.* (2007). Las variables dasométricas reportaron un área basal de 16.6 m²/ha y una densidad de 740 árboles/ha. La altura de los árboles inventariados oscila entre 3.5 a 10.5 m. El 81.5 % de los individuos se concentra en las tres primeras clases diamétricas (10, 15 y 20 cm).

La distribución diamétrica encontrada, indica que el bosque es dinámico y no que requiere intervenciones específicas para mantener la estructura existente. Asimismo, para el índice de Shannon reporta un valor de 1.9 en general para el bosque tropical caducifolio, el cual se considera dentro del rango para bosques similares. Mientras que para el bosque de encino es de 1.25. El índice de similitud arbórea entre el bosque de encino y el tropical caducifolio es de 0.4 (40%), lo que indica que es un bosque heterogéneo, ya que solo cuatro especies se comparten en ambos biotipos. El bosque observa una buena regeneración natural, en el mayor de los casos por brotes (monte bajo).

Por su parte, Zarco (2007) realizó un estudio donde analizó la estructura y diversidad de especies arbóreas del Parque Estatal Agua Blanca, Tabasco, presentándose dos estratos bien definidos. La distribución horizontal de los individuos según el índice de Morisita (I_d) fue generalmente aleatorio; y de acuerdo con los índices de Margalef (D_a) y Shannon (H'), los valores de diversidad son significativamente diferentes en comparación con otras selvas de México, y bajos en riqueza de especies e intermedios en diversidad α de Fischer.

Además de los estudios realizados en los bosques tropicales, cabe mencionar que este tipo de estudios también se han llevado a cabo en bosques templados-fríos. Por ejemplo, López (2008) caracterizó la estructura de los bosques de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en tres localidades en el Estado de Tlaxcala. Se realizó un muestreo con parcelas circulares anidadas de 0.1, 0.05 y 0.005 ha, se registraron diámetro normal, altura de árboles vivos y muertos, tocones y edad de la especie de interés. En las tres localidades la densidad de árboles vivos de latifoliadas fue mayor que las de *P. menziesii* y otras coníferas. En las tres localidades *Pseudotsuga* y *Quercus* sp. tienen un valor de importancia ecológica alto con respecto a la demás especies. Las categorías que presentan estos individuos fueron de 1 a 85 cm, pero se presentó una mayor concentración en los de 10, 15 y 25 cm. En la densidad de tocones de *Pseudotsuga* fue mayor con respecto a las latifoliadas y otras coníferas, sin embargo, la densidad de individuos muertos en pie fue mayor en latifoliadas. Las tres localidades son relativamente jóvenes (40-80 años). Por lo que las poblaciones de *Pseudotsuga* en Tlaxcala presenta una estructura diamétrica y de edad irregular, en la que no se observan individuos

pequeños en etapa de regeneración, por lo que es necesario implementar programas de manejo con prácticas silvícolas para estimular la regeneración de esta especie.

Por otro lado, Catalán *et al.*, (2003) describieron la estructura y composición florística de las especies leñosas del bosque mesófilo de montaña de Carrizal de Bravo, Guerrero, y compararon la similitud florística y diversidad de este bosque con otros equivalentes de México.

El análisis estructural mostró que *Chiranthodendron pentadactylon* Larreat. es la especie más importante debido a su elevado valor de área basal relativa, las cuales definieron el 51% del total del Índice de Valor de Importancia Relativo (VIR). El área basal total en las 4.25 ha de bosque fue de 232.57 m², equivalente a 54.72 m² ha⁻¹, que es similar a los registros para los bosques de Omiltemi, El Triunfo y el centro de Veracruz. Los valores de los índices de diversidad de especies H' y α de Fisher para las 4.25 ha fueron 3.35 y 15.3, respectivamente. Comparando con otros bosques mesófilo de montaña de México, este bosque es uno de los más diversos del país, solamente superado por el bosque mesófilo de montaña de Cuizalapa en Manantlán, Jalisco.

3. OBJETIVOS

- Comparar la estructura de bosques de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* en dos sitios que presentan diferente fisonomía.
- Determinar el patrón de distribución espacial de los diferentes estadios de desarrollo de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis*.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación del área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el ejido Santa María Las Cuevas, municipio de Alzayanca en el estado de Tlaxcala. Sus coordenadas geográficas están entre los 19°26'' de Latitud Norte y 97°48'' de Longitud Oeste, a 2,540 m.s.n.m. El sitio está localizado al oriente del estado, colinda al norte con el estado de Puebla, al sur con los municipios de Huamantla y Cuapiaxtla. Cuenta con cerca de 800 hectáreas de poblaciones naturales de (*P. cembroides*) (INEGI, 1994).

4.2. Clima

El clima es semiseco, con régimen de lluvias en los meses de julio a septiembre. El período caluroso se presenta en los meses de marzo a mayo. El patrón general de la circulación atmosférica hace que su posición latitudinal lo sitúa dentro del cinturón mundial de las zonas áridas. La temperatura promedio mínima anual es de 5.6 °C, y la máxima de 22 °C y el promedio de temperatura ambiente de 9 °C (CONAGUA, 2007).

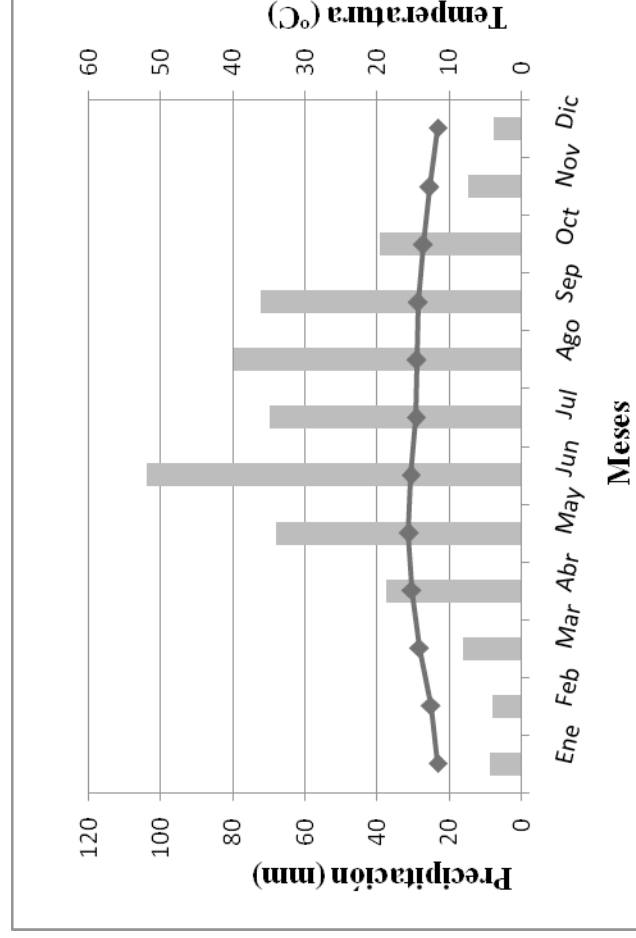


Figura 2. Datos gráficos de temperatura y precipitación en el municipio de Alzayanca, Tlaxcala.

4.3. Suelo

El municipio se encuentra entre mesetas, llanuras y planicies, entre sus suelos existen los regosoles districos, y cambisoles eutricos, que son suelos de barro café claro recubierto de la capa arenosa. Los actuales suelos en el área de estudio presentan diferencias en sus características y propiedades debido a los procesos formados en que ha sido expuesto el material parental a través del tiempo. A partir de estos cambios se han originado un suelo de tipo andosol así como regosol. Los conglomerados han dado origen a suelos de tipo litosol (INEGI, 1994).

4.4. Vegetación

La vegetación está compuesta principalmente por bosque de pino piñonero, las especies que caracterizan a esta comunidad vegetal son: el maguey de cerro (*Agave horrida* Lem), el agave pulquero (*A. salmiaca*), el sotolin (*Nolina parviflora*), la palma de izote (*Yucca periculosa* Baker), el sotel (*Dasyllirion acrotrichae*) y diversas especies de nopal (*Opuntia* spp.). La vegetación secundaria existen son pastizales naturales e inducidos (INEGI, 1994).

4.5. Trabajo de campo

Se realizó un recorrido de campo en toda la superficie donde se distribuye la especie de interés para decidir la ubicación de las parcelas de observación. En este recorrido se detectaron dos áreas, una con el acceso al ganado llamada El Piñonal y otra que fue cercada desde hace aproximadamente 10 años nombrada como El Organito. En cada una de las áreas se establecieron parcelas de observación para determinar la estructura del bosque. Debido a la diferencia en tamaño de las áreas, en la sección bajo la influencia del ganado se establecieron tres parcelas, mientras que en el área de exclusión se establecieron dos.

Las unidades de muestreo se trazaron con ayuda de una brújula y las pendientes fueron evaluadas con el empleo de un clisímetro para compensar las distancias. Cada parcela de observación tuvo una superficie de 2500 m², dividida en 25 cuadrantes de 10 x 10 m para facilitar el levantamiento de información de campo (Figura 2).

Para caracterizar la estructura se consideraron individuos con $DAP \geq 1.0$ cm (diámetro del fuste a 1.3 m de altura). A todos los individuos se le asignó un número con etiquetas de aluminio, las cuales fueron sujetadas por medio de hilo cáñamo y púas evitando dañar el árbol; se identificaron hasta especie, se les midió su DAP, altura total, altura de fuste limpio; y se registro sus coordenadas X y Y en cada cuadro de 100 m^2 . Para el caso de *P. cembroides* subsp. *orizabensis* la población se dividió en estadios de crecimiento: plántulas (individuos con altura < 0.3 m), brinzales (individuos con $0.3 \text{ m} \leq$ altura < 2 m), juveniles (individuos con altura ≥ 2 m y $DAP < 5$ cm) y adultos (con $DAP \geq 5$ cm).

En forma simultánea al censo se realizó la colecta por triplicado de ejemplares botánicos de cada especie, los cuales fueron procesados y herborizados para posteriormente identificarlos taxonómicamente en el herbario de la División de Ciencias Forestales ‘Ing. Reyes Bonilla Beas’ de la Universidad Autónoma de Chapingo.

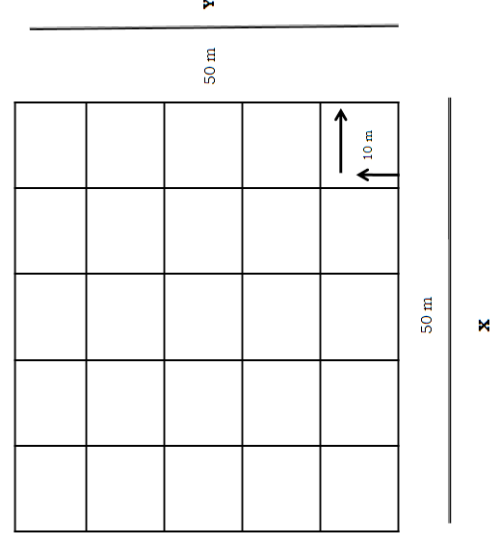


Figura 3. Dimensiones y subdivisiones de las unidades muestrales (50 x 50 m).

4.6. Análisis de la información

Se determinó el índice valor de importancia relativo (IVIR) que mide el valor ecológico de cada especie en la comunidad, y se basa en tres parámetros: la frecuencia relativa, el área basal relativa o dominancia relativa y la densidad relativa (Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974; Mostacedo y Fredericksen, 2000).

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Número de individuos}}{\text{Área muestreada}}$$

$$\text{Densidad relativa} = \frac{\text{Número de individuos de una especie}}{\text{Número total de individuos}} \times 100$$

$$\text{Área basal relativa} = \frac{\text{Área basal de cada especie}}{\text{Área basal de todas las especies}} \times 100$$

$$AB = \pi \left(\frac{DAP^2}{4} \right)$$

En donde: AB = Área basal; DAP = Diámetro en metros a la altura del pecho (1.30 m);
 $\pi = 3.1415926535$

$$\text{Frecuencia} = \frac{\text{Unidades de muestreo en la que está presente la especie}}{\text{Número total de unidades de muestreo}}$$

$$\text{Frecuencia relativa} = \frac{\text{Frecuencia por especie}}{\text{Frecuencia de todas las especies}} \times 100$$

$$IVIR = \frac{\text{Densidad relativa} + \text{Área basal relativa} + \text{Frecuencia relativa}}{3}$$

4.6.1. Diversidad de especies (Diversidad alfa)

Se determinaron los índices de diversidad que son parámetros que describen lo diverso que puede ser un determinado lugar en cuanto al número de especies (riqueza) y el número de individuos de cada especie. Para realizar este cálculo se utilizó el Índice de Shannon-Wiener (Nur *et al.*, 1999; Mostacedo y Fredericksen, 2000).

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

Donde: H' = Índice de diversidad de Shannon-Wiener p_i = Abundancia relativa
 \ln = Logaritmo natural

Para determinar la existencia de diferencias significativas entre la diversidad de dos áreas muestreadas se empleó el método de t modificado por Hutcheson (Magurran, 1988):

$$t = \frac{(H'_1 - H'_2)}{(\text{Var } H'_1 + \text{Var } H'_2)^{1/2}}$$

Donde: H'_1 = valor del índice de Shannon para el área muestreada 1

H'_2 = valor del índice de Shannon para el área muestreada 2

$\text{Var } H'_1$ = varianza del índice de Shannon para el área muestreada 1

$\text{Var } H'_2$ = varianza del índice de Shannon para el área muestreada 2

Los grados de libertad (*df*) asociados con el valor de *t* se calcularon como sigue:

$$df = (\text{Var } H'_1 + \text{Var } H'_2) / [(\text{Var } H'_1)^2 / N_1] + [(\text{Var } H'_2)^2 / N_2]$$

Donde: N_1 = número de individuos en el área muestreada 1

N_2 = número de individuos en el área muestreada 2

Y la varianza de H' se calculó mediante la ecuación:

$$\text{Var } H' = [\sum p_i (\ln p_i)^2 - (\sum p_i \ln p_i)^2 / M] - [(S - 1) / 2M^2]$$

Donde: p_i = proporción de individuos de la especie *i*

M = número total de individuos

S = número total de especies

Así mismo se empleó el Índice de Equidad (*E*), representa prácticamente un complemento del índice de Shannon (*H'*) y alcanza un máximo valor cuando todas las especies de un área están representadas en igual proporción; sus valores van de 0 a 1, donde cero indica la mínima equidad (o que solo una especie está presente en el área muestreada) y uno que todas las especies tienen la misma abundancia (Magurran, 1988). Su cálculo fue como sigue:

$$E = H' / \ln S$$

Donde: S = número de especies en la muestra

H' = índice de Shannon

4.6.2. Similitud florística (Diversidad beta)

Se utilizó el coeficiente de similitud de Jaccard (Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974; Mostacedo y Fredericksen, 2000) para comparar las áreas con pastoreo y sin éste. El Coeficiente de Jaccard, se calcula con la ecuación:

$$C_j = J / (A + B - J)$$

Donde: C_j = Coeficiente de Jaccard

A = número de especies en la comunidad A

B = número de especies en la comunidad B

J = número de especies comunes en ambas comunidades

Este coeficiente toma en consideración datos cualitativos para comparar dos comunidades (Mostacedo y Fredericksen, 2000). Este coeficiente presenta valores de 0 a 1, en donde un valor cercano a 0 (cero) significa mayor disimilitud y cercano a 1 (uno) mayor similitud. Sin embargo, este coeficiente tiene la desventaja de no tomar en consideración la abundancia de las especies (Magurran, 1988). Así mismo se analizó la estructura por tamaños a través de histogramas de frecuencias con base en el DAP.

4.6.3. Patrones de distribución espacial

El patrón de distribución espacial de la población se analizó usando la función $K(t)$ de Ripley (Ripley, 1977). La función $\lambda K(t)$ ($\lambda =$ intensidad) es definida como el número esperado de plantas dentro de la distancia t de una planta arbitraria. $K(t)$ se define como:

$$K(t) = n^{-2} |A| \sum_{i,j} W^{-1}_{ij} I_t(u_{ij}) \dots \dots \dots (1)$$

n es el número de individuos en la parcela A ;

$|A|$ es el área de la parcela;

u_{ij} es la distancia entre i -ésimo y j -ésimo individuo en A ;

$I_t(u) = 1$ si $u \leq t$ y 0 si no lo es;

W_{ij} es la proporción de la circunferencia de un círculo con centro en el i -ésimo individuo y radio u_{ij} que está dentro de A ; y la sumatoria es de todos los pares de individuos no mayor que t (Ripley, 1977; Diggle, 1983).

La transformación de la raíz cuadrada de la función $K(t)$ sugerida por Besag (1977) se utilizó por su sencillez, la cual está dada por:

$$L(t) = \sqrt{\frac{K(t)}{\pi}} - t \dots \dots \dots (2)$$

$K(t)$ es la función de Ripley,

π es 3.1416,

t es la distancia.

Un valor de $L(t)=0$ indica que el patrón espacial con radio t es aleatorio; valores de $L(t)>0$ indican agrupación, mientras que valores de $L(t)<0$ indican distribución uniforme.

Para el análisis del grado de asociación intra-específica de los diferentes estadios de desarrollo, se utilizará la relación bivariada $L_{12}(t)$, también derivada de la función bivariada $K_{12}(t)$ de Ripley (Ripley, 1977; Diggle, 1983) la cual está dada por:

$$L_{12}(t) = \sqrt{\frac{K_{12}(t)}{\pi}} - t \dots\dots\dots(3)$$

$K_{12}(t)$ es la función de Ripley,

$\pi = 3.1416$,

$t =$ distancia.

Un valor de $L_{12}(t)=0$ indica que los dos grupos son espacialmente independientes. Valores de $L_{12}(t)>0$ indican asociación positiva (atracción), y valores de $L_{12}(t)<0$ indican asociación negativa (repulsión).

La significancia de ambas funciones se determinó por simulaciones de Monte Carlo (Besag y Diggle, 1977). Para el análisis univariado espacial la hipótesis nula es la aleatoriedad espacial, y para el análisis bivariado espacial de las interacciones entre dos grupos, la hipótesis nula es la independencia espacial. Se definió el nivel de confiabilidad del 99% de confiabilidad ($p \leq 0.01$) como los límites de confianza de $L(t)$ y $L_{12}(t)$ para cada escala espacial encontrada en 19 análisis de distribución de puntos aleatorios. Los análisis se realizaron con el programa TOOLBOX (Fisher, 2000).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Estructura del bosque de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis*

5.1.1. Composición de especies

Las especies arbóreas dominantes encontradas en el bosque de pino piñonero en Santa María Las Cuevas Alzayanca, Tlaxcala fueron *P. cembroides* subsp. *orizabensis*, *Nolina parviflora*, *Juniperus deppeana*, *Yucca periculosa* y *Dasyliirion acrotriche*. En el Cuadro 1 y 2 se presenta la composición de especies por parcela de los dos sitios analizados. *P. cembroides* subsp. *orizabensis* fue la especie con mayor densidad de individuos. En el sitio el Piñonal se encontró una densidad mínima de 1,124 ind. ha⁻¹ y una máxima de 2,110 ind. ha⁻¹. Mientras que en el sitio el Organito la densidad mínima fue 1,318 ind. ha⁻¹, y la máxima de 1,562 ind. ha⁻¹. La densidad promedio fue mayor en el sitio denominado Piñonal con 1,584 vs 1,440 ind ha⁻¹ en el Organito.

A pesar de que *P. cembroides* subsp. *orizabensis* presentó la máxima densidad, en algunos casos no fue la especie que registró la mayor área basal. En las parcelas Piñonal-2 y Piñonal-3, así como en Organito-1 y Organito-2, *Nolina parviflora* fue la especie con mayor área basal. Esta última especie es una palma de poca altura pero con un tallo bien desarrollado, lo que hace que se incremente el área basal correspondiente. El área basal presentó valores de 33.37 y 46.08 m² ha⁻¹ en el Piñonal, y de 51.73 a 54.39 m² ha⁻¹ en el Organito. Específicamente para *P. cembroides* subsp. *orizabensis* el área basal promedio fue de 12.66 m² ha⁻¹ en el Piñonal (Cuadro 1) y de 8.39 m² ha⁻¹ en el Organito (Cuadro 2). Tanto la densidad como el área basal fueron mayores en el primer sitio.

Si se comparan estos resultados con aquellos reportados por Fuentes (1992) y Silva (1994) los datos de densidad y área basal aquí reportados son mayores. Fuentes (1992) en el estudio realizado en Guadalupe Victoria, Puebla reportó una densidad de 496 ind. ha⁻¹, mientras que Silva (1994) reportó 779 ind. ha⁻¹ en un sitio similar al presente estudio. También los resultados de este estudio se encuentran por arriba de los reportados por Hernández (1985) para *Pinus cembroides* en el altiplano potosino-zacatecano, el cual reportó valores de 186 a

373 ind. ha⁻¹. Segura y Snook (1992) en un estudio realizado en Veracruz sobre la misma especie, reportó densidades de 818 ind. ha⁻¹ en pequeños valles y de 334 ind. ha⁻¹ en partes alta; posiblemente estas diferencias se deba a que no incluyeron individuos pequeños en estos estudio como se hizo en este estudio.

En el Piñonal el Índice de Valor e Importancia Relativa (IVIR) de *P. cembroides* subsp. *orizabensis* varió entre 43.4 y 50.08 %, lo que la cataloga como la especies más importante dentro del bosque, seguida de *Molina parviflora*. Por su parte, en el sitio el Organito, *M. parviflora* superó en IVIR al *P. cembroides* subsp. *orizabensis*. Los valores de IVIR para esta última especie estuvieron entre 33.82 y 34.47 %. Fuentes (1992) encontró un IVIR para *P. cembroides* subsp. *orizabensis* en Guadalupe Victoria, Puebla de 43.19 %, mientras que Silva (1994) reportó un valor de 56.1 en Alzayanca, Tlaxcala. Los valores del presente estudio se encuentran dentro del intervalo de los reportados por los anteriores autores.

Los altos valores de IVIR que se presentaron en el Organito para *M. parviflora* se deben a que esta especie posee áreas basales mayores con respecto a *P. cembroides* subsp. *orizabensis*. Otra especie importante desde el punto de vista estructural fue *Juniperus deppeana*, la cual obtuvo el tercer valor más alto de IVIR en cuatro parcelas analizadas. Dichos valores para esta especie fueron mayores en el Organito.

5.1.2. Distribución diamétrica

El análisis de la distribución diamétrica en ambos sitios confirma un reclutamiento constante de individuos a la población, ya que la forma del histograma de frecuencias de clases de diámetro es de ‘J’ invertida. Este patrón muestra un alto número de individuos en categorías diamétricas bajas, comparados con aquellos que poseen diámetros grandes (Figura 3 y 4).

Cuadro 1. Composición de especies, densidad, área basal, frecuencia e índice de valor de importancia del bosque de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* en el sitio el Piñonal en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala.

Especie	Densidad		Área basal		Frecuencia		IVIR
	(Ind/ha)	(%)	(m ² /ha)	(%)	Abs.	(%)	
El Piñonal Parcela 1							
<i>Pinus cembroides</i> subsp. <i>orizabensis</i>	720	64.06	17.96	49.81	0.96	36.36	50.08
<i>Nolina parviflora</i>	272	24.20	15.52	43.04	0.92	34.85	34.03
<i>Juniperus deppeana</i>	56	4.98	1.09	3.02	0.44	16.67	8.22
<i>Yucca periculosa</i>	48	4.27	1.24	3.44	0.28	10.61	6.11
<i>Dasyllirion acrotriche</i>	28	2.49	0.25	0.69	0.04	1.52	1.57
Total	1124		36.06		2.64		
El Piñonal Parcela 2							
<i>Pinus cembroides</i> subsp. <i>orizabensis</i>	1146	75.54	11.30	24.53	1.00	30.12	43.40
<i>Nolina parviflora</i>	188	12.39	28.15	61.08	0.96	28.92	34.13
<i>Juniperus deppeana</i>	149	9.82	0.22	0.48	0.84	25.30	11.87
<i>Yucca periculosa</i>	33	2.18	6.28	13.63	0.48	14.46	10.09
<i>Quercus potosina</i>	1	0.07	0.13	0.28	0.04	1.20	0.52
Total	1517		46.08		3.32		
El Piñonal Parcela 3							
<i>Pinus cembroides</i> subsp. <i>orizabensis</i>	1695	80.33	8.743	26.20	1.00	23.81	43.45
<i>Nolina parviflora</i>	225	10.66	20.67	61.94	1.00	23.81	32.14
<i>Juniperus deppeana</i>	67	3.18			0.84	20.00	7.73
<i>Dasyllirion acrotriche</i>	62	2.94	1.28	3.84	0.56	13.33	6.70
<i>Yucca periculosa</i>	9	0.43	0.23	0.70	0.20	4.76	1.96
<i>Quercus potosina</i>	52	2.46	2.44	7.33	0.60	14.29	8.03
Total	2110		33.37		4.20		

Cuadro 2. Composición de especies, densidad, área basal, frecuencia e índice de valor de importancia del bosque de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* en el sitio el Organito en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala.

Especie	Densidad		Área basal		Frecuencia		IVIR
	(Ind/ha)	(%)	(m ² /ha)	(%)	Abs.	(%)	
El Organito Parcela # 1							
<i>Pinus cembroides</i> subsp. <i>orizabensis</i>	753	57.13	8.88	17.16	1.0	27.17	33.82
<i>Nolina parviflora</i>	222	16.84	34.29	66.28	1.0	27.17	36.77
<i>Juniperus deppeana</i>	303	22.99	1.25	2.42	1.0	27.17	17.53
<i>Yucca periculosa</i>	23	1.75	3.55	6.87	0.4	9.78	6.13
<i>Dasyllirion acrotriche</i>	17	1.29	3.76	7.27	0.3	8.70	5.75
Total	1318		51.73		3.7		
El Organito Parcela # 2							
<i>Pinus cembroides</i> subsp. <i>orizabensis</i>	954	61.08	7.91	14.54	1.0	27.78	34.47
<i>Nolina parviflora</i>	225	14.40	41.69	76.65	1.0	27.78	39.61
<i>Juniperus deppeana</i>	345	22.09	1.35	2.48	1.0	27.78	17.45
<i>Yucca periculosa</i>	9	0.58	0.58	1.07	0.2	4.44	2.03
<i>Dasyllirion acrotriche</i>	29	1.86	2.86	5.26	0.4	12.22	6.45
Total	1562		54.39		3.6		

La disminución en el número de individuos con el aumento de la categoría diamétrica es más marcado en el sitio del Organito, donde se observa una alta acumulación de individuos en la categoría de < 5 cm; mientras que en el Piñonal se observa una disminución constante hasta la categoría de 20 cm. Segura y Snook (1992) encontraron el mismo patrón de distribución diamétrica en exponencial negativa, donde más del 90% de individuos tenían $dap < 20$ cm.

Tanto en el Piñonal como en el Organito *P. cembroides* subsp. *orizabensis* presentan un patrón de densidades en el que disminuye el número de individuos por unidad de superficie a medida que los estadios de desarrollo pasan de plántulas a adultos (Cuadro 3). En el Piñonal, *P. cembroides* subsp. *orizabensis* presenta individuos hasta la clase diamétrica de ≥ 50 cm, con ausencia en las categorías de 35-40, 40-45 y 45-50; mientras en el Organito se encontró individuos con diámetro máximo de 25 cm.

Los datos aquí reportados son en general mayores que los encontrados en otros estudios. Por ejemplo, Hernández (1985) reporta diámetros máximos para *P. cembroides* de 44 cm, 31 para Las Tapatías, 24 en Zaragoza y 40 cm en Coronados, todos ellos sitios en el altiplano potosino-zacatecano. Por su parte, Naranjo (1991) reportan diámetros máximos de 25 y 20 cm en poblaciones puras y mezcladas de *P. cembroides* en La Amapola, San Luis Potosí. Por su parte, Segura y Snook (1992) reportaron diámetros máximos de 105 cm.

5.1.3. Relación diámetro-altura total

En las cinco parcelas analizadas se observa el patrón de estabilización de la altura total cuando el diámetro aumenta (Figuras 5 y 6). Sin embargo, solo en el Piñonal-1 se determina claramente este comportamiento. En las otras parcelas, pareciera que no se ha alcanzado el diámetro máximo de la especie y por tanto la relación de la altura-diámetro tiende a ser lineal. La altura máxima registrada en el Piñonal fue de 19 m, mientras que en el Organito fue de 12 m.

5.1.4. Diversidad de especies

En cinco de la seis parcelas analizadas se encontraron cinco especies arbóreas con $dap \geq 5$ cm. Solo en la parcela Piñonal-3 se encontraron seis especies. Dada la baja riqueza de especies, los valores del índice de diversidad de Shannon también son bajos, los cuales variaron de 0.32 a 0.47 (Cuadro 4).

Cuadro 3. Densidad de individuos de *Pinus oembroides* subsp. *orizabensis* por estadio de desarrollo en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala.

Estadio de desarrollo	Parcela		
	1	2	3
	----- Ind./2500 m ² -----		
El Piñonal			
Plántula ($H \leq 0.3$ m)	75	866	1350
Brinzal ($0.3 < H \leq 2$ m)	3	89	173
Juvenil ($H > 2$ m, $dap < 5$ cm)		30	30
Adulto ($dap \geq 5$ cm)	102	162	145
El Organito			
Plántula ($H \leq 0.3$ m)	288	200	
Brinzal ($0.3 < H \leq 2$ m)	146	275	
Juvenil ($H > 2$ m, $dap < 5$ cm)	161	302	
Adulto ($dap \geq 5$ cm)	155	176	

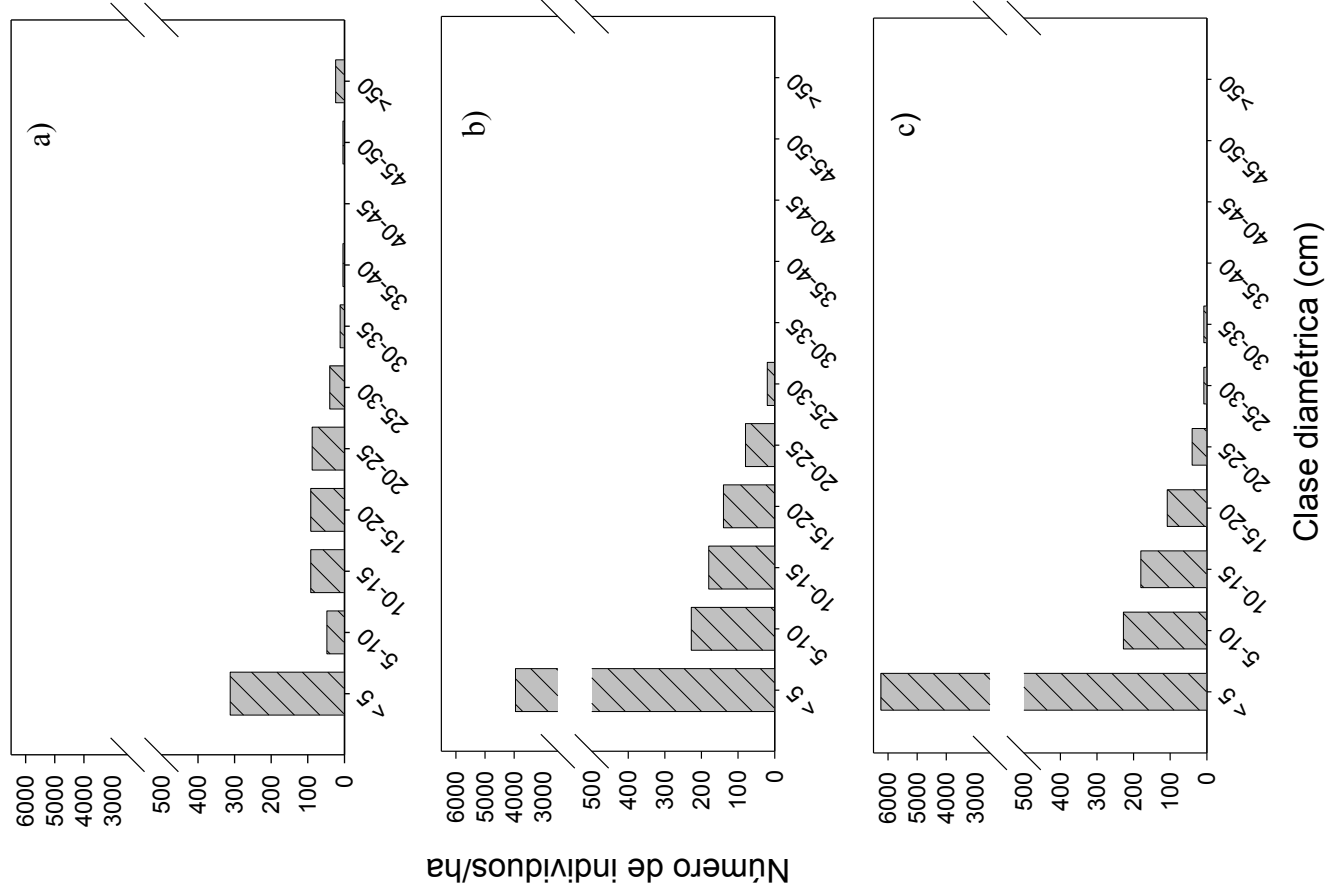


Figura 4. Distribución diamétrica de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala. a) Parcela Piñonal-1, b) Parcela Piñonal-2, y c) Parcela Piñonal-3.

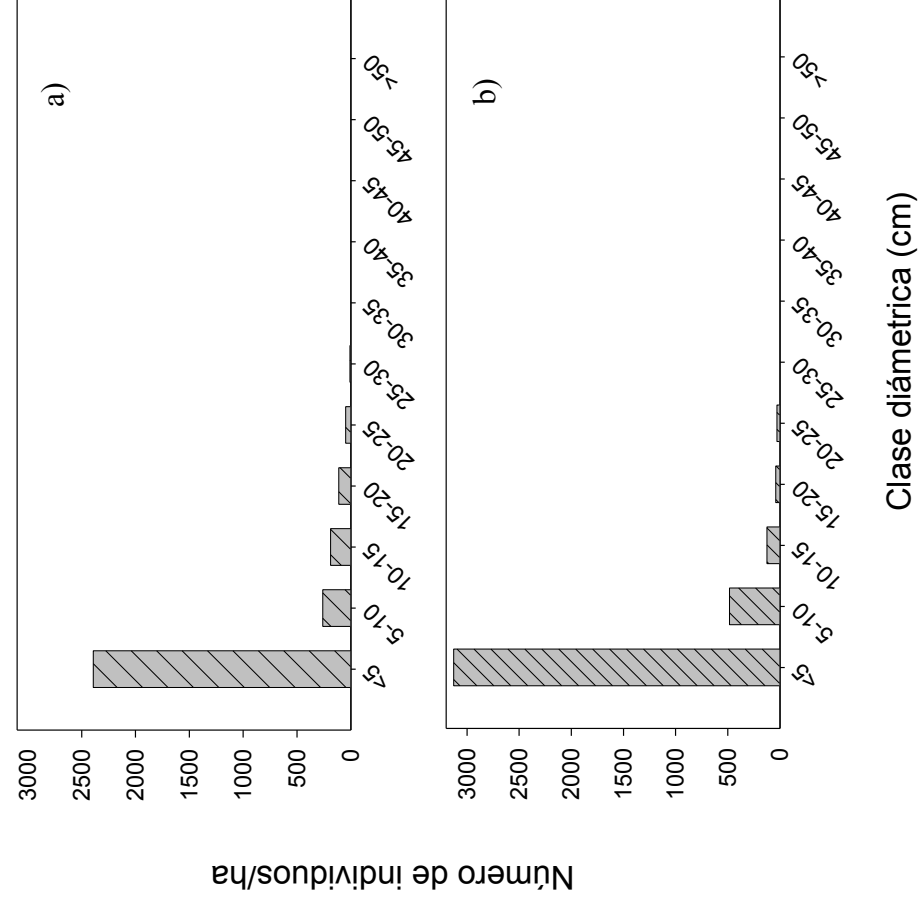


Figura 5. Distribución diamétrica de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala. a) Parcela Organito-1, b) Parcela Organito-2.

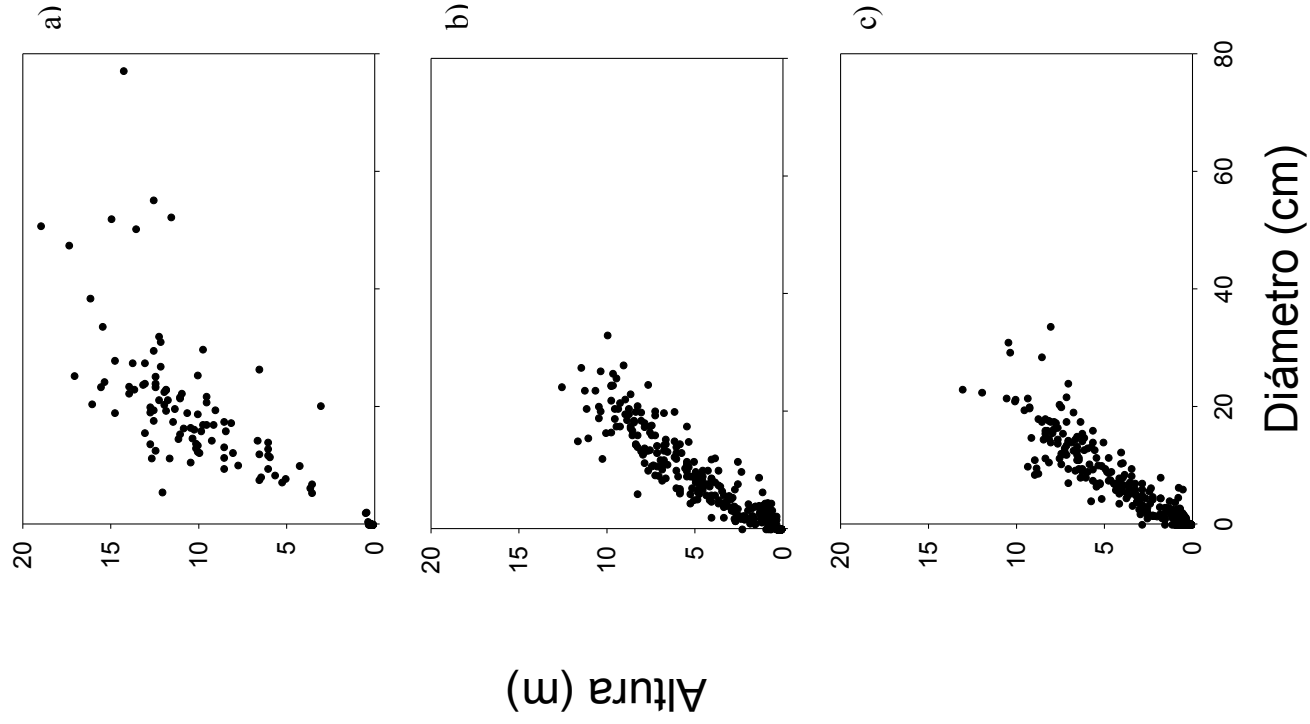
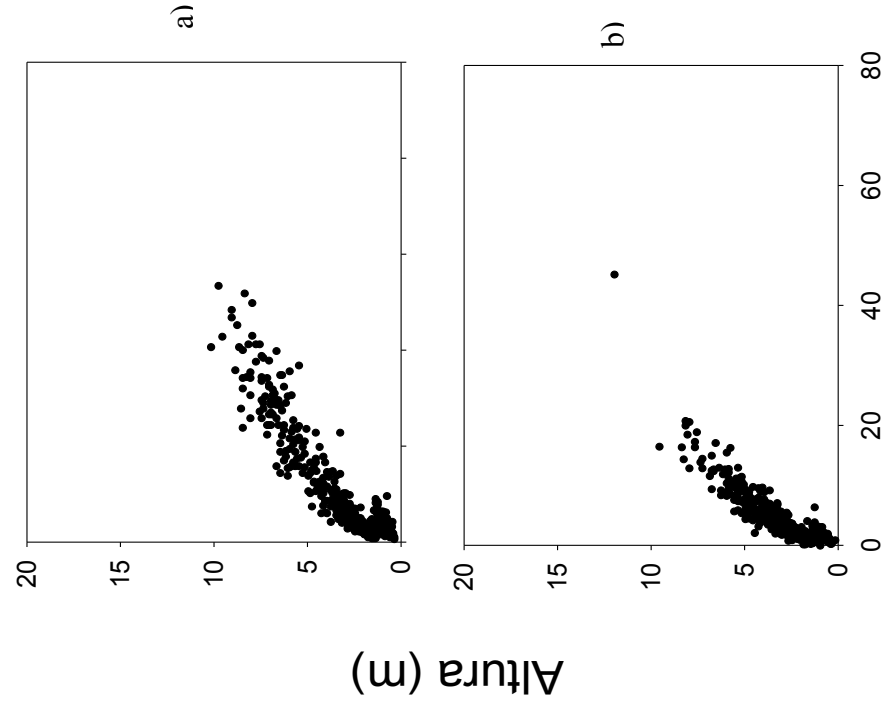


Figura 6. Relación de diámetro-altura de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala. a) Parcela Piñonal-1, b) Parcela Piñonal-2, y c) Parcela Piñonal-3.



Diámetro (cm)

Figura 7. Relación de diámetro-altura de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* en Santa María

Las Cuevas, Tlaxcala. a) Parcela Organito-1, b) Parcela Organito-2.

Silva (1994) reportó un índice de Shannon de 0.45, mientras que Fuentes (1992) encontró un valor de 0.54, ambas para *P. cembroides* subsp. *orizabensis* en sitios similares al de este estudio, por que los valores de diversidad encontrados en este estudio de Santa María Las Cuevas, son congruentes con otros estudios. Además, en el Índice de Shannon entre parcelas no se detectó diferencias estadísticas significativas (Figura 7).

Todas las parcelas analizadas presentaron valores similares y bajos del Índice de Equidad, el cual varió de 0.17 a 0.29 (Cuadro 4). Estos resultados reflejan la alta densidad relativa en el sitio de especies como *P. cembroides* subsp. *orizabensis* y *Nolina parviflora*, y pocos individuos de las otras especies.

Cuadro 4. Valores del Índice de Shannon (H'), Índice de Equidad (E) y Índice de Jaccard (C_j) en el Piñonal y Organito en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala.

Parcela	Núm. de especies	Índice de Shannon (H')	Índice de Equidad (E)	Índice de Jaccard (C_j)
Piñonal 1	5	0.4363	0.2710	0.6666
Piñonal 2	5	0.3418	0.2465	0.8333
Piñonal 3	6	0.3225	0.1799	0.8333
Organito 1	5	0.4711	0.2927	1
Organito 2	5	0.4420	0.2746	1

Se determinaron valores altos del Índice de Jaccard al comparar la similitud florística entre parcelas (Cuadro 5), lo cual concuerda con la composición y riqueza de especies en cada una de ellas (Cuadro 1 y 2).

Cuadro 5. Índice de Jaccard (C_j) para los sitios analizados, Piñonal y el Organito, en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala.

Parcela	P2	P3	O1	O2
P1	0.6666	0.8333	1	1
P2		0.833	0.6666	0.6666
P3			0.8333	0.8333
O1				1

P1=Piñonal-1, P2=Piñonal-2, P3=Piñonal-3, O1=Organito-1, O2=Organito-2

Dados los resultados encontrado de diversidad, densidad de individuos, y coeficiente de similitud, se puede concluir que la exclusión del ganado ha tenido impactos positivos en el reclutamiento de nuevos individuos a la población. Sin embargo, se observan diferencias en la estructura diamétrica, especialmente en el diámetro máximo de individuos en uno y otro sitio. Este hallazgo puede reflejar un diferencial en las condiciones de edad del arbolado, el cual deberá ser analizado en subsecuentes estudios

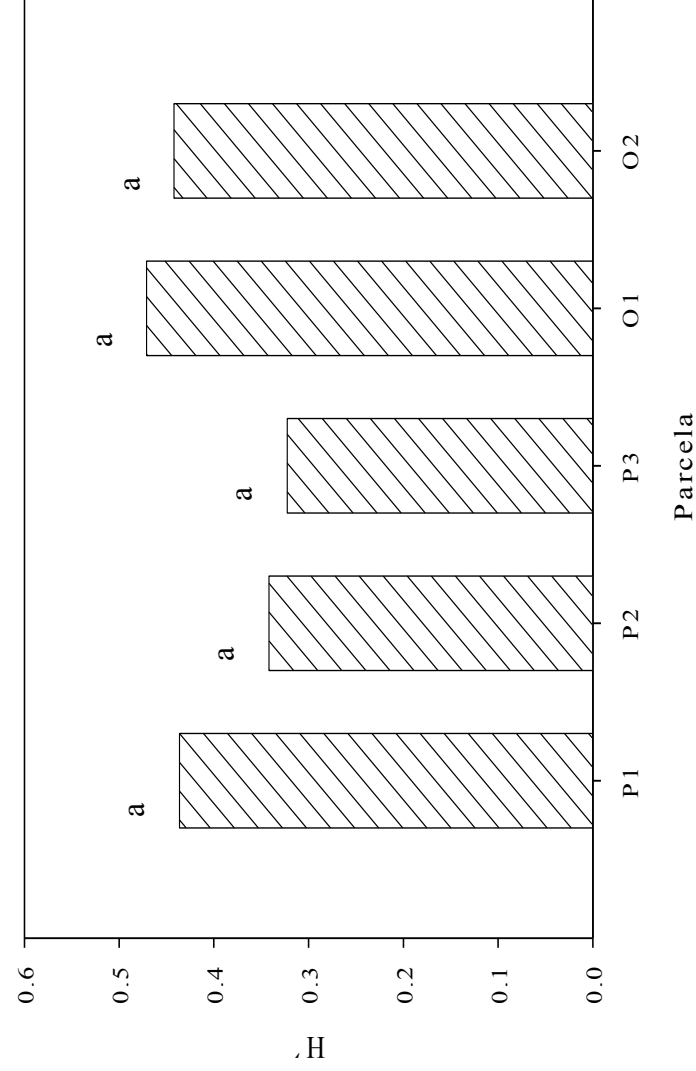


Figura 8. Índice de diversidad de Shannon para las parcelas analizadas en el bosque de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* en Santa María las Cuevas, Tlaxcala. (P1-Piñonal-1, P2-Piñonal-2, P3-Piñonal-3, O1-Organito-1, O2-Organito-2).

5.2. Patrón de distribución y correlación espacial

En el bosque de Santa María Las Cuevas, Tlaxcala *P. cembroides* subsp. *orizabensis* fue la especie dominante, aunque se compone de otras especies codominantes como *N. parviflora* y *J. deppeana*. El análisis del patrón de distribución espacial de *P. cembroides* subsp. *orizabensis* en el bosque mostró una variación entre los estadios de desarrollo (Figuras 9-13). Las plántulas presentaron la mayor densidad en las cinco parcelas (Figuras 9-13 a), y en el análisis univariado resultó un patrón espacial significativamente agrupado a todas las distancias (Figuras 14-18a). En la población de brinzales, con menor densidad que las plántulas, se observó el mismo patrón de distribución agrupada a todas las distancias en las cinco parcelas (Figuras 9-13b; 15-18b), aunque no con menor intensidad.

Los individuos juveniles mostraron una distribución espacial agrupada hasta los 15 m de distancia. A distancias mayores su distribución espacial pasó a aleatoria (Figura 10-13c; 15-18c). Por su parte los adultos presentaron un patrón de distribución espacial en general aleatorio en todas las parcelas de observación, aunque en el Piñonal-1, y Organito-1 y 2, la distribución tendió a ser agrupado entre distancias de 2 a 4 m (Figuras 9-13d; 14-18d). Estos resultados implican que la distribución de *P. cembroides* subsp. *orizabensis* cambia gradualmente con el incremento de tamaño, de agrupado a aleatoria. La agrupación conforme pasa el tiempo va disminuyendo por competencia intraespecífica y por factores ambientales y de sitio, dando como resultado una distribución aleatoria en la etapa adulta.

5.3. Asociación intra-específica

La interacción espacial de *P. cembroides* subsp. *orizabensis* mostró de manera general independencia entre los estadios de desarrollo (Figuras 18-22). Las plántulas fueron espacialmente independientes de los brinzales, juveniles y adultos a todas las distancias (Figuras 18, 19 y 20) a excepción de la asociación positiva (atracción) con los adultos en el Organito-1 (Figura 21) y con brinzales en el Organito-2. También, las plántulas mostraron una correlación negativa (repulsión) con juveniles en el Organito-2 (Figura 22). Los brinzales de manera general presentaron una correlación espacial independiente entre los estadios de

desarrollo. Por su parte, los juveniles observaron una asociación de independencia en todos los estadios de desarrollo.

La estructura de tamaños de la población de *P. cembroides* subsp. *orizabensis* fue de forma de “J” invertida, ya que las plántulas y los adultos tuvieron mayor densidad, misma que decreció a los brinzales y juveniles (Cuadro 3), este tipo de estructura indica que la población se regenera continuamente por su ciclo de vida muy largo (Chang-Ming *et al.*, 2004); particularmente para el caso de *P. cembroides* subsp. *orizabensis* esto puede ser resultado de procesos históricos de la población que alteraron las proporciones de individuos en las clases de tamaños, así como en su distribución espacial (Llambi *et al.*, 2004).

El clima es uno de los factores que controlan la distribución de estas poblaciones, cuya respuesta a la variabilidad climática depende del genotipo, la estrategia reproductiva y posibles interacciones de los individuos (Woodward, 1987, 1990). La descripción de la estructura de tamaños y edades y del patrón espacial de poblaciones de árboles puede servir para inferir los procesos que lo produjeron. La importancia de conocer la heterogeneidad espacial y temporal son elementos críticos en la función de los ecosistemas, por lo que los procesos que mantienen esta heterogeneidad y diversidad de especies deben ser conservados (Camarero y Gutiérrez, 1999).

En un análisis espacial en la savanna de *Borassus aethiopum* Ridley se encontró que el principal factor que afecta la distribución espacial de juveniles fue la dispersión de las semillas, los nutrientes en el suelo y la competencia por luz, presentándose un patrón agregado en la etapa inicial y disminuyendo en la etapa adulta (Barot *et al.*, 1999). Mientras Rigg, (2005), observó una distribución espacial agregada en *Araucaria laubenselii* Corbasson y *Araucaria montana* Brongn en diferentes grados de pendientes (> 1 m de altura) encontrando un alto grado de agregación en pendientes más pronunciadas, pero con menos individuos, presentándose de igual manera antes y después de un disturbio (fuego). Por lo que se piensa que ambas especies se reclutan continuamente a pesar de los disturbios que se presentaron años atrás o de los se puedan presentar.

Rozas y Camarero (2005) observaron una distribución espacial agregada para los brinzales y los árboles jóvenes y un patrón aleatorio para los individuos maduros en *Fagus sylvatica* L. en Caviedes, España. Los ejemplos de estos patrones agregados de los individuos juveniles y aleatorios de los maduros son abundantes en la bibliografía y son congruentes con los resultados de este estudio. Estos son patrones característicos de especies que se establecen en claros del dosel, en los cuales los procesos de mortalidad dependiente de la densidad transforman el patrón inicial en agregados en un patrón final aleatorio, o incluso regular para ciertos rangos de distancia. Los patrones bivariantes para esta especie indicaron repulsión espacial de brinzales y árboles jóvenes respecto a los árboles maduros.

Segura y Snook (1992) analizaron la distribución espacial de individuos de *Pinus cembroides* subsp. *cembroides* en el oriente central de México a través de la técnica de Clark y Evans. Los resultados mostraron que el índice de dispersión para la población indica una tendencia hacia el agrupamiento en individuos pequeños. Este patrón es el resultado del diferencial en supervivencia de los individuos después de un disturbio que se presentó en 1938 (incendio) y de los subsecuentes disturbios menores por viento, además de las condiciones de micrositios que se generan dependiendo de la microtopografía (barrancas y partes planas). Estos autores también observaron el paso progresivo de patrones agrupados para individuos en etapa juvenil a aleatorio en etapa adulta.

El patrón de distribución espacial agrupado en la clase de tamaño pequeñas ha sido ampliamente referida en la literatura. Algunos ejemplos son *Pinus uncinata* Mill. (Camarero y Gutiérrez, 1999), *Cryptomeria japonica* (Hirayama y Sakimoto, 2003) y *Fagus grandifolia* var. *mexicana* (Álvarez-Aquino, 1997).

Los mecanismos de dispersión de las semillas y las características propias de las semillas de especies arbóreas, pueden tener profundas repercusiones en los patrones de distribución espacial de plántulas y sobre la correlación espacial de éstas especialmente con individuos adultos. Particularmente se esperaba tener una mayor influencia de los árboles adultos sobre la distribución espacial de plántulas de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis*, ya que la especie produce una semilla grande cuya dispersión ocurre por gravedad. Sin embargo, sólo en el

Organito-1 (Figura 21) se observó atracción entre plántulas y adultos. Nanami *et al.* (1999) en un estudio realizado en *Podocarpus nagi* (Thunb.) una especie arbórea dioica, encontró una fuerte influencia de la ubicación de árboles hembra sobre la heterogeneidad espacial de su descendencia, atribuyéndola a una limitada capacidad de dispersión de sus semillas, ya que éstas eran grandes y se dispersan por gravedad. Por tanto, la dispersión por aves y pequeños mamíferos que ocurre también en *P. cembraoides* subsp. *orizabensis*, puede contrarrestar el hecho de su limitada capacidad de dispersión por gravedad, y por tanto producir los patrones de correlación espacial encontrados entre plántulas y los otros estadios de desarrollo.

En general, el patrón de distribución tiende a hacer agregado cuando las semillas son dispersas a corta distancia del árbol progenitor. Por consiguiente la distribución agregada en etapa inicial (plántulas) y un patrón aleatorio en los adultos. Diversos estudios señalan que a medida que la comunidad madura, el patrón de distribución cambia. La agregación ocurre entre los individuos más jóvenes, y debido a la competencia intra-específica, se van eliminando y el patrón tiende a cambiar a aleatorio o uniforme a medida que los individuos de la población maduran (Koukoulas y Blackburn, 2005). La heterogeneidad del ambiente es una de las características de mayor impacto en los patrones espaciales de las plantas y puede generalizarse que mayor heterogeneidad mayor impacto en la distribución espacial de todos los estadios de tamaño de una especie (Nanami *et al.*, 1999; Chang-Ming *et al.*, 2004).

La competencia intra- específica entre los individuos pequeños y el componente herbáceo es muy severa debido a las características de dispersión de la semilla, a la reserva de nutrientes en el suelo, a la intensidad de luz y a la apertura de claros en el dosel. Donde la regeneración es más abundante provocada por perturbaciones en el sitio, la distribución espacial en los estadios pequeños tiende a ser agrupada. Los individuos de tamaño mediano o juveniles toman el espacio medio de la comunidad y su supervivencia es el resultado de la competencia entre individuos durante las diferentes fases de crecimiento, lo que explica la presencia de un patrón espacial aleatorio. Cuando se registran una marcada distribución aleatoria o uniforme en árboles adultos se presenta una ocupación total del espacio (Dalling *et al.*, 1998).

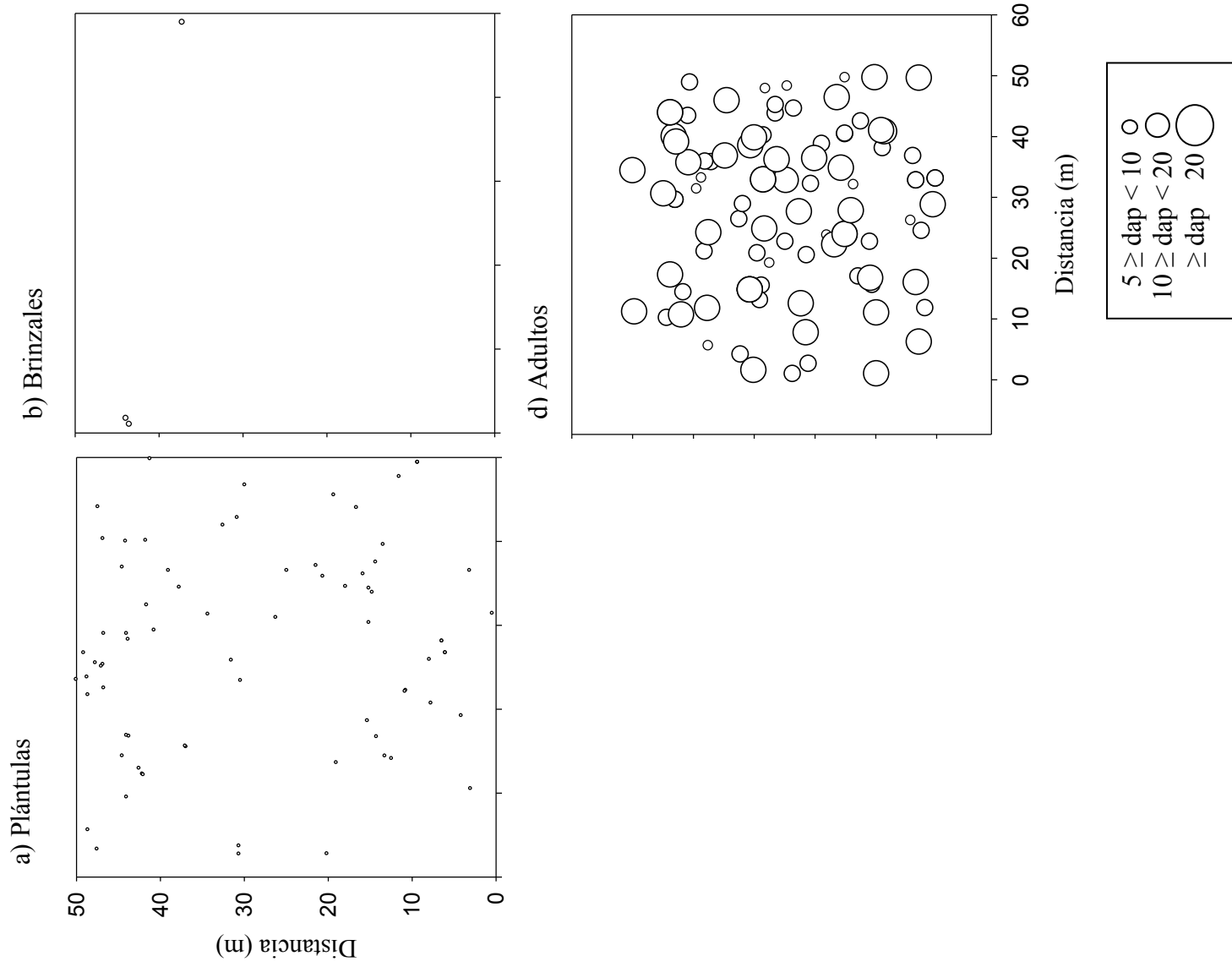


Figura 9. Distribución en planta de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* en la Parcela Piñonal-1 en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala. a) Plántulas ($H < 0.3$ m), b) Brinzales ($0.3 \leq H < 2.0$ m), c) Adultos ($dap \geq 5$ cm).

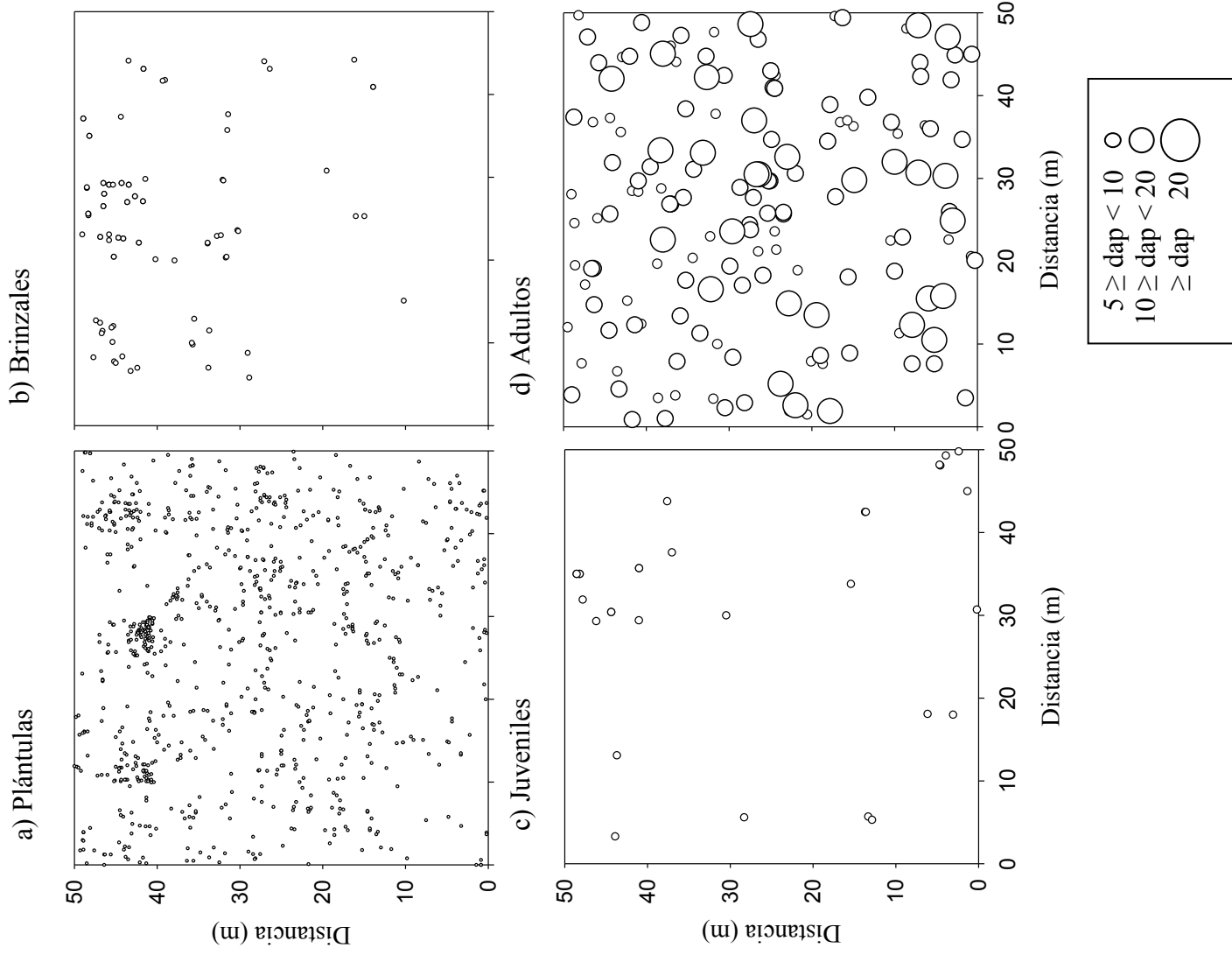


Figura 10. Distribución en planta de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* en la Parcela Piñonal-2 en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala. a) Plántulas ($H < 0.3$ m), b) Brinzales ($0.3 \leq H < 2.0$ m), c) Juveniles ($H \leq 2.0$ m, $\text{dap} < 5$ cm) y d) Adultos ($\text{dap} \geq 5$ cm).

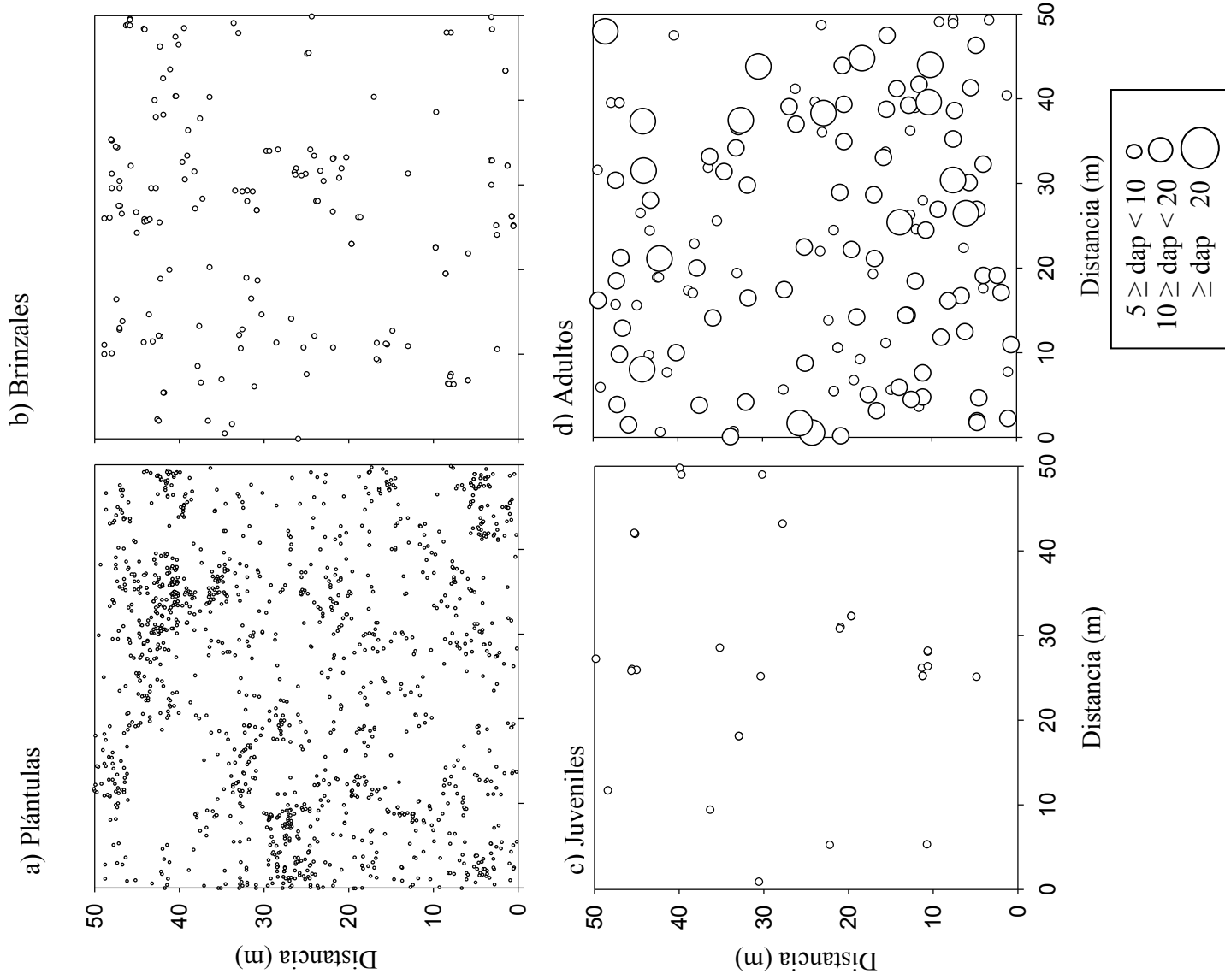


Figura 11. Distribución en planta de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* en la Parcela Piñonal-3 en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala. a) Plántulas ($H < 0.3$ m), b) Brinzales ($0.3 \leq H < 2.0$ m), c) Juveniles ($H \geq 2.0$ m, $\text{dap} < 5$ cm) y d) Adultos ($\text{dap} \geq 5$ cm).

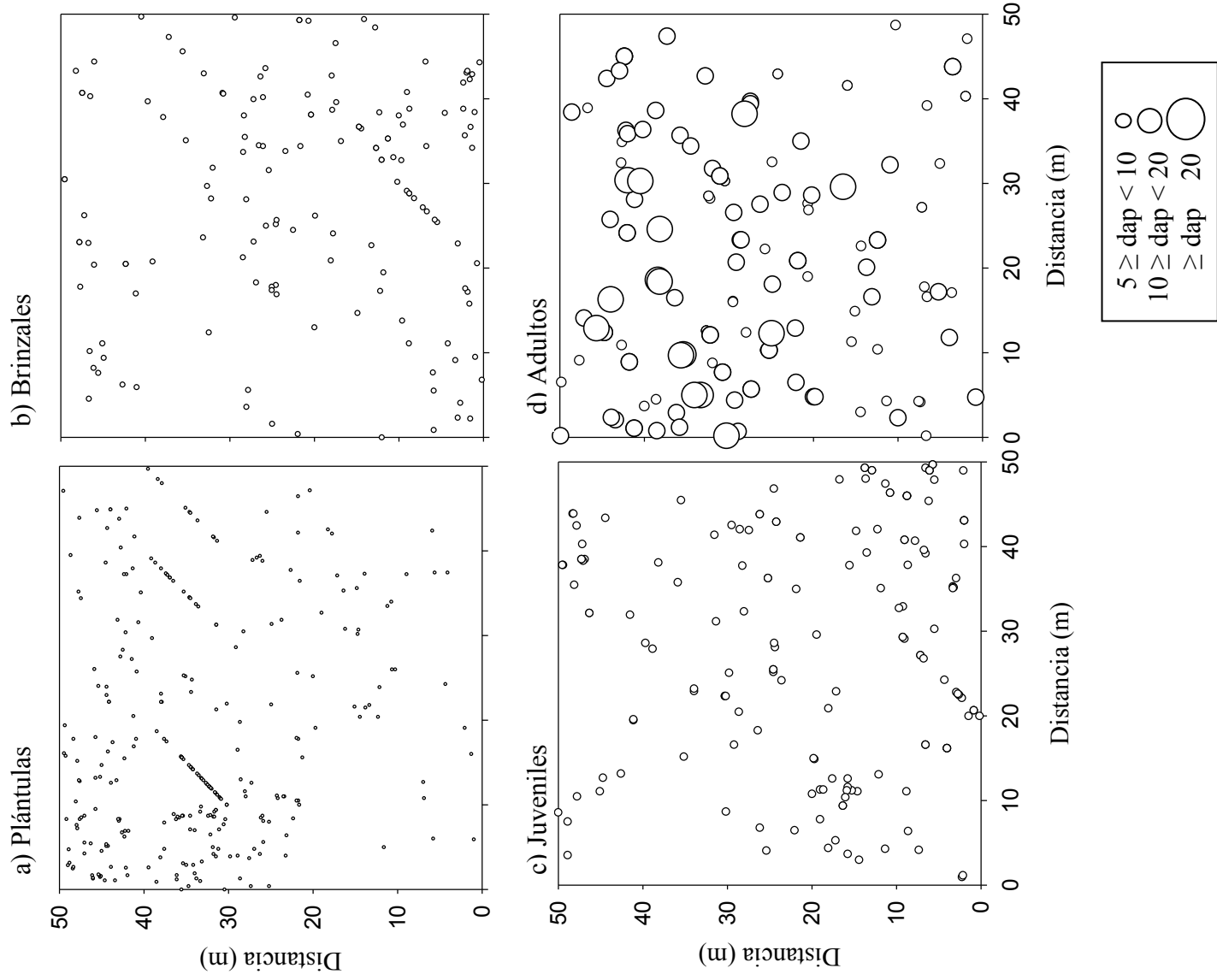


Figura 12. Distribución en planta de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* en la Parcela Organito-1 en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala. a) Plántulas ($H < 0.3$ m), b) Brinzales ($0.3 \leq H < 2.0$ m), c) Juveniles ($H \geq 2.0$ m, $\text{dap} < 5$ cm) y d) Adultos ($\text{dap} \geq 5$ cm).

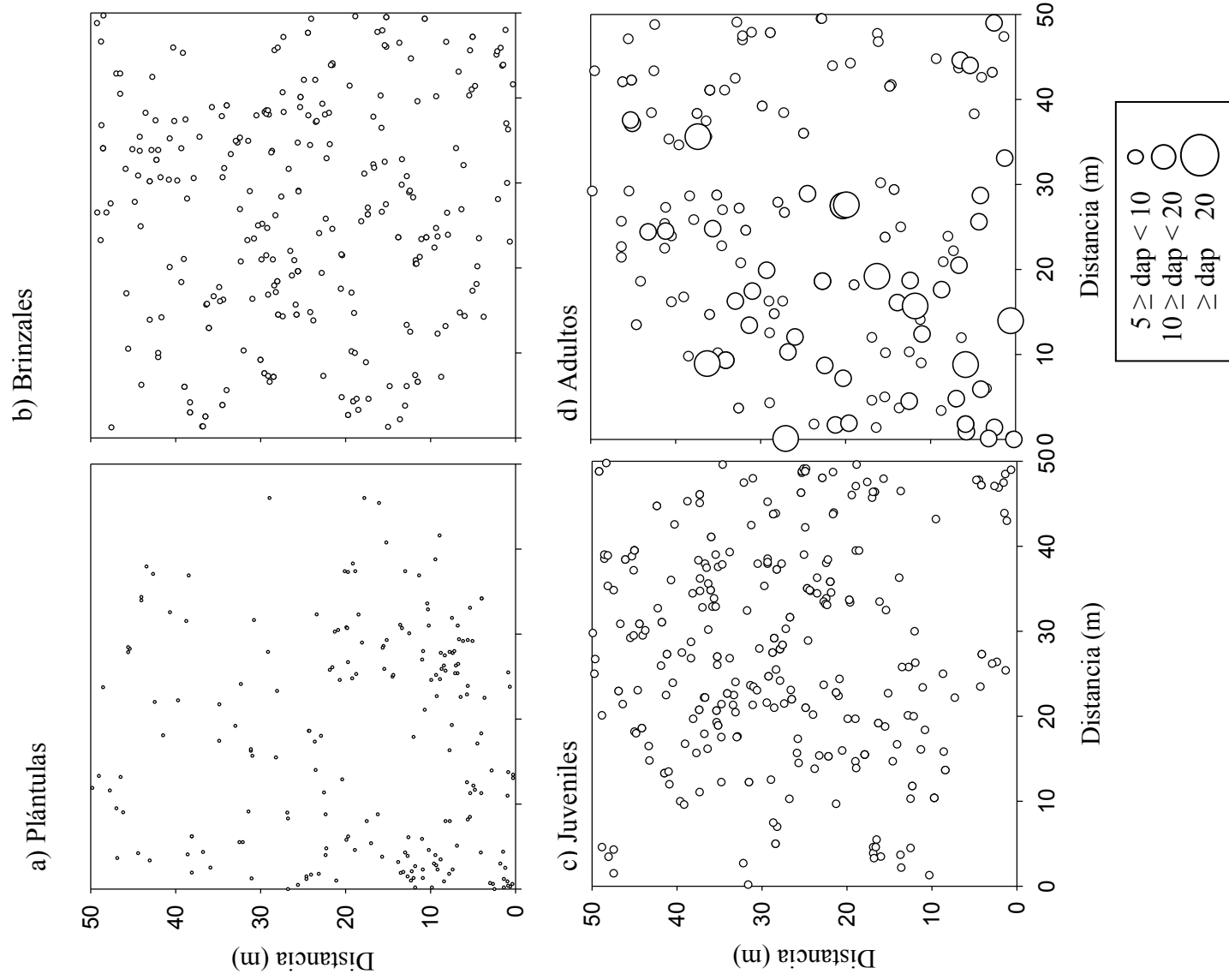


Figura 13. Distribución en planta de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* en la Parcela Organito-2 en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala. a) Plántulas ($H < 0.3$ m), b) Brinzales ($0.3 \leq H < 2.0$ m), c) Juveniles ($H \geq 2.0$ m, $\text{dap} < 5$ cm) y d) Adultos ($\text{dap} \geq 5$ cm).

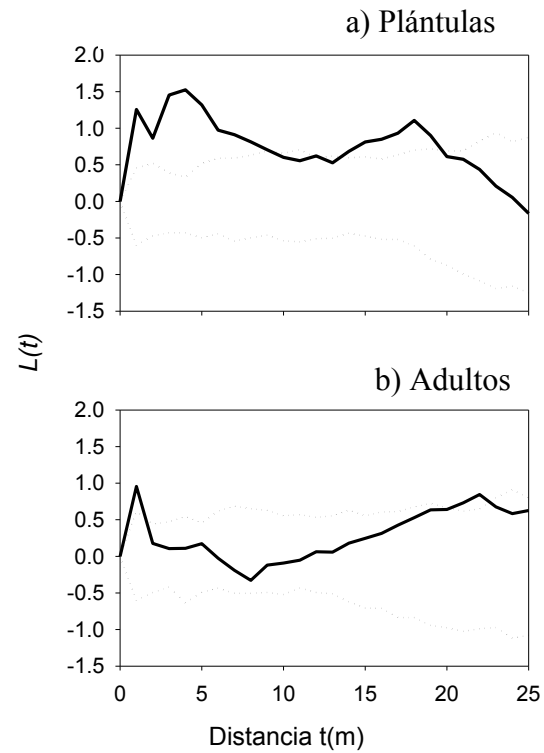


Figura 14. Distribución espacial ($L(t)$) de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* en la Parcela Piñonal-1, en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala. a) Plántulas y b) Adultos. La línea sólida muestra los valores de $L(t)$ y las líneas discontinuas el intervalo de confianza con un 99% de confiabilidad.

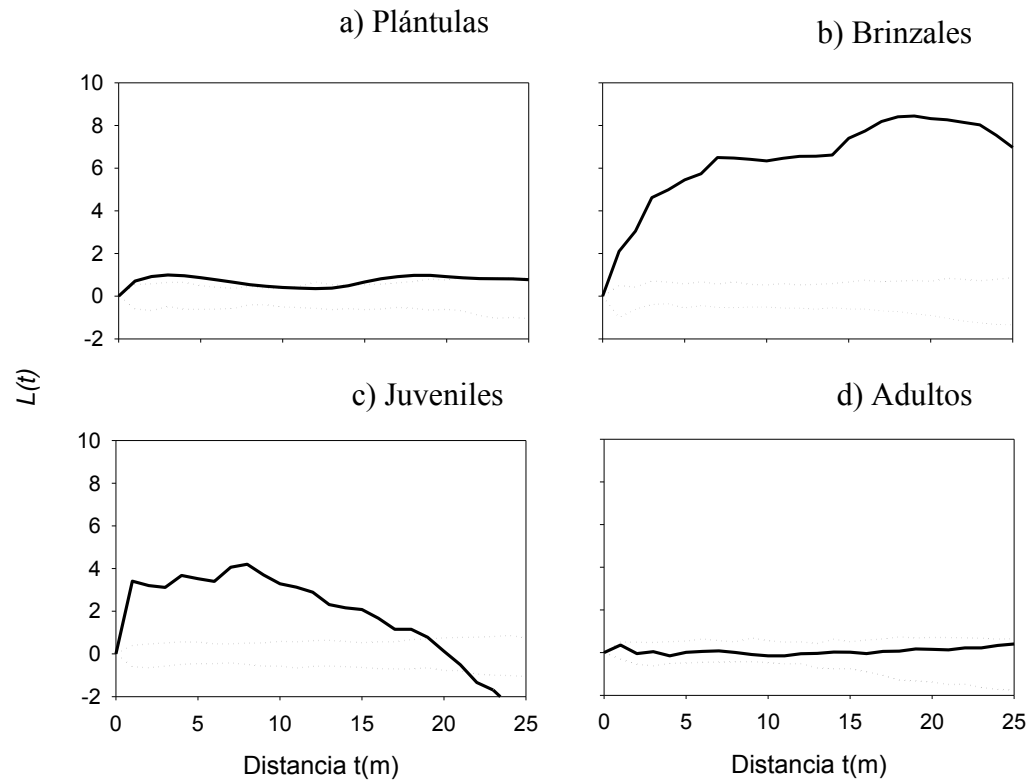


Figura 15. Distribución espacial ($L(t)$) de *Pinus cembriodes* subsp. *orizabensis* en la Parcela Piñonal-2, en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala. a) Plántulas, b) Brinzales, c) Juveniles y d) Adultos. La línea sólida muestra los valores de $L(t)$ y las líneas discontinuas el intervalo de confianza con un 99% de confiabilidad.

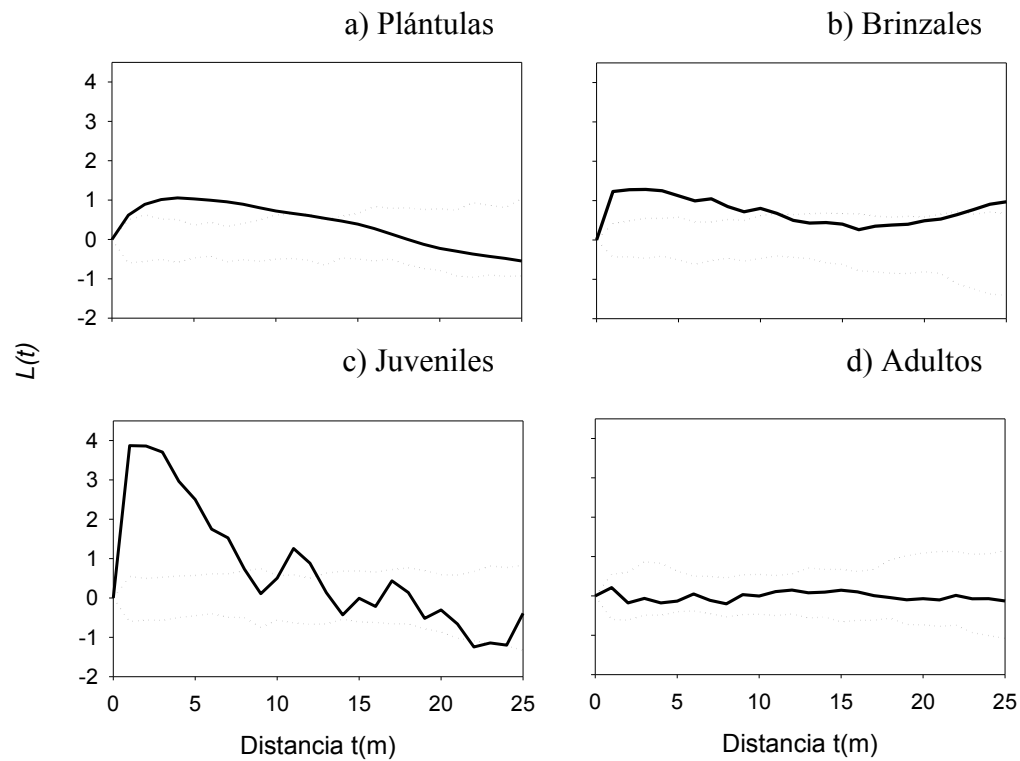


Figura 16. Distribución espacial ($L(t)$) de *Pinus cembriodes* subsp. *orizabensis* en la Parcela Piñonal-3, en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala. a) Plántulas, b) Brinzales, c) Juveniles y d) Adultos. La línea sólida muestra los valores de $L(t)$ y las líneas discontinuas el intervalo de confianza con un 99% de confiabilidad.

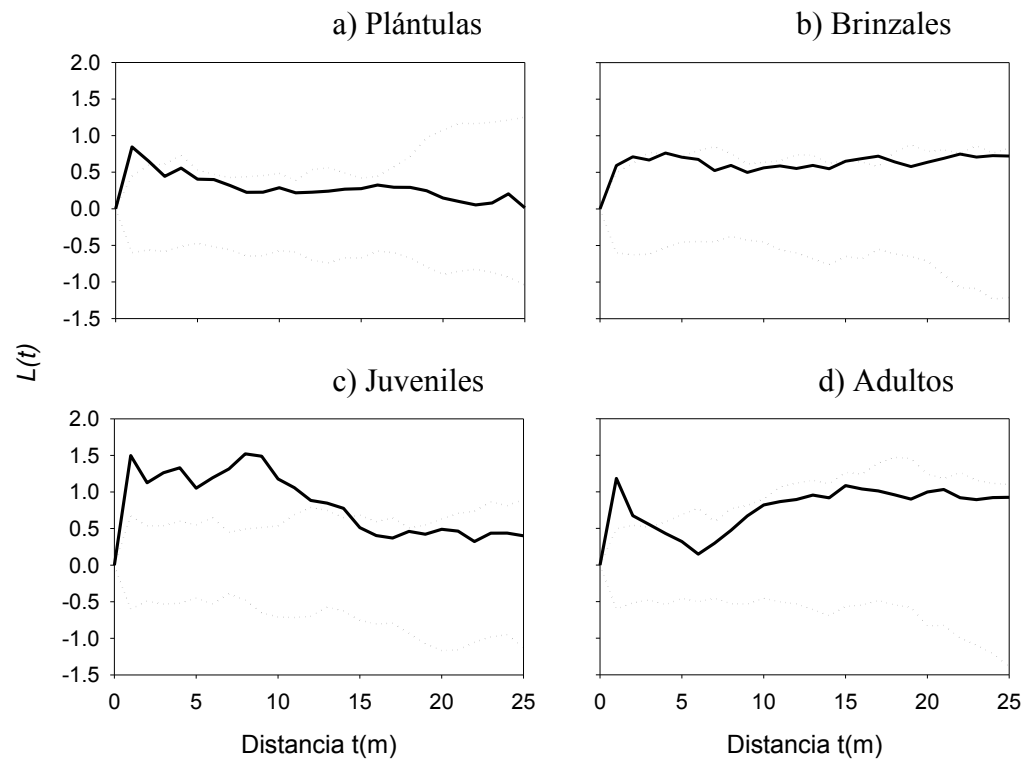


Figura 17. Distribución espacial ($L(t)$) de *Pinus cembriodes* subsp. *orizabensis* en la Parcela Organito-1, en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala. a) Plántulas, b) Brinzales, c) Juveniles y d) Adultos. La línea sólida muestra los valores de $L(t)$ y las líneas discontinuas el intervalo de confianza con un 99% de confiabilidad.

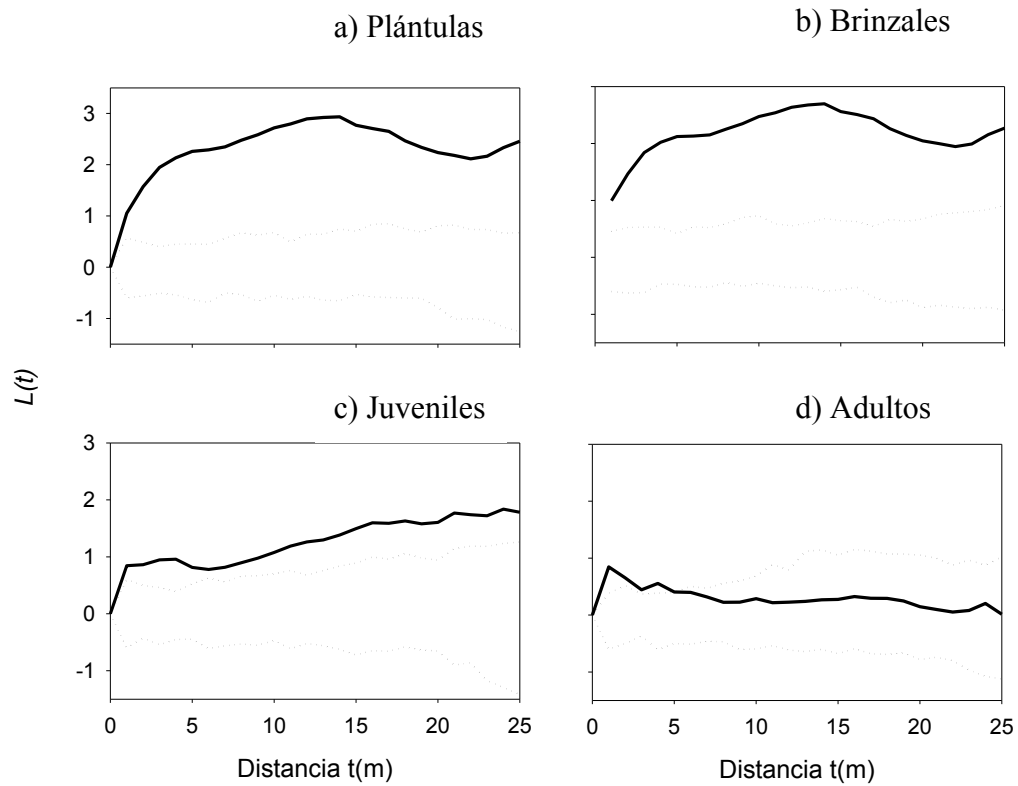


Figura 18. Distribución espacial ($L(t)$) de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* en la Parcela Organito-2, en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala. a) Plántulas, b) Brinzales, c) Juveniles y d) Adultos. La línea sólida muestra los valores de $L(t)$ y las líneas discontinuas el intervalo de confianza con un 99% de confiabilidad.

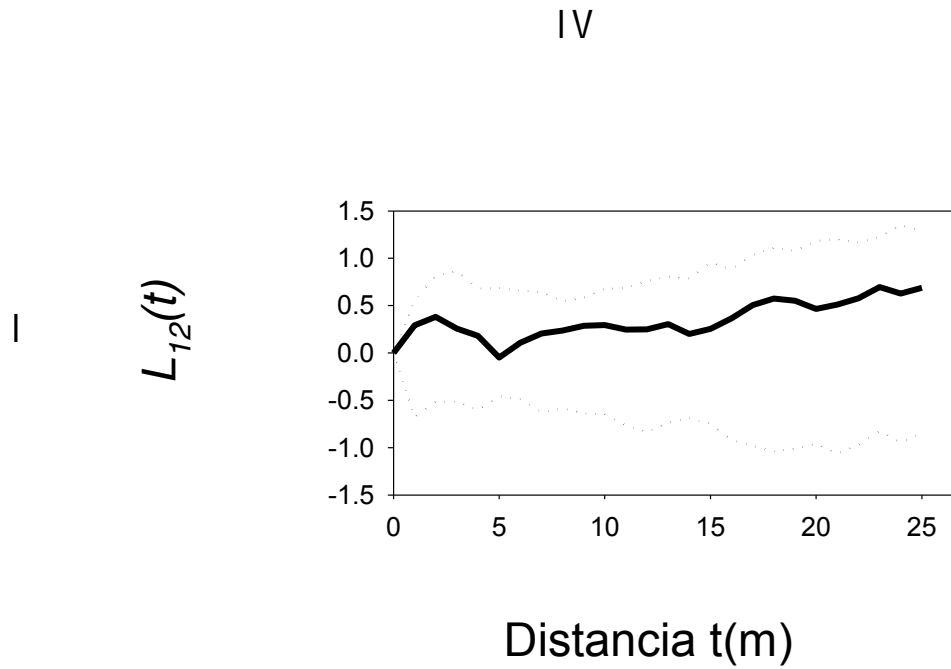


Figura 19. Matriz de correlación espacial $L_{12}(t)$ de la distribución bivariada para los estadios de desarrollo de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* (Parcela Piñonal-1). I: Plántulas, y IV: Adultos. La línea sólida muestra los valores de $L_{12}(t)$ y las líneas discontinuas muestran el intervalo con un 99% de confiabilidad de la relación de independencia.

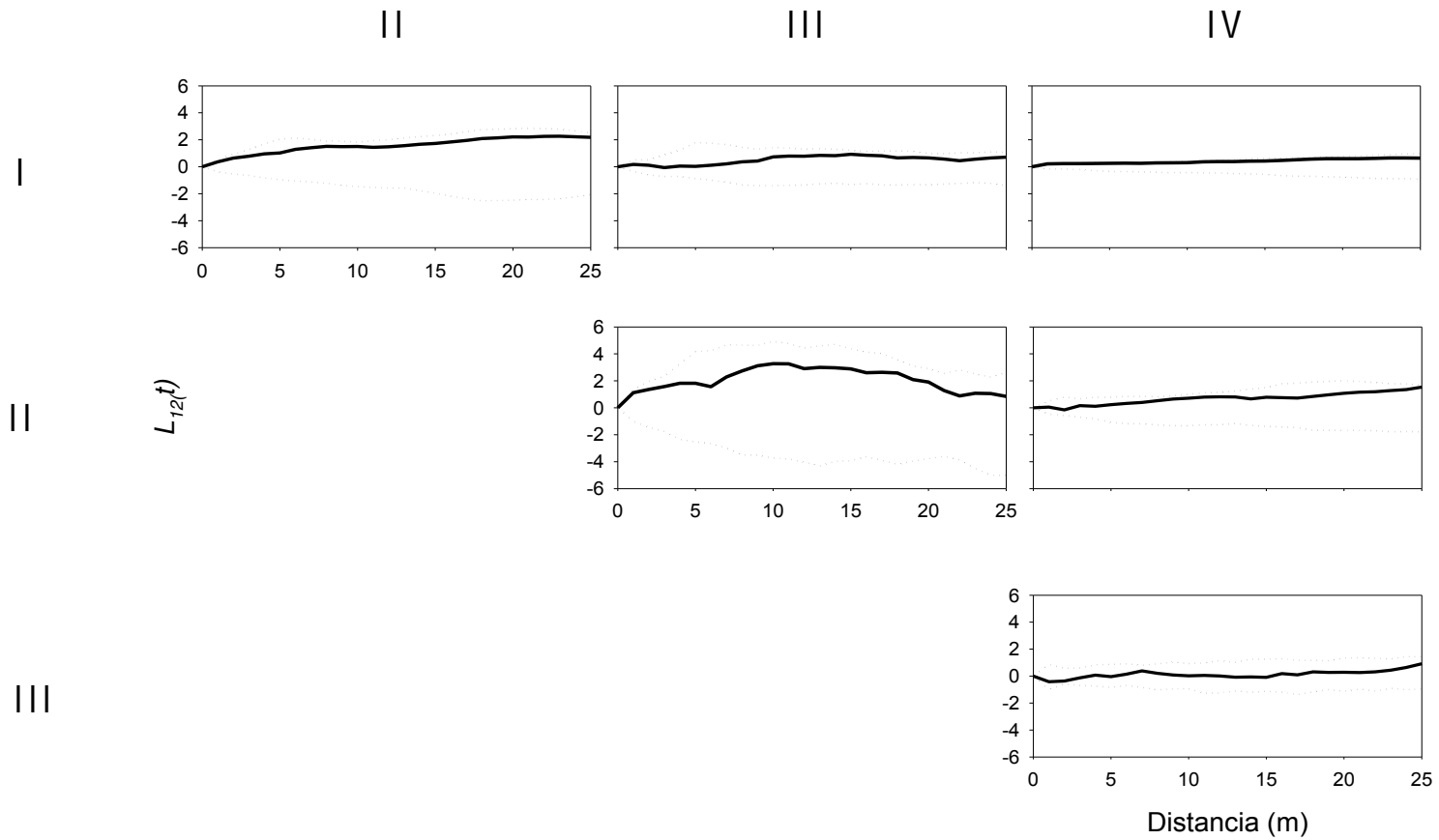


Figura 20. Matriz de correlación espacial $L_{12}(t)$ de la distribución bivariada para los estadios de desarrollo de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* (Parcela Piñonal-2). I: Plántulas, II: Brinzales, III: Juveniles, y IV: Adultos. La línea sólida muestra los valores de $L_{12}(t)$ y las líneas discontinuas muestran el intervalo con un 99% de confiabilidad de la relación de independencia.

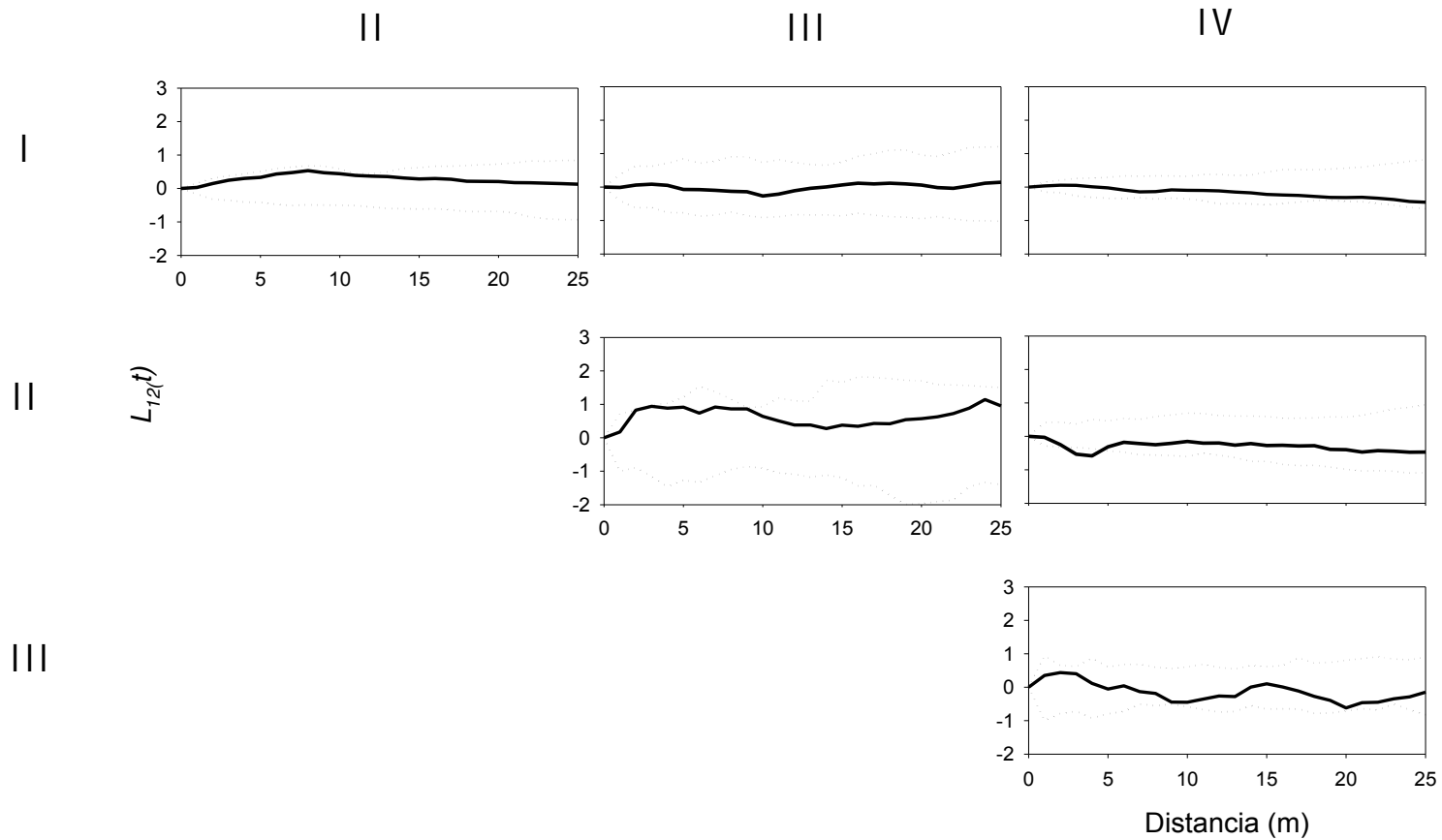


Figura 21. Matriz de correlación espacial $L_{12}(t)$ de la distribución bivariada para los estadios de desarrollo de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* (Parcela Piñonal-3). I: Plántulas, II: Brinzales, III: Juveniles, y IV: Adultos. La línea sólida muestra los valores de $L_{12}(t)$ y las líneas discontinuas muestran el intervalo con un 99% de confiabilidad de la relación de independencia.

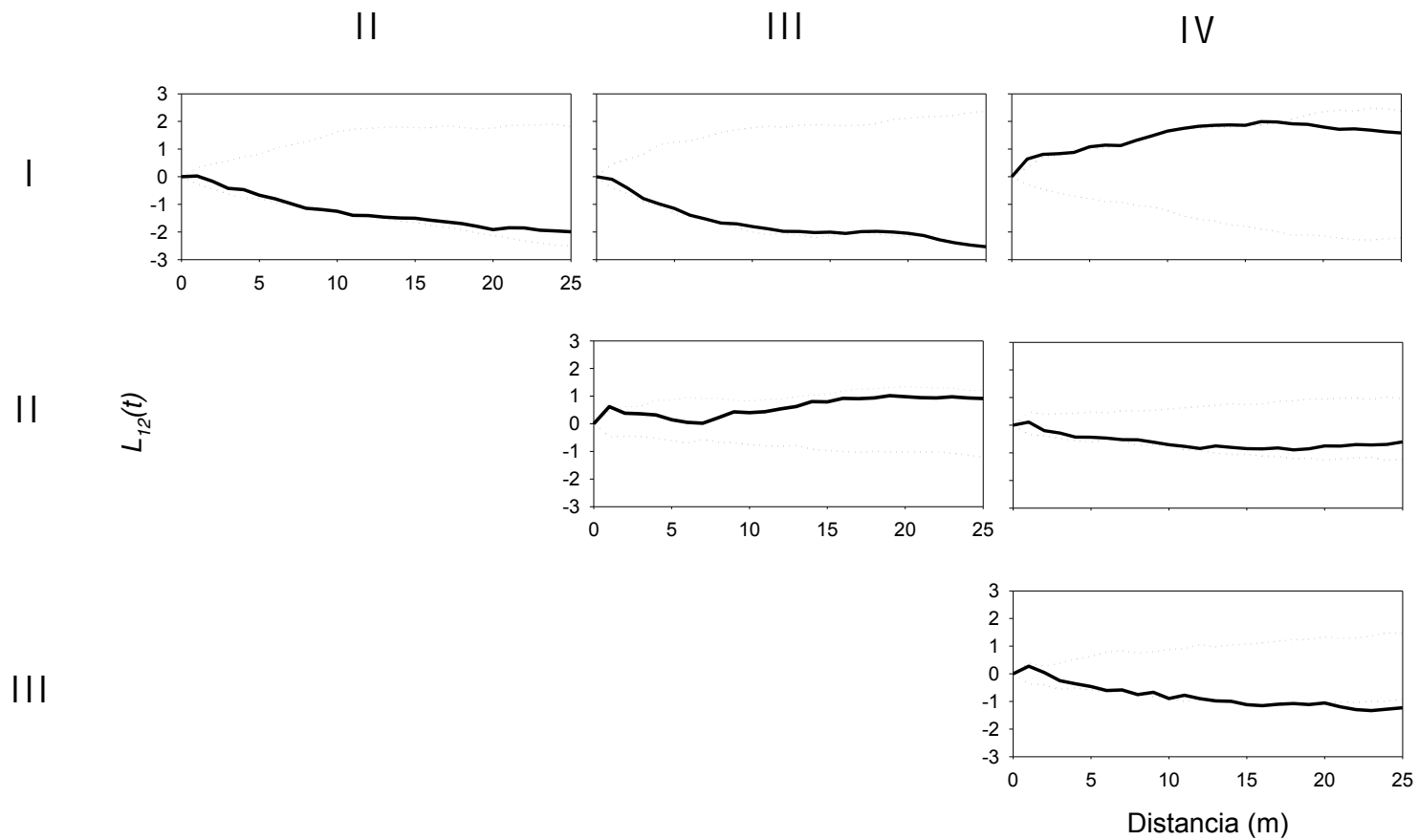


Figura 22. Matriz de correlación espacial $L_{12}(t)$ de la distribución bivariada para los estadios de desarrollo de de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* en la parcela Organito-1, en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala. I: Plántulas, II: Brinzales, III: Juveniles, y IV: Adultos. La línea sólida muestra los valores de $L_{12}(t)$ y las líneas discontinuas muestran el intervalo de confianza con un 99% de confiabilidad de la relación de independencia.

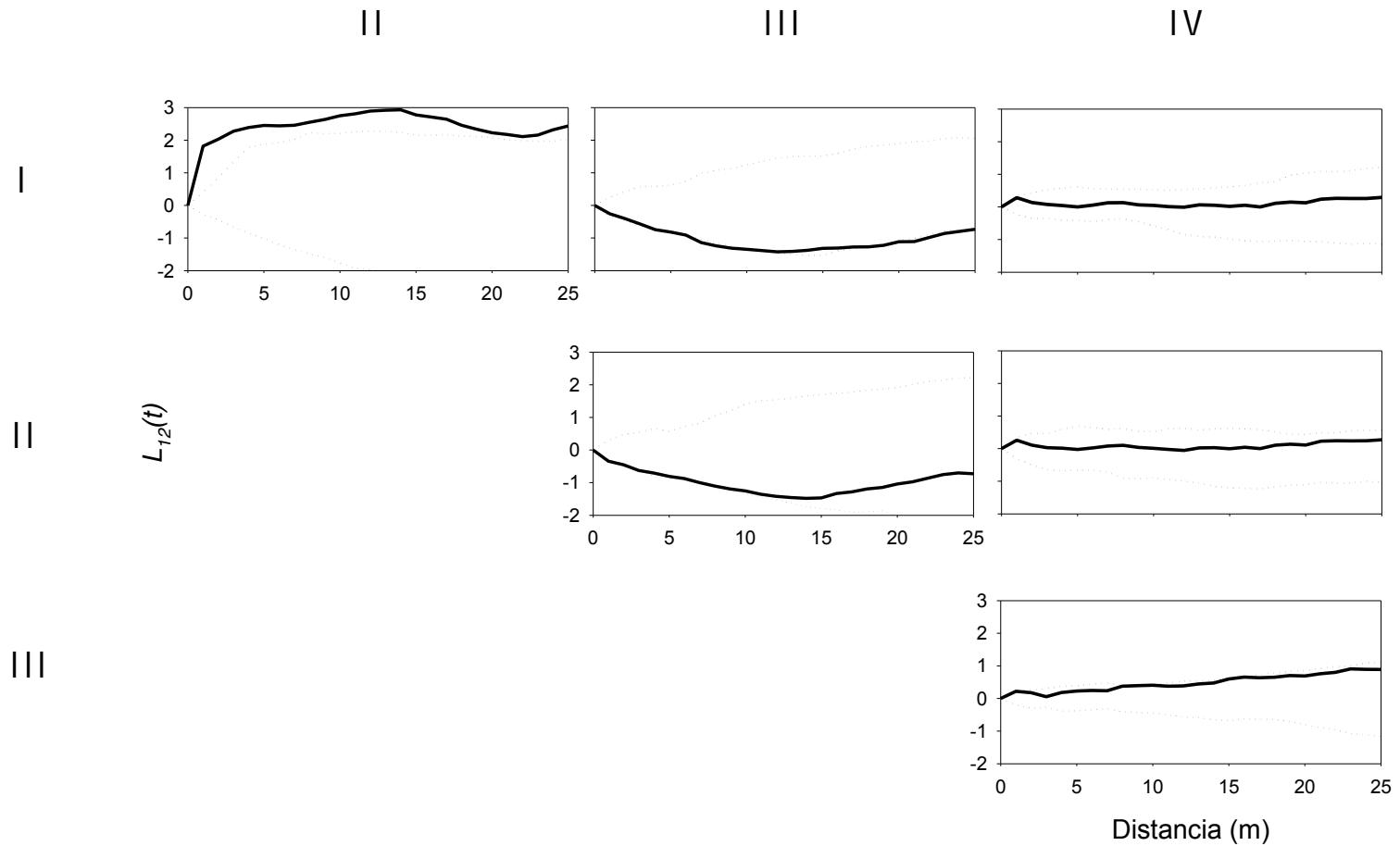


Figura 23. Matriz de correlación espacial $L_{12}(t)$ de la distribución bivariada para los estadios de desarrollo de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* (Parcela Organito-2). I: Plántulas, II: Brinzales, III: Juveniles, y IV: Adultos. La línea sólida muestra los valores de $L_{12}(t)$ y las líneas discontinuas muestran el intervalo con un 99% de confiabilidad de la relación de independencia.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 🚧 *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* es la especie con mayor densidad de individuos por unidad de superficie en sus diferentes estadios. También presentó la mayor área basal e índice de valor de importancia relativa.
- 🚧 *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* presentó una estructura diamétrica que se ajusta al modelo de “J” invertida en ambos sitios, es decir, que esta especie se regenera con o sin exclusión del ganado.
- 🚧 Las poblaciones de plántulas y brinzales, muestran un patrón de distribución espacial agregada, mientras que los adultos presentaron patrones aleatorios. En general, la correlación espacial entre estadios de desarrollo es independencia.
- 🚧 A pesar de que la regeneración de la especie es constante en ambos sitios, es necesario determinar la capacidad de carga animal que es posible mantener sin poner en riesgo la regeneración de la población de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis*. Por otro lado, es necesario conducir estudios para determinar las características demográficas de la especie, desde la etapa de semilla hasta la etapa adulta. Esta información es estrictamente necesaria para proponer mejores alternativas, no solamente de uso sino también de conservación de la especie.

7. LITERATURA CITADA

- Álvarez-Aquino, C. 1997. Estudio poblacional de *Fagus mexicana* Martínez en Acatlán, Veracruz. Tesis de Maestría. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Ver. 81 p.
- Aguirre C., O.A. 2002. Índices para la caracterización de la estructura del estrato arboreo de ecosistemas forestales. Rev. Ciencia Forestal en México 27(92): 5-28.
- Arteaga M., B., R.H. García, y J.G. Rivera M. 2000. Piñón Grande. *Pinus maximartinezii* Rzedowski. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. p134.
- Bailey, D.K. 1983. A new allopatric segregate form and a new combination in *Pinus cembroides* Zucc. at its southern limits. Phytologia 54: 89-100.
- Barot, S., J. Gignous and J.C. Menaut. 1999. Demography of a savanna palm tree: prediction from comprehensive spatial pattern analyses. Ecology 80: 1987-2005.
- Besag, J. 1977. Contribution to the discussion on Dr. Ripley's paper. Journal of the Royal Statistical Society B (39):193-195.
- Besag, J. y P.J. Diggle. 1977. Simple Monte Carlo tests for spatial pattern. Applied Statistics 26: 327-333.
- Camarero, J.J. y E. Gutiérrez. 1999. Estructura, patrón espacial y regeneración de una población de *Pinus uncinata* Ram. en su límite occidental de distribución. Zulia 17: 99-153.
- Catalán E., C., L. López-Mata y T. Terrazas. 2003. Estructura, composición florística y diversidad de especies leñosas de un bosque mesófilo de montaña de Guerrero, México. Anales del Instituto de Biología, Serie Botánica 74(2): 209-230.
- Cetina A., V. M. 1984. Estudio sobre germinación de *Pinus cembroides* Zucc. en condiciones naturales. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 129 p.
- Chang-Ming, Z., Ch. Qing-Heng, Q. Yong-Kang and P. Kai-Wem. 2004. Structure and spatial pattern of natural *Abies faxoniana* population on the eastern edge of Qinghai-Tibetan Plateau. Acta Phytocologica Sinica 28 (3): 341-350.
- Clark, P.J. and F.C. Evans. 1954. Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations. Ecology 35: 445-453.
- Clark, D. 1990. The role of disturbance in the regeneration of neotropical moist forest. /n: K. S. Bawa and M. Hadley (eds). Reproductive ecology of tropical forest plants. MAB/UNESCO. Paris. 421 p.
- CONAFOR. 2000. Comisión Nacional Forestal. Servicios de conservación, restauración, producción y productividad. <http://www.conafor.gob.mx>. (18 de agosto de 2007).

- CONAGUA, Comisión Nacional del agua. 2007. Servicios Meteorológicos Nacional. <http://smn.cna.gob.mx> (20 de septiembre de 2007).
- Dalling, J.W., S.P. Hubbell and K. Silvera. 1998. Seed dispersal, seedling establishment and gap partitioning among tropical pioneer trees. *Journal of Ecology* 86: 674-689.
- Daniel, T.W., J.A. Helms y F.S. Backer. 1982. *Principios de Silvicultura*. Ed. Mc Graw Hill. México. 492 p.
- Dansereau, P.A. 1951 Description and recording of vegetation upon a structural basis. *Ecology* 32(2): 172-229.
- Dearing, O. 1980. Forest development in North America following major disturbances. *Forest Ecology and Management* 3 :153-168.
- De los Ríos, E., R. De Hoogh, P. Domínguez y J. Navar. 2003. Ensayo de procedencias con pinos piñoneros en el noroeste de México. XII Congreso Forestal Mundial. Québec Canadá. pp 1-3.
- Díaz, J.L. 1992. Tópicos selectos sobre ecología en zonas semiáridas. Universidad Autónoma de Baja California Sur. México. pp. 1-13.
- Diggle, P.J. 1983. Statistical analysis of spatial point patterns. Academic Press, London, UK. 148 p.
- Eguiluz P., T. 1977. Los Pinos del Mundo. Publicación especial No 1. ENA. Departamento de Bosques. Chapingo, México. 74 p.
- Eguiluz P., T. 1978. Los pinos de México. Tesis profesional. ENA. Departamento de Bosques. Chapingo, México. 623 p.
- Eguiluz P., T. 1982. Clima y distribución del género *Pinus* en México. *Ciencia Forestal* 7(38): 30-44.
- Eguiluz P., T. 1985. Origen y evolución del género *Pinus* en México (con referencia especial a los pinos mexicanos). *Dasonomía Mexicana* 3(6): 5-31.
- Eguiluz P., T. 1987. Evolución de los pinos piñoneros en México. *In* II Simposio Nacional sobre Pinos Piñoneros. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. pp. 83-89.
- Fisher, M. 2000. Software available for sophisticated spatial statistics. University of the South Pacific, Suva, Fiji. pp. 1-28.
- Fonseca J., R.M. 2003. De piñas y piñones. *Rev. Ciencia Forestal en México* 69(1): 64-65.
- Fuentes M., B. 1992. Caracterización y clasificación fisonómica del bosque de pino piñonero. Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 69 p.

- Francoise P., M. 1977. Notas sobre el estudio ecológico y fitogeográfico de los bosques de *Pinus cembroides* Zucc. en México. Revista de la Dirección General de Investigación y Capacitación Forestal 10 (2) : 49-58.
- González A., J. 2006. *Pinus cembroides* Zucc. Variación morfológica de semillas y plántulas y producción de semillas en un huerto semillero. Tesis de Doctorado. Postgrado Forestal. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 102 p.
- Hernández R., A. 1985. Análisis estructural de los Piñonares del Altiplano Potosino-Zacatecano. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 155 p.
- Hirayama K. and M. Sakimoto. 2003. Regeneration of *Cryptomeria japonica* on a sloping topography in a cool-temperate mixed forest in the snowy region of Japan. Canadian Journal Forest Research 33: 543-551.
- INEGI. 1994. Cuaderno Estadístico Municipal de Alzayanca Edo. de Tlaxcala. México. pp:13-20.
- Jiménez, J., L. Torres, y J. Baca. 1999. Descripción estructural de un ecosistema de *Pinus-Quercus* en la Sierra Madre Oriental. IV Congreso Mexicano Sobre Recursos Forestales. Durango, México. p 11.
- Kimmins, J.P. 2004. Forest Ecology: A Foundation for Sustainable Management and Environmental Ethics in Forestry. Prentice Hall. New Jersey, USA. 611 p.
- Koukoulas, S. and G.A. Blackburn. 2005 Spatial relationships between tree species and gap characteristics in broadleaved deciduous woodland. Journal of Vegetation Science 16: 587-596.
- Kozlowski, T.T. 1991. Growth Control in Woody Plant. Establishment and growth of tree stands. Chapter 3. Academic Press. San Diego, A.C. pp. 69-121.
- López T., J.L. y J.C. Tamarit U. 2006. Caracterización y dinámica de la estructura diamétrica de un bosque tropical secundario en Campeche, México. Rev. Ciencia Forestal en México 30(98): 51-70.
- López D., J.C. 2008 Estructura silvícola y dinámica de bosques de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en el estado de Tlaxcala. Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de Tlaxcala. División de Ciencias Biológicas. Tlaxcala, México. 93 p.
- Lutz, H.J. 1930. The Vegetation of herat's content, a Virgin Forest in Northwestern Pennsylvania. Ecology 2: 1-29.
- Llambi, L.D., R. Law and A. Hodge. 2004. Temporal changes in local spatial structure of late-successional species: establishment of an Andean caulescent rosette plant. Journal of Ecology 92: 122-131.

- Magurran, A.E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press. 179 p.
- Mostacedo, B. y T.S. Fredericksen. 2000. Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR). 87 p.
- Mueller-Dombois, D. y H. Ellemberg. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley and Sons, New York. 547 p.
- Nanami, S., H. Kawaguchi y T. Yamakura. 1999. Dioecy-induced spatial patterns of two codominant tree species, *Podocarpus nagi* and *Neolisea aciculata*. Journal of Ecology 87: 678-687.
- Naranjo, A. 1991. Variación morfológica y fenológica de dos piñoneros en las serranías meridionales de San Luis Potosí. Agrociencia, Serie Recursos Naturales Renovables 1(3): 38-53.
- Novoa L., I., A. Gallegos-Rodriguez y A. Novoa L. 2007. Caracterización de la estructura y diversidad del bosque tropical caducifolio de la Villa de los Niños de Acatlán de Juárez, Jalisco. Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Morelia, Michoacán. p. 143.
- Nur, N., S.L. Jones and G. Geupel. 1999. Statistical guide to data analysis of avian monitoring programs. U.S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, BTP-R6001-1999, Washington, D.C. 46 p.
- Oldeman, R. 1989. Dynamics in tropical rain forest. /tr: L.B. Holm-Nielsen, Y.C. Nielsen and H. Balslev (eds). Tropical Forest: Botanical Dynamics, Speciation and Diversity. Academic Press. London. pp: 3-21.
- Pérez S., B.L. 2006. Evaluación comparativa de la regeneración natural en áreas bajo Manejo Forestal en la región de Tlaxco, Tlaxcala. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Tlaxcala. Tlaxcala, México. 73 p.
- Perry, J.P. 1991. The Pines of México and Central America. Timber Press, Portland, Oregon. 231 p.
- Poulos, H.M. and P.G. Berlyn. 2007. Variability in needle morphology and water status of *Pinus cembroides* across an elevational gradient in the Davis Mountains of west Texas, USA. Journal of the Torrey Botanical Society 134(2): 281-288.
- Richard, P.W. 1952. The tropical rain forest an ecological study. Cambridge Univ. Press. 450 p.
- Rigg, L.S. 2005. Disturbance processes and spatial patterns of two emergent conifers in New Caledonia. Austral Ecology 30: 363-373.
- Ripley, B.D. 1977. Modeling spatial patterns. Journal of the Royal Statistical Society B 39:172-212.

- Rozas, V. y J. Camarero. 2005. Técnicas de análisis espacial de patrones de puntos aplicadas en ecología forestal. Invest Agrar: Sist. Recur. For. 14(1): 79-97.
- Rzedowski, J. 1988. Vegetación de México. Edit. Limusa, México. 432 p.
- Sánchez T., V., L. Mendizábal H. y L. Nieto P. 2002. Producción de semillas de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* D. K. Bailey de Altzayanca, Tlaxcala. Rev. Forestal Veracruzana 1(7): 15-20.
- Segura, G. and C.L. Snook. 1992. Stand dynamics and regeneration patterns of a pinyon pine forest in east central Mexico. Forest Ecology and Management 47 (1-4): 175-194.
- Silva B., L. 1994. Caracterización sinecológica del bosque de pino piñonero (*P. cembroides* subsp. *orizabensis*) en Altzayanca (Santa María las Cuevas), Tlaxcala. Tesis de Licenciatura. Departamento de Zonas Áridas. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 103 p.
- Spurr, S.H. y B.V. Barnes. 1982. Ecología Forestal. 1ª Ed. AGT. Editor, México. 960 p.
- Torres E., L.M., J.A. Sánchez S. y J. Jiménez P. 2006. Análisis estructural de un ecosistema forestal de *Pinus-Quercus* en la Sierra Madre Oriental. Rev. Ciencia Forestal en México 31(100): 7-30.
- Velasco M., H.A. 1991. Las Zonas Áridas y Semiáridas. Edit. Noriega. México 725 p.
- Woodward, F.I. 1987. Climate and Plant Distribution. Cambridge Univ. Press. Cambridge, U.K. 167 p.
- Woodward, F.I. 1990. The impact of low temperatures in controlling the geographical distribution of plants. Phil. Trans. R. Soc. (B326): 585-593.
- Zarco E., V.M. 2007. Estructura y diversidad de la vegetación arbórea en el parque estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. Tesis de Maestría. Postgrado Forestal. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 92 p.
- Zavala CH., F. 1987. Estudio de la primera etapa de desarrollo de conos femeninos de *Pinus cembroides* Zucc.. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 113 p.