



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN CIENCIAS FORESTALES

**DIVERSIDAD GENÉTICA DE LINÁLOE  
(*Bursera linanoe*)  
Y DIVERSIDAD ARBÓREA DE  
ECOSISTEMAS DONDE SE DISTRIBUYE  
ESTA ESPECIE**

IRIS JACARANDA CRUZ LARIOS

**T E S I S**  
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTORA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2022



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

La presente tesis titulada: “Diversidad genética de lináloe (*Bursera linanoe*) y diversidad arbórea de ecosistemas donde se distribuye esta especie” realizada por la estudiante: “Iris Jacaranda Cruz Larios” bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS  
CIENCIAS FORESTALES

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO (A)

  
DR. CARLOS RAMIREZ HERRERA

ASESOR (A)

FIRMA   
DR. VICTOR MANUEL CETINA ALCALÁ

ASESOR (A)

FIRMA   
DR. JUAN IGNACIO VALDEZ HERNANDEZ

ASESOR (A)

FIRMA   
DR. MARIO VALERIO VELASCO GARCÍA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, agosto de 2022

# DIVERSIDAD GENÉTICA DE LINÁLOE (*Bursera linanoe*) Y DIVERSIDAD ARBÓREA DE ECOSISTEMAS DONDE SE DISTRIBUYE ESTA ESPECIE

Iris Jacaranda Cruz Larios, M. C.  
Colegio de Postgraduados, 2022

## RESUMEN

*Bursera linanoe* (La Llave) Rzed., Calderón & Medina (lináloe) es importante en el bosque tropical caducifolio en los estados de Morelos, Guerrero, Puebla y Oaxaca, México. La información es escasa, por lo que esto es una limitante para establecer estrategias de conservación y manejo para esta especie. El objetivo fue evaluar diversidad de especies en los ecosistemas donde *B. linanoe* crece, estructura vertical y distribución horizontal del arbolado y diversidad genética. Veinticuatro unidades de muestreo fueron establecidas en poblaciones de esta especie en las subprovincias bióticas Balsasana y Cañadiana. El área de cada unidad de muestreo fue 250 m<sup>2</sup>. La altura y diámetro normal (>2.5 cm) fueron medidos en todos los árboles en cada unidad de muestreo. La riqueza de especies y los índices de diversidad: Margalef, Simpson, Shannon, Equidad y Sorensen fueron calculados. También, densidad arbórea, estructura vertical (altura), índices de Morisita y de Ripley fueron calculados. Follaje fue recolectado de 92 árboles para extraer ADN. Cinco iniciadores de microsatélites se analizaron. Los genotipos fueron registrados de 69 genes. Sesenta y cinco especies de árboles fueron identificadas en ecosistemas donde crece lináloe en ambas subprovincias. Los valores (Margalef = 2.51, Simpson = 0.79, Shannon = 1.88 y Equidad = 0.84) de los índices de diversidad fueron altos. Las categorías de altura entre 2 y 6 m dominaron en las poblaciones de *B. linanoe*. La densidad fue 258 árboles ha<sup>-1</sup>. Las unidades de muestreo con los índices de Morisita y Ripley fueron 70 % y 62.7 % agrupadas, respectivamente. Los sesenta y nueve loci fueron polimórficos. La heterocigosidad esperada fue 0.352. La diversidad de especie fue alta en los ecosistemas donde crece *B. linanoe*. El patrón de distribución horizontal fue agregado. La diversidad genética fue alta.

**Palabras clave:** Lináloe, bosque tropical caducifolio, riqueza, índices, polimorfismo heterocigosidad.

# GENETIC DIVERSITY OF LINÁLOE (*Bursera linanoe*) AND TREE DIVERSITY OF ECOSYSTEMS WHERE THIS SPECIE IS DISTRIBUTED

Iris Jacaranda Cruz Larios, M. C.  
Colegio de Postgraduados, 2022

## ABSTRACT

*Bursera linaloe* (La Llave) Rzed., Calderón & Medina (linaloe) is an important specie in the dry tropical forest in the Mexican states of Morelos, Guerrero, Puebla, and Oaxaca. Information on the establishment of conservation and management strategies for this species is scarce. The objective was to evaluate the diversity of ecosystems where *Bursera linaloe* grows, the vertical structure, and genetic diversity of this species. Twenty-four sampled units were established in populations of this species in the Balsasana and Cañadiana biotic subprovinces. The area of each sampled unit was 250 m<sup>2</sup>. Height and normal diameter (> 2.5 cm) were measured from all the trees in each sampled unit. The species richness and Margalef, Simpson, Shannon and Evenness indexes were calculated. Also, tree density, vertical structure (height), and Morisita and Ripley indexes were calculated. Foliage was collected from 92 trees to extract DNA. Five microsatellite primers were assayed. The genotypes were registered for 69 genes. Sixty-five tree species were identified in ecosystems where Linaloe grows in both subprovinces. The values of (Margalet = 2.51, Simpson = 0.79, Shannon = 1.88, y Evenness=0.84) indexes were high. Trees of the height categorie between 2 and 6 m dominated in the populations of *B. linanoe*. The tree density was 258 tree ha<sup>-1</sup>. The Morisita and Ripley were 70 y 62.7, respectively. The sixty-nine loci were polymorphic. The expected heterocigosity was 0.352. The species diversity was high in the ecosystems were *B. linanoe* grows. The patter of horizontal distribution was aggregate. The genetic diversity was high.

**Key words:** Linaloe, dry tropical forest, richness, indexes, polymorphism, heterocigosity.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada que me permitió culminar con mis estudios de Doctorado.

Al Colegio de Postgraduados Campus Montecillo y al Posgrado en Ciencias Forestales, por admitirme como parte de su matrícula estudiantil y formarme en este grado académico.

Al Dr. Carlos Ramírez Herrera, por su apoyo y dirección, por su calidad humana que lo caracteriza.

Al Dr. Víctor Manuel Cetina Alcalá, por su disponibilidad y respaldar las decisiones de equipo.

Al Dr. Juan Ignacio Valdez Hernández, por sus observaciones y precisiones brindadas al presente escrito.

Al Dr. Mario Valerio Velasco García, por sus atenciones y contribuciones al trabajo desarrollado.

Al Dr. Ángel Villegas Monter, por brindarme su apoyo, sus consejos y fomentar la crítica al quehacer científico.

A la Dra. Martha Rodríguez Hernández, por su amabilidad, enseñanzas y permitirme trabajar en el laboratorio.

A la M. C. Yanet Jiménez Salmerón, por su hospitalidad y ayuda en el trabajo de campo.

A las autoridades locales de Atenango del Río, Guerrero, por permitirnos trabajar en sus comunidades y acompañarnos en cada visita.

A la M.C. Areli Madai Guzmán Pozos, por ayudarnos en la toma de datos, brindarnos su tiempo y mostrarnos las poblaciones de lináloe.

A las autoridades locales que trabajan día a día en las labores de la Reserva de la Biosfera Cuicatlán- Tehuacán, por aprobar nuestro trabajo en campo.

Al Señor Luis Méndez, por su disponibilidad y compañía en el trabajo de campo.

A la Dra. Sandra Luz Castro Garibay, por ser inspiración y ejemplo de esfuerzo constante, pero sobre todo gracias por tu amistad.

A mis compañeros y personal del Laboratorio de cultivo in vitro del edificio de Genética, con quienes pasé mañanas agradables de arduo trabajo y disciplina. Por el café matutino dulce y cálido.

A la familia Toribio, por su apoyo incondicional, además de cultivar en sus integrantes los más bellos y complejos propósitos de vida.

## DEDICATORIA

A la memoria de mis padres, quienes me educaron con gran esfuerzo, cariño y fortaleza. Gracias por tanto.

A mis hermanos, por su ayuda, compañía y complicidad. Espero que sigamos enfrentando la vida juntos.

A mis hijos, Itsi y Rodrigo, mi más grande inspiración. Verlos crecer ha sido gratificante. Les amo con todo mí ser.

A Toño, por incentivar en mí objetivos complejos, por ayudarme a ver la vida de forma crítica y de diferente aristas. Gracias por tu compañía, cariño y comprensión. Gracias totales.

## CONTENIDO

RESUMEN .....	iii
ABSTRACT .....	iv
AGRADECIMIENTOS .....	v
DEDICATORIA.....	vii
LISTAS DE CUADROS .....	xi
LISTA DE FIGURAS .....	xiii
INTRODUCCIÓN GENERAL .....	1
CAPÍTULO I. DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA ARBÓREA EN COMUNIDADES VEGETALES ASOCIADAS A <i>Bursera linanoe</i> .....	4
1.1 RESUMEN .....	4
1.2 ABSTRACT .....	5
1.3 INTRODUCCIÓN .....	6
1.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
1.4.1 Área de estudio.....	8
1.4.2 Muestreo e identificación de especies .....	9
1.4.3. Estructura .....	10
1.4.4. Diversidad alfa .....	10
1.4.5. Diversidad beta .....	11
1.4.6 Análisis estadístico .....	12
1.5.1 Estructura .....	12
1.5.3 Diversidad alfa .....	20
1.5.3 Diversidad beta .....	29
1.6 DISCUSIÓN .....	31
1.6.1 Estructura .....	31
1.6.2 Diversidad alfa .....	34
1.6.2 Diversidad beta .....	39
1.7 CONCLUSIONES .....	40
CAPÍTULO II. ESTRUCTURA Y PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN HORIZONTAL DE <i>Bursera linanoe</i> EN DOS SUBPROVINCIA BIÓTICAS EN MÉXICO.....	41
2.1 RESUMEN.....	41



2.2 ABSTRACT .....	41
2.3 INTRODUCCIÓN .....	42
2.4 MATERIALES Y MÉTODOS .....	44
2.4.1. Área de estudio.....	44
2.4.2. Muestreo y medición de variables .....	45
2.4.3. Análisis de la información .....	45
2.4.3.1 Estructura poblacional .....	45
2.4.3.2 Patrón de distribución horizontal .....	47
2.5 RESULTADOS.....	48
2.5.1 Estructura poblacional .....	48
2.5.2. Patrón de distribución horizontal.....	54
2.6 DISCUSIÓN .....	60
2.6.1. Estructura poblacional .....	60
2.6.2. Patrón de distribución horizontal.....	63
2.7 CONCLUSIONES .....	64
CAPÍTULO III. DIVERSIDAD GENÉTICA DE <i>Bursera linanoe</i> (LA LLAVE) RZED., CALDERÓN & MEDINA .....	65
3.1 RESUMEN .....	65
3.2 ABSTRACT .....	66
3.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	69
3.4.1 Extracción de ADN.....	69
3.4.2 Calidad, cantidad e integridad de ADN en las muestras.....	70
3.4.3 Marcadores microsatélites .....	71
3.4.4 Análisis de la información .....	73
3.5 RESULTADOS.....	73
3.5.1 Diversidad genética .....	73
3.5.2 Estructura genética .....	75
3.6 DISCUSIÓN .....	79
3.6.1 Diversidad genética .....	79
3.6.2 Estructura genética.....	81
3.7 CONCLUSIONES .....	83

CONCLUSIONES GENERALES.....	84
LITERATURA CITADA.....	85

## LISTAS DE CUADROS

Cuadro 1. 1 Características estructurales de las subprovincias bióticas e intervalos altitudinales. ....	16
Cuadro 1. 2 Índice de Valor Forestal Relativo (IVFR) e Índice de Valor de Importancia Relativo (IVIR) por subprovincia y altitud. ....	19
Cuadro 1. 3 Índices de diversidad en unidades de muestreo en dos niveles altitudinales en la subprovincia Balsasana. ....	27
Cuadro 1. 4 Índices de diversidad en unidades de muestreo en dos niveles altitudinales en la subprovincia Cañadiana. ....	28
Cuadro 1. 5 Valores del índice de Sorensen cualitativo entre unidades de muestreo de dos subprovincias. ....	30
Cuadro 2. 1 Características biofísicas en las dos subprovincias bióticas y en los dos intervalos altitudinales estudiados. ....	45
Cuadro 2. 2 Comparación de medias de las variables evaluadas en individuos no reproductivos de <i>Bursera linanoe</i> por subprovincia biótica e intervalo altitudinal. ....	50
Cuadro 2. 3 Comparación de medias para las variables estructurales en individuos reproductivos de <i>Bursera linanoe</i> en dos subprovincias bióticas y en dos intervalos altitudinales. ....	51
Cuadro 2. 4 Índice de valor estructural (IVE) para las categorías de tamaño en altura de <i>Bursera linanoe</i> por subprovincia biótica e intervalo altitudinal. ....	52
Cuadro 3. 1 Ubicación de los sitios de colecta del material vegetativo. ....	69
Cuadro 3. 2 Composición química del amortiguador de extracción de ADN para follaje de <i>Bursera linanoe</i> (Saghai maroof et al. 1984). ....	70
Cuadro 3. 3 Cinco ISSR Iniciadores utilizados para el análisis de diversidad genética de <i>Bursera linanoe</i> en niveles altitudinales en dos subprovincias bióticas ....	72
Cuadro 3. 4 Número de bandas de los Iniciadores de ISSR utilizados para estimar diversidad genética de <i>Bursera linanoe</i> . ....	74

Cuadro 3. 5 Estimadores de diversidad genética en las poblaciones de <i>Bursera linanoe</i> heterocigosidad esperada ( $H_e$ ), Número de alelos efectivos ( $N_e$ ), índice de Shannon ( $IS$ ).....	75
Cuadro 3. 6 Coeficiente de diferenciación ( $F_{ST}$ ) (arriba de la diagonal y número de migrantes ( $N_m$ ) por generación (bajo la diagonal) de árboles de <i>B. linanoe</i> en dos niveles altitudinales en dos subprovincias bióticas. ....	76
Cuadro 3. 7 Distancia de Nei (bajo la diagonal) y distancia geográfica (km) (sobre la diagonal) para <i>Bursera linanoe</i> en dos niveles altitudinales en dos subprovincias bióticas. ....	78

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. 1 Localización geográfica de las unidades muestreo ( ) en dos subprovincias bióticas (basado en Ferrusquía-Villafranca, 1990). .....	9
Figura 1. 2 Categorías de altura por subprovincia biótica e intervalo altitudinal (a: Balsasana, b: Cañadiana). .....	13
Figura 1. 3 Categorías de diámetro por subprovincia biótica e intervalo altitudinal.....	15
Figura 1. 4 Porcentaje de individuos de las especies arbóreas en dos niveles altitudinales en la subprovincia Balsasana donde crece B. linanoe. ....	22
Figura 1. 5 Porcentaje de individuos de las especies arbóreas en dos niveles altitudinales en la subprovincia Cañadiana donde crece B. linanoe.....	25
Figura 1. 6 Agrupamiento de las unidades de muestreo (B: Balsasana, C: Cañadiana, A1: menor a 900 m, A2: mayor a 900 m) por índice de Sorensen con el uso del método UPGMA. ....	31
Figura 2. 1 Localización geográfica de las unidades muestreo ( ) en dos subprovincias bióticas. ....	44
Figura 2. 2 Porcentaje de individuos no reproductivos y reproductivos de Bursera linanoe en dos subprovincias bióticas y en dos intervalos altitudinales. ....	49
Figura 2. 3 Curva de estructura poblacional de Bursera linanoe en dos subprovincias bióticas y en intervalos altitudinales (Categorías de tamaño en altura: 1= < 0.3 m de altura, 2= de 0.3 m a 2 m, 3= de 2 m a 4 m, 4= de 4 m a 6 m, 5= de 6 m a 8 m, y 6= >8 m). ....	53
Figura 2. 3 Curva de estructura poblacional de Bursera linanoe en dos subprovincias bióticas y en intervalos altitudinales (Categorías de tamaño en altura: 1= < 0.3 m de altura, 2= de 0.3 m a 2 m, 3= de 2 m a 4 m, 4= de 4 m a 6 m, 5= de 6 m a 8 m, y 6= >8 m). ....	53
Figura 2. 4 Unidades de muestro y su patrón espacial considerando los valores obtenidos con el índice de Ripley. ....	55
Figura 2. 5 Unidades de muestro y su patrón espacial considerando los valores obtenidos con el índice de Morisita. ....	55
Figura 2. 6 Valores de índice de Ripley L(t) en las Unidades de Muestreo (UM) de la subprovincia Balsasana. ....	56

Figura 2. 7 Diagramas de distribución horizontal de <i>Bursera linanoe</i> en la subprovincia Balsasana (UM= Unidad de Muestreo, $L(t)$ =Índice de Ripley e $I\delta$ =Índice de Morisita). .....	57
Figura 2. 8 Valores de índice de Ripley $L(t)$ en las Unidades de Muestreo (UM) de la subprovincia Cañadiana. ....	58
Figura 2. 9 Diagramas de distribución horizontal de <i>Bursera linanoe</i> en la subprovincia Cañadiana (UM= Unidad de Muestreo, $L(t)$ =Índice de Ripley e $I\delta$ =Índice de Morisita). ....	59
Figura 3. 1 En el carril (C) 1 100 ng de escalera 100 pb PROMEGA y muestras de ADN de <i>Bursera linanoe</i> en los carriles del 2 al 9. ....	71
Figura 3. 2 Componentes del análisis de varianza molecular para <i>Bursera linanoe</i> en dos subprovincias y dos intervalos altitudinales. ....	76
Figura 3. 3 Distancias genéticas de Nei de <i>Bursera linanoe</i> en cuatro niveles altitudinales en dos subprovincias bióticas.....	78
Figura 3. 4 Diagrama de barras del análisis bayesiano (Structure) de la estructura poblacional de individuos de <i>Bursera linanoe</i> en dos rangos altitudinales en dos subprovincias bióticas.....	79

## INTRODUCCIÓN GENERAL

Comprender la biodiversidad es una tarea compleja debido a los cambios constantes en los procesos de los ecosistemas y en el paisaje (Rossberg, 2012), sumado a las actividades humanas (Hagen *et al.*, 2012). El estudio de la biodiversidad ha resultado en mayores descubrimientos y descripciones de taxones especialmente en regiones tropicales, usando nuevas técnicas de monitoreo y análisis molecular en lugares poco explorados (Ceballos & Ortega-Baes, 2011). Enaltecer la diversidad se ha considerado fundamental para la toma de decisiones, inclusive para las agendas políticas el interés ha crecido por conocer las condiciones actuales, la distribución y concentración (López-Vallejo, 2014).

La biodiversidad puede definirse como la diversidad de plantas, animales y otros organismos vivos considerando todas sus formas o niveles de organización, incluyendo genes, especies, y ecosistemas, así como los procesos evolutivos y funcionales que los vinculan (Mace, Norris, & Fitter, 2012; Voller & Harrison, 1998). Algunos de los beneficios de la conservación de la biodiversidad son brindar soporte a procesos clave (Cadotte, Carscadden, & Mirotnick, 2011), contribuir a los servicios ecosistémicos, acumulación de biomasa y proporcionar recursos en diferentes niveles tróficos (Maczulak, 2010). Una alta diversidad contribuye a la estabilidad de los ecosistemas y una estructura adecuada puede contribuir a predecir la permanencia a largo plazo (Rao & Murti, 1990).

Uno de los ecosistemas con mayor diversidad en México es el bosque tropical caducifolio que posee una amplia riqueza biológica (Rzedowski y Calderón de Rzedowski, 2013; Méndez-Toribio *et al.*, 2014) y alta heterogeneidad de familias de las cuáles un alto porcentaje son especies endémicas (Gentry, 1995; Gillespie *et al.*, 2000; Banda *et al.*, 2016; Silva Aparicio *et al.*, 2018). La superficie original de este tipo de vegetación se redujo en un 44% para 1980, provocando pérdida de biodiversidad, como consecuencia, principalmente, del cambio de uso de suelo (Maas, 1995). A pesar de la importancia de este bioma, la información de diversidad arbórea y características del componente arbóreo es limitada (García-Romero *et al.*, 2005; Sánchez-Azofeifa *et al.*, 2005; Zamora *et al.*, 2008). Se necesitan con urgencia acciones de conservación para proteger la biodiversidad única del bosque seco (Olson *et al.*, 2001; Miles *et al.*, 2006) dado que

muchas especies de plantas e incluso géneros están restringidos a él y reflejan una historia evolutiva confinada a este bioma (Banda *et al.*, 2016).

Una problemática para poder caracterizar al bosque tropical caducifolio es su amplia distribución, actualmente ocupa 11.26 % del territorio nacional (INEGI, 2003), se puede encontrar a lo largo de la vertiente del Pacífico de la Sierra Madre Occidental, en las llanuras de la Península de Yucatán, en el sur de Veracruz y Tabasco (Pennington y Sarukhán, 2005). Para tener un mayor entendimiento de los recursos las regionalizaciones ayudan a delimitar los componentes abióticos y bióticos (Espinosa-Organista y Ocegueda-Cruz, 2008). Los conjuntos de especies que conforman comunidades con un cierto nivel de semejanza forman regiones o provincias con características distintivas (Morrone, 2005). Tal es el caso de las dos subprovincias bióticas donde se distribuye *Bursera linanoe* (La Llave) Rzed., Calderón & Medina que comparten algunas similitudes pero se han clasificado en regiones apartadas. Es en estas subprovincias y ecosistemas donde se encuentra el linanoe (Rzedowski *et al.*, 2004) con árboles que alcanzan alturas menores a 12 m frecuentemente ramificados desde la base (Trejo y Tirzo, 2000), en temperaturas promedio anuales mayores a 22 ° C y una marcada temporada de sequía de hasta 8 meses (Trejo, 1999).

Entender la asociación entre especies de una comunidad es útil para comprender los procesos de adaptación (Liu *et al.*, 2017), por lo cual sería de gran utilidad contribuir con la descripción detallada de la diversidad y estructura de especies arbóreas en las comunidades donde crece *Bursera linanoe*. Comprender la estructura vertical permite conocer las características y distribución de las dimensiones de un conjunto de individuos en una comunidad vegetal (Gadow *et al.*, 2007; Li *et al.*, 2014). La proporción de tamaños de los individuos tiene relación con el grado de maduración, la ventaja competitiva, la viabilidad y el nicho ecológico que ocupa una especie en el ecosistema (Kint *et al.*, 2003; Ruprecht *et al.*, 2010).

A través del estudio de la estructura vertical y patrón de distribución espacial se puede inferir el éxito reproductivo de una especie y posible permanencia en el ecosistema a largo plazo por lo que información sobre la estructura vertical y patrón de distribución espacial es importante para planear las actividades de manejo forestal o implementar



medidas de conservación que promuevan la sustentabilidad de una especie (Dhar *et al.*, 2008; Velasco-García *et al.*, 2017). Además, entender a la comunidad y a los ecosistemas en el ámbito genético es fundamental para tratar de explicar las interrelaciones entre especies, ya que evolucionan como un conjunto (Whitham *et al.*, 2006). La diversidad genética representa la variación hereditaria dentro y entre especies de plantas (Ramanatha & Hodgkin, 2002). El conocimiento sobre la genética de las poblaciones puede reducir el riesgo de extinción al ayudar a desarrollar programas de manejo de poblaciones apropiados que puedan minimizar los riesgos que implica la consanguinidad (Arif & Khan, 2009).

El presente estudio trata de estudiar a *Bursera linanoe* en diferentes niveles considerando la comunidad arbórea a la que pertenece, así como las características de sus poblaciones a nivel estructural, espacial y genético. Por consiguiente se plantearon los objetivos: 1) determinar las diferencias de estructura y diversidad arbórea entre dos subprovincias bióticas y altitudes donde se desarrolla *Bursera linanoe*, 2) describir la estructura poblacional de *Bursera linanoe* y conocer el patrón de distribución horizontal en condiciones naturales, y 3) estimar la diversidad genética y estructura genética de *Bursera linanoe* en dos niveles altitudinales en dos subprovincias bióticas. Las hipótesis planteadas son: 1) se espera encontrar una estructura y diversidad arbórea diferente entre subprovincias y entre altitudes dentro de subprovincias como consecuencia de diferencias climáticas, 2) La estructura y patrón de distribución de las poblaciones de *B. linanoe* es diferente entre subprovincias bióticas e intervalos altitudinales debido a las condiciones ambientales, y 3) la diversidad genética será alta en las subprovincias y dentro de subprovincias, por su parte la diferenciación entre poblaciones será alta por efecto del aislamiento entre poblaciones y la mayor diversidad genética se encontrará dentro de poblaciones de *Bursera linanoe* en consecuencia del tipo de dispersión.

# CAPÍTULO I. DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA ARBÓREA EN COMUNIDADES VEGETALES ASOCIADAS A *Bursera linanoe*

## 1.1 RESUMEN

Los árboles de *Bursera linanoe* (La Llave) Rzed., Calderón & Medina crecen en el bosque tropical caducifolio, uno de los tipos de vegetación con mayor diversidad en México. A pesar de su importancia, la información sobre la diversidad arbórea en donde se desarrolla el lináloe es escasa, por lo que en la presente investigación se planteó el objetivo: conocer la diversidad y estructura arbórea en dos subprovincias y altitudes donde se presenta *Bursera linanoe*. Veinticuatro unidades de muestreo se establecieron en las subprovincias bióticas Balsasana y Cañadiana y dentro de estas en dos intervalos altitudinales, menor a 900 y mayor a 900 m. Cada unidad de muestreo tuvo 250 m<sup>2</sup> (25 x 10 m) y se midieron la altura, diámetro normal, diámetro mayor y menor de copa de todos los árboles con diámetros normales mayores a 2.5 cm de las especies presentes. Se calcularon la riqueza, índices de Sorensen, Margalef, Simpson, Shannon y Equidad. Además, se calcularon los índices estructurales de valor de importancia y valor forestal. En ambas subprovincias se encontraron 65 especies en 43 géneros y 19 familias. Cuarenta y dos especies se hallaron en la subprovincia Cañadiana, mientras que 38 especies en la subprovincia Balsasana. La mayor riqueza se encontró en la altitud menor a 900 m en Cañadiana, mientras que la mayor riqueza se encontró en la altitud mayor a 900 m en Balsasana. Los valores de los índices de Margalef, Simpson, Shannon y Equidad fueron: 2.24, 0.73, 1.68 y 0.81, respectivamente, en la Balsasana, mientras que los valores de estos índices fueron 2.78, 0.85, 1.66 y 0.90 respectivamente, en la Cañadiana. En la Balsasana, el intervalo menor a 900 m presentó la menor densidad de individuos por ha (648) pero mayor área basal (26.17 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) y cobertura de copa (40.14 m<sup>2</sup>). En el intervalo mayor a 900 m se registró mayor densidad (1633 individuos ha<sup>-1</sup>). En Cañadiana las características estructurales fueron semejantes entre niveles altitudinales (1253 vs 1047 individuos ha<sup>-1</sup>, área basal: 14.10 vs, 15.99 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, altura 3.91 vs 3.47 m, cobertura: 18.04 vs 14.97 m<sup>2</sup>). *Bursera linanoe* tuvo mayores valores de IVFR (45.78 %) e IVIR (43.29 %) en la Balsasana. La subprovincia Cañadiana presentó mayor diversidad

que la Balsasana. Se encontraron diferencias estructurales entre subprovincias y dentro de la subprovincia Balsasana entre intervalos altitudinales.

**Palabras clave:** subprovincias bióticas, riqueza, intervalos altitudinales, bosque tropical caducifolio

## 1.2 ABSTRACT

*Bursera linanoe* tree grow up in the tropical dry forest, which one of the ecosystem with high diversity in Mexico. Despite of its relevance, the information is limited about tree diversity in these ecosystems, for which this investigation these objectives were set: were to know the diversity and tree structure in two subprovinces and two altitudinal ranges where *Bursera linanoe* lives. Twenty four samples were established in the Balsasana and Cañadiana subprovinces and into in two altitudinal ranges (down 900 m and up 900 m). In each sample unit was 250 m<sup>2</sup> (25x10 m) were measured height, diameter, crown diameter of all the trees which measured 2.5 cm of diameter. Richness, Sorensen's, Margalef's, Simpson's, Shannon's and Evenness indexes. Also were calculated the importance value index and the forest value index. In both subprovinces, 65 species were found in 43 genera and 19 families. Forty-two species were found in the Cañadiana subprovince, 38 species were found in the Balsasana subprovince. The highest richness was found at altitude down 900 m in Cañadiana, otherwise the highest richness was found at altitude up 900 m in Balsasana. The values of the indices of Margalef, Simpson, Shannon and Evenness were: 2.24, 0.73, 1.68 and 0.81, respectively, in the Balsasana, while the values of these indices were 2.78, 0.85, 1.66 and 0.90 respectively, in the Cañadiana. In Balsasana, the range down 900 m presented the lowest density of individuals per ha (648) but greater basal area (26.17 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) and crown area (40.14 m<sup>2</sup>). In the range up 900 m higher density was recorded (1633 individuals ha<sup>-1</sup>). In Cañadiana the structural characteristics were similar between altitudinal ranges (1253 vs 1047 individuals ha<sup>-1</sup>, basal area: 14.10 vs, 15.99 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, height 3.91 vs 3.47 m, crown area: 18.04 vs 14.97 m<sup>2</sup>). *Bursera linanoe* had higher values of RFVI (45.78 %) and RIVI (43.29 %) in Balsasana. Cañadiana subprovince had greater diversity than Balsasana.

Structural differences were found between subprovinces and within Balsasana subprovince between altitudinal ranges.

**Key words:** Biotic subprovinces, richness, altitudinal ranges, dry tropical forest

### 1.3 INTRODUCCIÓN

*Lináloe* (*Bursera linanoe* (La Llave) Rzed., Calderón & Medina) es una especie arbórea que pueden alcanzar alturas hasta de 12 m y diámetros de 30 cm con la presencia de ramas desde la base (Cruz-Cruz *et al.*, 2009). El lináloe produce un aceite esencial en ramas y frutos que es apreciado en la industria de cosméticos (Hersch *et al.*, 2004). El aprovechamiento se hace en forma artesanal sin la implementación de un plan de manejo (Andrés-Hernández y Espinosa-Organista, 2002). Esto ha conducido al deterioro de las poblaciones de esta especie y de las comunidades arbóreas con las que crece de forma simpátrica.

Los conjuntos de especies que conforman comunidades con un nivel de semejanza pueden agruparse en regiones o provincias con características distintivas (Morrone, 2005). Tal es el caso del lináloe que crece en comunidades vegetales diferentes en la subprovincia Balsasana dentro de la provincia biótica Jalisco-Guerrerense y subprovincia Cañadiana en la provincia Oaxaquense en los estados de Guerrero, Puebla, Morelos y Oaxaca, en ambos casos en el bosque tropical caducifolio (Ferrusquía-Villafranca, 1990; Trejo y Dirzo, 2000; Rzedowski *et al.*, 2004). Estas subprovincias se localizan en la zona ecológica tropical subhúmeda, donde se presenta una época marcada por sequía (Toledo-Aceves *et al.*, 2009); entre ellas exhiben variables ambientales diferentes. Por ejemplo, la precipitación y la temperatura mínima anual son 798 mm y 17.6 °C, respectivamente, en la subprovincia Balsasana, mientras que estas son 457 mm y 16.9 °C en la subprovincia Cañadiana (García, 2004).

Algunas comunidades del bosque tropical caducifolio poseen valores mayores de diversidad que en el bosque tropical perennifolio (Calvo-Rodríguez *et al.*, 2017). El bosque tropical caducifolio tiene mayor diversidad en Mesoamérica que en otras partes de mundo (Gentry, 1995); la riqueza está representada por el número de familias y especies que habitan este tipo de vegetación en México y Centroamérica (Trejo y Dirzo,

2000). A pesar de la importancia de este bioma, información de diversidad y características del componente arbóreo es limitada sobre estas comunidades en estas subprovincias. Por ejemplo, Sánchez-Azofeifa *et al.* (2005) señalan que el 14 % de la información publicada hasta el 2004 corresponde a estudios sobre este tipo de vegetación. Esto es preocupante debido a que se siguen destruyendo los ecosistemas sin conocer la diversidad de especies y valorar la importancia biológica (Bullock, 1995; Ceballos *et al.*, 2010). El número de endemismos es considerable se estima que cerca del 7.9 % de los géneros que lo constituyen sólo se encuentran en México (Rzedowski y Calderón-de Rzedowski, 2013).

La subprovincia Balsasana pertenece a la provincia biótica Jalisco-Guerreroense, comprende a la región hidrológica del río Balsas, cuenca del río grande de Amacuzac en los estados de Morelos y Guerrero. Por su parte, la subprovincia Cañadiana pertenece a la provincia Oaxaqueña, es parte de la región del Papaloapan en Oaxaca. Aunque la vegetación es similar en estas zonas la composición florística puede presentar características particulares (Rzedowski, 2006).

Reconocer los elementos primarios que conforman la estructura de la vegetación como apariencia externa, formas de crecimiento y la composición florística contribuyen a generar parámetros cuantitativos importantes (Trejo, 2015), dichos aspectos ayudan a definir ecosistemas tan complejos mediante la descripción de características físicas (Ramírez-Flores *et al.*, 2018). Dicha información de carácter valioso es necesaria para la conservación y restauración de estos ecosistemas amenazados (Sahu *et al.*, 2016), permitiendo la generación de alternativas y priorizando áreas para acciones de conservación y manejo (Villaseñor *et al.*, 2007).

El estudio de la estructura arbórea permite comprender las etapas de desarrollo tales como repoblación, crecimiento, madurez y la composición espacial de una comunidad arbórea (Vieira & Scariot, 2006; Hernández-Stefanoni *et al.*, 2011). Además, se puede inferir el efecto de los disturbios provocados por fenómenos naturales (Pandey & Singh, 1985) y por actividades antropocéntricas (Lamb *et al.*, 2005; Torres-Acosta *et al.*, 2016). Las variaciones en el agrupamiento de clases de edad o tamaño de individuos indican sucesos de mortalidad y reclutamiento (Harper, 1977), la presencia de renuevo y árboles

jóvenes que estarían incorporándose como progenie a las poblaciones pueden considerarse como un efecto de la regeneración exitosa (Pokhriyal *et al.*, 2010). Algunos aspectos estructurales que han descrito al bosque caducifolio son árboles adultos que dominan con alturas menores a 15 m en densidades menores a 1500 individuos por ha (Calvo-Rodríguez *et al.*, 2017; Ángeles-García *et al.*, 2022).

La descripción detallada de la diversidad y estructura de especies arbóreas en los ecosistemas donde crece *Bursera linanoe* es útil para comprender los procesos de adaptación de esta especie. Una alta diversidad contribuye a la estabilidad de los ecosistemas y una estructura adecuada puede contribuir a predecir la permanencia a largo plazo (Rao & Murti, 1990). En la presente investigación se espera encontrar una diversidad alta conformada con grupos de especies diferentes y tamaños distintos de los árboles entre subprovincias bióticas como consecuencia de diferencias climáticas. Por lo que se plantea el objetivo siguiente: determinar las diferencias de estructura y diversidad arbórea entre dos subprovincias y altitudes donde se desarrolla *Bursera linanoe*. La hipótesis de investigación es que se espera encontrar una estructura y diversidad arbórea diferente entre subprovincias y entre altitudes dentro de subprovincias como consecuencia de diferencias climáticas.

## **1.4 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **1.4.1 Área de estudio**

Se analizó la distribución natural de lináloe en la base de datos Global Biodiversity Information Facility (Flemons *et al.*, 2007) de la subprovincia Balsasana en la provincia Jalisco-Guerrero y de la subprovincia Cañadiana en la provincia Oaxaca (Figura 1.1) (Ferrusquía-Villafranca, 1995), además, se consideró el rango altitudinal donde se localizan poblaciones de esta especie entre los 600 y 1200 m (Cruz-Cruz *et al.*, 2009; Rzedowski *et al.*, 2004). En el presente estudio, se establecieron seis unidades de muestreo en el rango altitudinal sobre los 900 m y seis unidades de muestreo en el rango altitudinal bajo los 900 m en la subprovincia Balsasana en los estados de Guerrero y Morelos (subprovincia biótica Balsasana (Ferrusquía-Villafranca, 1990). También se establecieron seis unidades de muestreo sobre los 900 m y otras seis unidades de

muestro en el rango altitudinal bajo los 900 m en el estado de Oaxaca en la subprovincia biótica Cañadiana (Ferrusquía-Villafranca, 1990) (Figura 1). Las unidades de muestreo tuvieron una forma rectangular de 10 x 25 m.

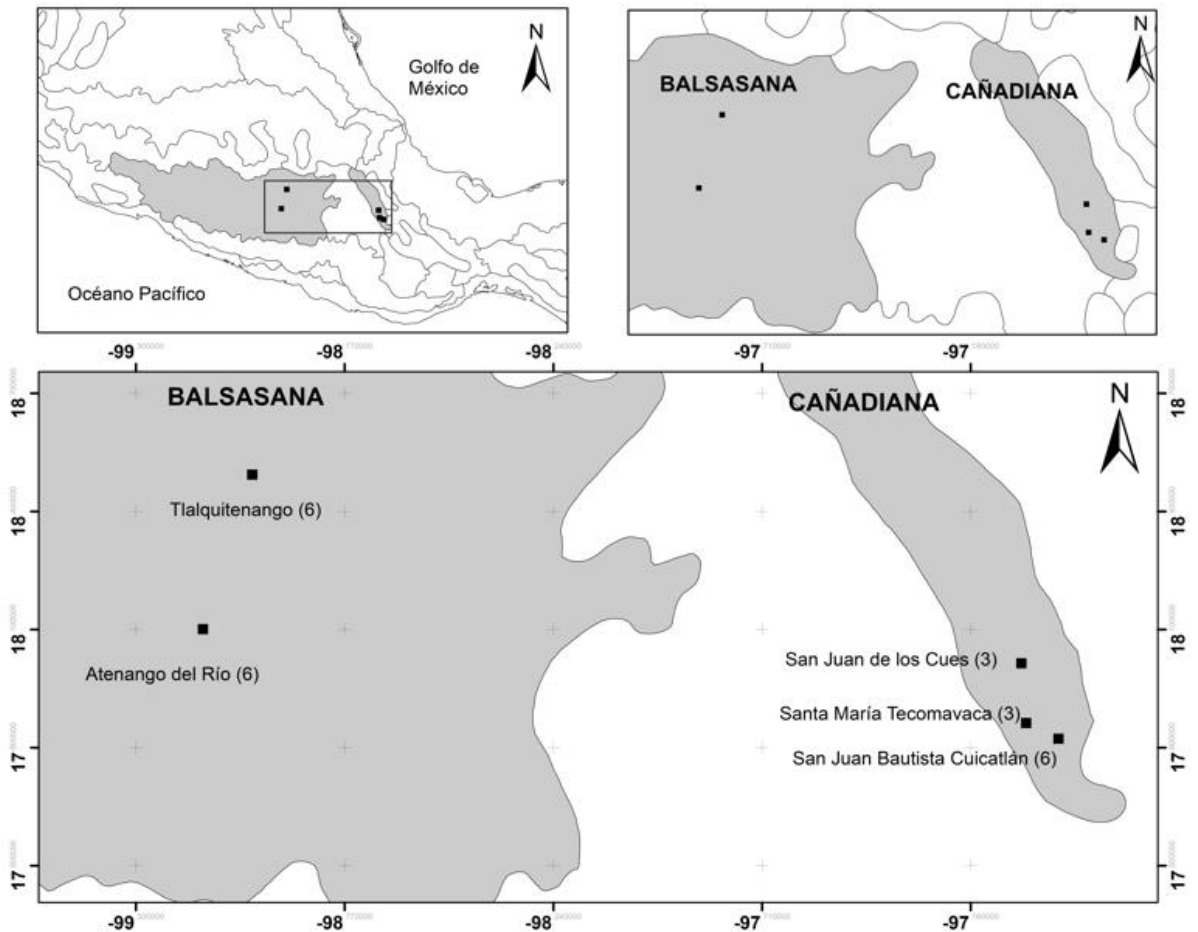


Figura 1. 1 Localización geográfica de las unidades muestreo (■) en dos subprovincias bióticas (basado en Ferrusquía-Villafranca, 1990).

#### 1.4.2 Muestreo e identificación de especies

En cada unidad de muestreo se registraron todos los individuos con diámetro normal mayor a 2.5 cm de todas las especies arbóreas. La altura de los individuos se midieron con estadal topográfico, el diámetro con una cinta diamétrica, diámetro menor y mayor de copa con un longímetro. Una muestra de follaje, estructuras reproductivas o frutos de los individuos se tomó para la identificación taxonómica.

### 1.4.3. Estructura

Categorías de altura cada 3 metros y categorías de diámetro cada 10 cm se establecieron incluyendo todas las especies arbóreas. Con las categorías de altura, se elaboraron curvas poblacionales para cada una de las subprovincias y para los intervalos altitudinales dentro de subprovincias. Se estimaron los parámetros de densidad de individuos por hectárea, área basal, altura y área de copa. Se calculó el índice de valor forestal relativo (IVFR) (Corella *et al.*, 2001), y el índice de valor de importancia (IVIR) (Curtis & McIntosh, 1951) con las ecuaciones siguientes:

$$\text{IVFR} = \text{Diámetro relativo} + \text{Altura relativa} + \text{Cobertura de copa relativa} \quad [1]$$

$$\text{IVIR} = \text{Dominancia relativa} + \text{Densidad relativa} + \text{Frecuencia relativa} \quad [2]$$

### 1.4.4. Diversidad alfa

Para obtener los valores de diversidad de especies se calculó la riqueza, también se registraron el número de individuos por familia y género. Para completar el análisis de la diversidad arbórea se utilizaron algunos de los índices con mayor uso en la literatura:

El índice de Margalef ( $D_\alpha$ ) describe la variedad de especies, indica que a mayores valores mayor riqueza de especies (Margalef, 1972; Magurran, 1988).

$$D_\alpha = \frac{S - 1}{\log N} \quad [3]$$

Donde:

S= número de especies

N= Número total de individuos

Índice de Simpson ( $D$ ) mide la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar en un área pertenezcan a diferentes especies (Simpson, 1949). Valores cercanos a cero se interpretan como homogeneidad total y valores cercanos a 1 diversidad total.

$$D = 1 / \left( \sum p_i^2 \right) \quad [4]$$



Donde:

$p_i$ = proporción de individuos de la  $i$ -ésima especie

El Índice de Shannon ( $H'$ ) mide el grado de incertidumbre para predecir la especie a la que pertenece un individuo tomado al azar dentro de la unidad de muestreo. El valor obtenido depende del número de especies de la muestra y de la frecuencia con la que estén representadas (Somarriba, 1999).

$$H' = - \sum p_i \ln(p_i) \quad [5]$$

$p_i$ = proporción del total de la muestra que corresponde a la  $i$ -ésima especie

$\ln$ = logaritmo natural

Equidad ( $E$ ) representa la proporción de las especies en un área, valores cercanos a uno significa especies con abundancias iguales, mientras que valores cercanos a cero la dominancia de una especie (Pielou, 1966).

$$E = \frac{H'}{\ln(S)} \quad [6]$$

$H'$  = índice de Shannon- Wiener

$S$  = número total de especies

#### 1.4.5. Diversidad beta

Se calculó el índice de Sorensen ( $IS$ ) que considera la presencia y ausencia para la comparación de semejanza florística entre unidades de muestreo con la fórmula siguiente (Magurran, 1988):

$$IS = \frac{2c}{(a + b)} \quad [7]$$

Donde:

$a$ : número de especies presentes en el sitio A

b: número de especies presentes en el sitio B

c= número de especies presentes en ambos sitios A y B

Con los valores que se obtuvieron del índice de Sorensen se utilizó el método de UPGMA (método de la media aritmética no ponderada) en donde se obtuvo el dendrograma para conocer la agrupación de las unidades de muestreo.

#### **1.4.6 Análisis estadístico**

Los supuestos estadísticos de normalidad y homogeneidad de varianza se probaron para todas las variables calculadas con la prueba de Shapiro-Wilks. Los datos de estructura cumplieron con los supuestos estadísticos por lo que se realizó una prueba de medias de Tukey. La riqueza de familias, géneros y especies se analizaron con un análisis de varianza utilizando un modelo logístico con el software SAS (SAS Institute, 2012). Los datos de cada especie se multiplicaron por el número de especies por sitio para los índices de Shannon, equidad y Simpson y estos se analizaron con la prueba Kruskal-Wallis, una prueba no paramétrica, con el software SAS (SAS Institute, 2012), debido a que la distribución de los datos no cumple con los supuestos de normalidad y homogeneidad. Posteriormente, se aplicó la prueba de Nemenyi para rangos medios cuando se encontró diferencias significativas para índices entre sitios. Para analizar los valores obtenidos con el índice de diversidad de Margalef se utilizó un análisis no paramétrico de Friedman ( $p < 0.05$ ) (Beltrán-Rodríguez *et al.*, 2018). Todos los análisis se aplicaron para conocer las diferencias entre subprovincias y entre altitudes dentro de subprovincias.

### **1.5 RESULTADOS**

#### **1.5.1 Estructura**

En la subprovincia Balsasana, se encontró mayor número (97 %) de árboles en las categorías superiores a 6 m en altura. (Figura 2a). Árboles menores a 3 m en altura estuvieron ausentes en esta subprovincia. Solo, se registraron dos categorías en altura en cada uno de los niveles altitudinales en la subprovincia Balsasana, los árboles fueron de mayor altura en el nivel altitudinal menor a los 900 m. Únicamente, se registraron

árboles en la categoría entre 9 y 12 m en altura en el nivel altitudinal mayor a 900 m en la subprovincia Balsasana. El número de árboles en esta categoría representó el 32 % del total de árboles en el nivel altitudinal mayor a 900 m.

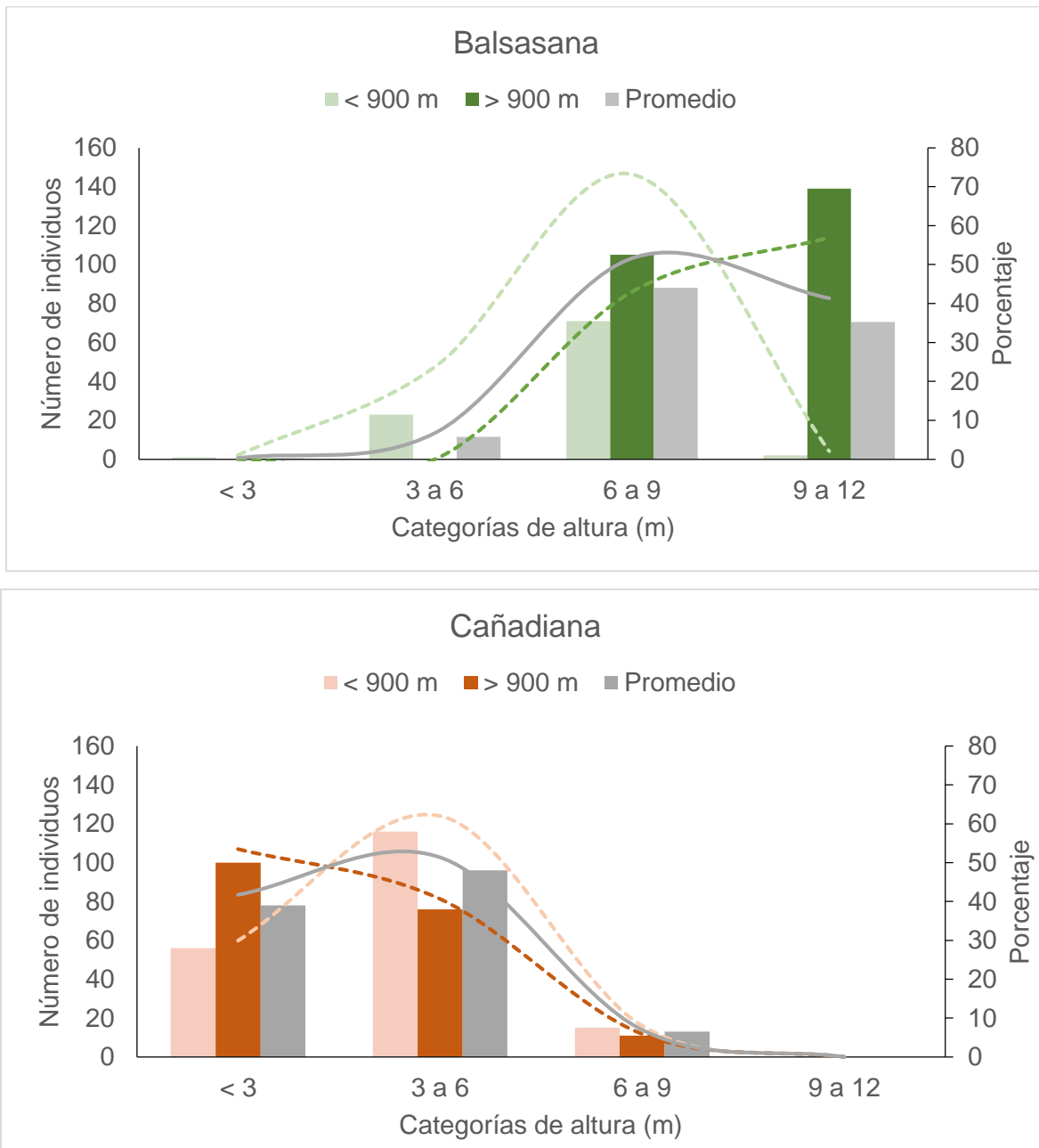


Figura 1. 2 Categorías de altura por subprovincia biótica e intervalo altitudinal (a: Balsasana, b: Cañadiana).

En la subprovincia Cañadiana, se encontró que la mayoría (90 %) de los árboles se ubicaron en las categorías menor a 3 m y entre 3 y 6 m de altura (Figura 3b). La presencia de árboles en la categoría mayor de 9 m fue nula en esta subprovincia. En el nivel altitudinal menor a los 900 m, se halló el mayor porcentaje de árboles en la categoría entre 3 y 6 m de altura, seguido por un considerado porcentaje de árboles en la categoría de altura menor de 3 m. En el nivel altitudinal mayor a 900 m, se encontró el mayor porcentaje (57 %) de árboles en la categoría menor de 3 metros de altura. También, el porcentaje (33 %) de árboles fue considerable en la categoría entre 6 y 9 m de altura en este nivel altitudinal.

En la subprovincia Balsasana el 58 % de los individuos pertenece a la categoría menor a 10 cm de diámetro, el 24 % a la categoría de 10 a 20 cm y solo se presentaron 3 individuos de diámetro mayor a 40 cm. La altitud menor a 900 m las categorías con mayor porcentaje de individuos fueron 10 a 20 cm y 20 a 30 cm con 32 % y 34% respectivamente. En la altitud mayor a 900 m la categoría de diámetro menor a 10 cm presentó el 75 % de individuos, seguida de la categoría 10 a 20 cm con porcentaje de 21 %.

La subprovincia Cañadiana presentó 58 % de individuos de la categoría diamétrica menor a 10 cm, seguido de un 33 % de individuos con diámetro de 10 a 20 cm. Dentro de ésta subprovincia en la altitud menor a 900 m, se presentaron en su mayoría individuos en las categorías menor a 10 cm (53 %) y de 10 a 20 cm (41 %) de diámetro. En la altitud mayor a 900 m el 62 % de los individuos presentó diámetros menores a 10 cm, así como el 25 % presentó diámetros entre 10 y 20 cm. En ambos intervalos altitudinales hubo poca presencia de individuos con diámetro mayor a 30 cm (Figura 6).

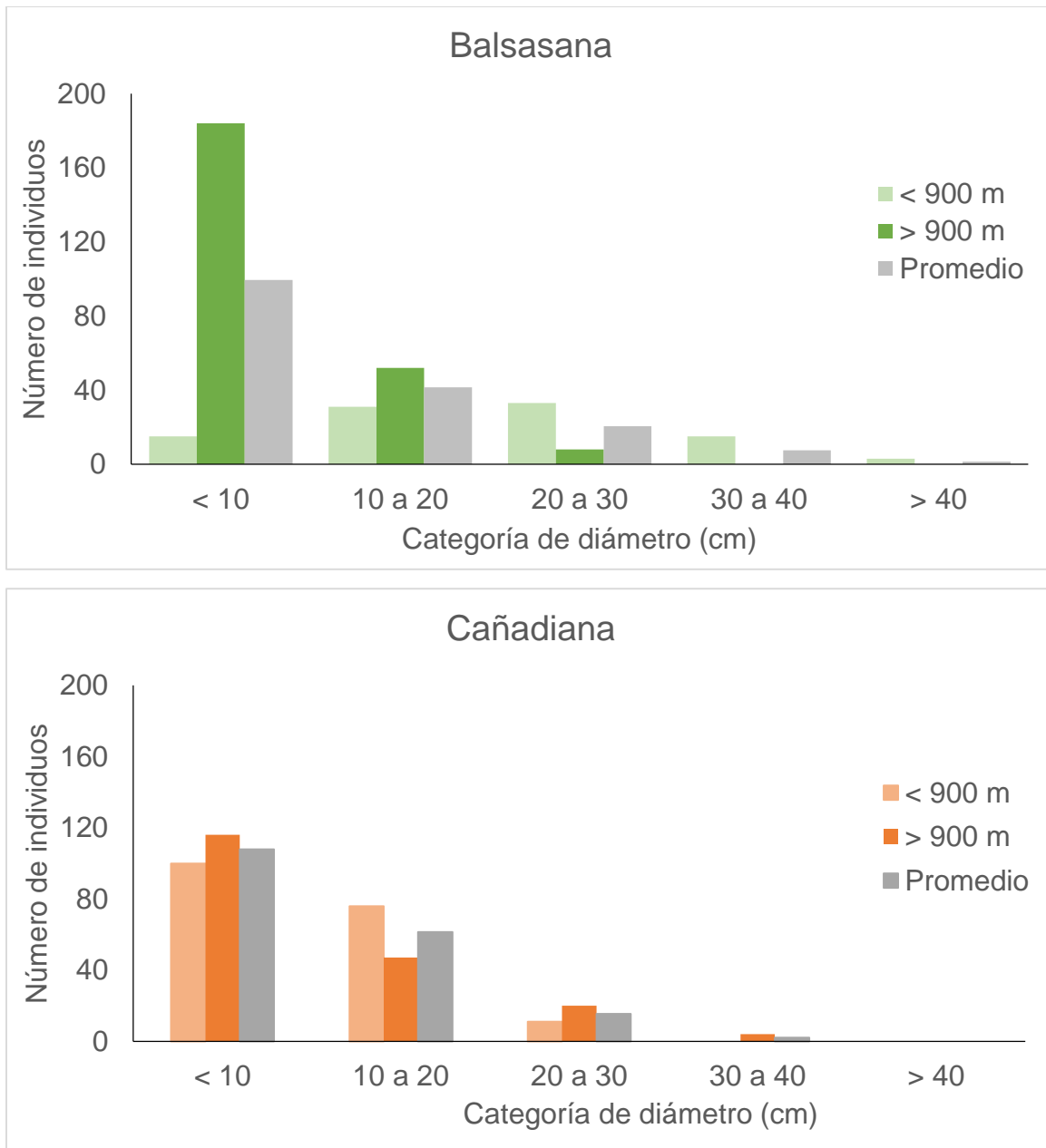


Figura 1. 3 Categorías de diámetro por subprovincia biótica e intervalo altitudinal.

Se encontraron diferencias en altura ( $p < 0.0001$ ), área basal ( $p = 0.006$ ) y cobertura de copa ( $p = 0.011$ ) entre subprovincias, la subprovincia Balsasana presentó mayor altura (15 %) y mayor área basal (20 %) que la Cañadiana. Entre subprovincias no se encontraron diferencias para densidad ( $p = 0.961$ ).

Dentro de subprovincias en la Balsasana altitud menor a 900 m presentó diferencias significativas en las variables de densidad ( $p = 0.0001$ ), área basal ( $p = 0.002$ ), altura ( $p = 0.0001$ ) y cobertura de copa ( $p = 0.0001$ ). La densidad y la altura fueron 152 % y 26 % mayor en la altitud mayor a 900, mientras que el área basal y la altura fueron 131 % y 198 % mayor en la altitud menor a 900 m respectivamente.

Dentro de la subprovincia Cañadiana solo la altura presentó diferencias significativas ( $p = 0.002$ ), siendo la altitud menor a 900 m la que presentó mayor altura (13 %). La densidad fue 1 % mayor en la altitud menor a 900 m, mientras que la cobertura de copa fue 17 % mayor en esta altitud. El área basal registrada fue 12 % en la altitud menor en comparación con la altitud mayor (Cuadro 1.1).

Cuadro 1. 1 Características estructurales de las subprovincias bióticas e intervalos altitudinales.

	Densidad (individuos ha <sup>-1</sup> )	Área basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	Altura (m)	Cobertura (m <sup>2</sup> )
<b>Balsasana</b>				
< 900 m	648 b	26.17 a	6.88 b	40.14 a
> 900 m	1633 a	11.30 b	9.29 a	13.46 b
<i>Promedio</i>	<i>1140</i>	<i>18.73</i>	<i>4.35</i>	<i>21.05</i>
<b>Cañadiana</b>				
< 900 m	1253 a	14.10 a	3.91 a	18.04 a
>900 m	1047 a	15.99 a	3.47 b	14.97 a
<i>Promedio</i>	<i>1150</i>	<i>15.04</i>	<i>3.69</i>	<i>16.80</i>

Los valores del Índice de Valor de Forestal Relativo (IVFR) indicaron que *Bursera linanoe* tuvo mayor presencia en ambas subprovincias en Balsasana (IVFR= 54.55 %) y en Cañadiana (IVFR= 27.65 %) seguido de *Amphipterygium adstringens* con 13.54 % y 7.22% respectivamente. Después de las especies mencionadas, las especies con

valores altos en la subprovincia Balsasana fue *Conzattia multiflora* (5.73 %), mientras que en Cañadiana fue *Pachycereus weberi* (11.46 %). Las principales especies que se encontraron en Balsasana fueron *Ceiba aesculifolia*, *Trichilia americana*, *Acacia farnesiana*, *Bursera copallifera*, *Vitex mollis*, *Acacia cochliacantha* y *Euphorbia schlechtendalii*, además, se registraron otras 28 especies que representan el 12.06 % de las especies en la subprovincia. Por otra parte, en Cañadiana las principales especies fueron *Euphorbia schlechtendalii*, *Ceiba aesculifolia*, *Senna* sp., *Senegalia berlandierii*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Cyrtocarpa procera* y *Mimosa albida*. También se presentaron otras 32 especies que representaron en conjunto el 23.63 % del total de especies en esta subprovincia.

Utilizando el Índice de Valor de Importancia Relativo (IVIR) en la subprovincia Balsasana las especies que presentan mayores valores son *Bursera linanoe* (42.16 %), *Amphipterygium adstringens* (12.52 %), *Conzattia multiflora* (5.08 %), *Ceiba aesculifolia* (3.13 %), *Trichilia americana* (2.47 %), *Acacia cochliacantha* (2.34 %), *Vitex mollis* Kunth (2.17 %), *Bursera copallifera* (2.12 %), *Acacia farnesiana* (1.56 %) y *Euphorbia schlechtendalii* (1.55 %). En la subprovincia Cañadiana las especies con mayor IVIR fueron *Bursera linanoe* (20.55 %), *Pachycereus weberi* (14.02 %), *Euphorbia schlechtendalii* (6.69 %), *Amphipterygium adstringens* (6.26 %), *Ceiba aesculifolia* (4.19 %), *Myrtillocactus geometrizans* (3.35 %), *Mimosa albida* (2.84 %), *Senegalia berlandierii* (2.33 %), *Senna* sp. (2.27 %) y *Cyrtocarpa procera* (1.92 %).

Dentro de la subprovincia Balsasana los intervalos altitudinales considerados los valores mayores los presentan *Bursera linanoe* y *Amphipterygium adstringens* en ambos índices. *Ceiba aesculifolia*, *Bursera copallifera*, *Vitex mollis* dominaron en la altitud menor a 900 m en esta subprovincia con base en Índice de Valor de Importancia Relativo, mientras que en los sitios con altitud mayor a 900 m se registraron *Conzattia multiflora*, *Trichilia americana*, *Piptadenia flava* (Cuadro 1.2).

Dentro de la subprovincia Cañadiana las especies con los valores mayores fueron *Bursera linanoe*, *Pachycereus weberi* y *Amphipterygium adstringens*. En el intervalo menor a 900 m las especies con mayor porcentaje fueron *Ceiba aesculifolia*, *Mimosa albida* y *Senegalia berlandierii*, el restante porcentaje lo ocupan 24 especies. En el

intervalo mayor a 900 m las especies con altos porcentajes fueron *Euphorbia schlehtendalii*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Bursera copallifera*, sin embargo, 23 especies ocupan casi la mitad del porcentaje considerando ambos índices.



Cuadro 1. 2 Índice de Valor Forestal Relativo (IVFR) e Índice de Valor de Importancia Relativo (IVIR) por subprovincia y altitud.

<b>Especie</b>	<b>IVFR %</b>	<b>IVIR %</b>
<b>Balsasana</b>		
< 900 m		
<i>Bursera linanoe</i>	45.78	43.29
<i>Amphipterygium adstringens</i>	14.34	10.53
<i>Ceiba aesculifolia</i>	10.01	8.76
<i>Bursera copallifera</i>	4.12	3.79
<i>Vitex mollis</i>	3.92	4.72
15 especies	21.8	28.87
>900 m		
<i>Bursera linanoe</i>	20.59	18.03
<i>Amphipterygium adstringens</i>	16.96	15.77
<i>Conzattia multiflora</i>	13.19	10.16
<i>Trichilia americana</i>	8.49	6.67
<i>Piptadenia flava</i>	6.55	6.43
22 especies	34.23	42.94
<b>Cañadiana</b>		
< 900 m		
<i>Bursera linanoe</i>	23.94	16.26
<i>Pachycereus weberi</i>	13.45	15.86
<i>Ceiba aesculifolia</i>	9.66	8.02
<i>Mimosa albida</i>	9.14	8.52
<i>Senegalia berlandierii</i>	7.34	5.82

Espece	IVFR %	IVIR %
24 especies	36.48	45.53
>900 m		
<i>Bursera linanoe</i>	17.99	11.94
<i>Amphipterygium adstringens</i>	13.53	11.58
<i>Euphorbia schlechtendalii</i>	9.60	8.10
<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	6.77	7.84
<i>Bursera copallifera</i>	6.58	6.32
24 especies	45.53	54.21

### 1.5.3 Diversidad alfa

En ambas subprovincias, en las comunidades donde crece *Bursera linanoe*, se encontraron 65 especies agrupadas en 43 géneros pertenecientes a 19 (Figuras 2 y 3). En la subprovincia Balsasana se registraron un total de 341 individuos, mientras que en la Cañadiana fueron 374. Las familias con mayor número de individuos fueron Burseraceae, Fabaceae, Anacardiaceae, Euphorbiaceae y Cactaceae. Se hallaron *B. linanoe*, *Ceiba aesculifolia* Britten & Baker f., *Cyrtocarpa procera* Kunth y *Diphysa floribunda* Peyr. en los cuatro niveles altitudinales en ambas subprovincias incluidas en el presente estudio. Las familias taxonómicas con mayor número de especies fueron Fabaceae (39 %), Burseraceae (26 %) y Anacardiaceae (17 %) en Balsasana, de forma parecida se presentó Burseraceae (22 %), Cactaceae (21 %) y Fabaceae (20 %) en Cañadiana. Las familias con menor número de individuos fueron Hernandiaceae, Rhamnaceae, Rubiaceae y Ehretiaceae.

En la subprovincia Balsasana las familias que concentraron el 65 % de los individuos pertenecían a las familias Burseraceae y Fabaceae, mientras que en la Cañadiana fueron Burseraceae y Cactaceae con un 43 %. Diferencias significativas se encontraron entre subprovincias ( $p < 0.0165$ ) y entre intervalos altitudinales ( $p < 0.0491$ ) en la subprovincia

Balsasana para el número de individuos, en cambio, no hubo diferencias ( $p < 0.0702$ ) entre intervalos altitudinales en la subprovincia Cañadiana.

En la subprovincia Balsasana se encontraron 38 especies representados por 26 géneros que pertenecen a 13 familias. En esta subprovincia se encontró el mayor número de géneros y especies de la familia Fabaceae, representada principalmente por los géneros *Conzattia*, *Piptadenia* y *Acacia*. La familia Burseraceae se caracterizó por el género *Bursera*, Anacardiaceae por *Amphipterygium*, Cactaceae por *Opuntia* y Malvaceae por *Ceiba*. *Bursera aptera* Ramirez, *Diphysa floribunda* Peyr., *Gyrocarpus jatrophifolius* Domin, *Lysiloma divaricatum* J.F.Macbr., *Lysiloma tergemina* Benth., *Sarcomphalus amole* (Sessé & Moc.) Hauenschild y *Stenocereus dumortieri* (Scheidw.) Buxb. se encontraron solo en la altitud menor a los 900 m en la subprovincia Balsasana. Por el contrario, *Acacia coulteri* Benth., *Acacia farnesiana* (L.) Willd., *Bursera bicolor* (Wild.) Engl., *Bursera lancifolia* Engl., *Ceiba parvifolia* Rose, *Heliocarpus terebinthinaceus* Hochr., *Heliocarpus velutinus* Rose, *Ipomoea wolcottiana* Rose, *Piptadenia flava* (Spreng. DC.) Benth, *Randia obcordata* S. Watson y *Spondias purpurea* L. se registraron solo en el nivel altitudinal mayor de 900 m en la subprovincia Balsasana. *Bursera linanoe* constituyó el 48 % de los árboles que se encontraron en el nivel altitudinal menor a 900 m en la subprovincia Balsasana, y junto con *Amphipterygium adstringens* y *Ceiba aesculifolia* constituyeron el 72 % del estrato arbóreo en las comunidades en esta altitud en la subprovincia Balsasana. La presencia de las 16 especies en este nivel fue 28 % variando entre 1 y 3 % para cada una de las mismas (Figura 2a). En el nivel altitudinal mayor a 900 m, *Bursera linanoe* alcanzó el 27 % de la abundancia del estrato arbóreo y junto con *Amphipterygium adstringens*, *Conzattia multiflora* Standl., *Piptadenia flava*, *Trichilia americana* (Moc. & Sessé) Pennington y *Acacia cochliacantha* Humb. & Bonpl. constituyeron el 70 % del estrato arbóreo, mientras que las restantes 21 especies solo aportaron el 30 % del estrato arbóreo con una presencia que varió entre 0.4 y 3.7 % de cada una de las 21 especies (Figura 1.4b).

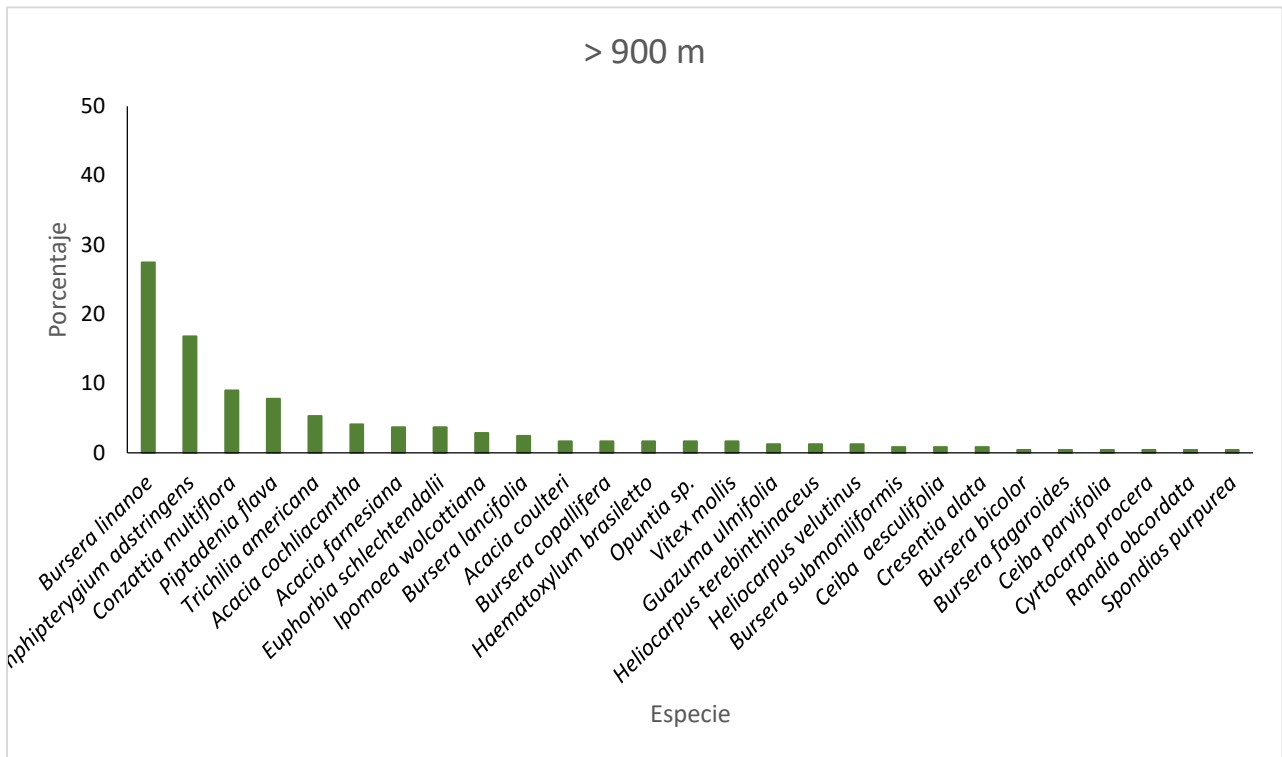
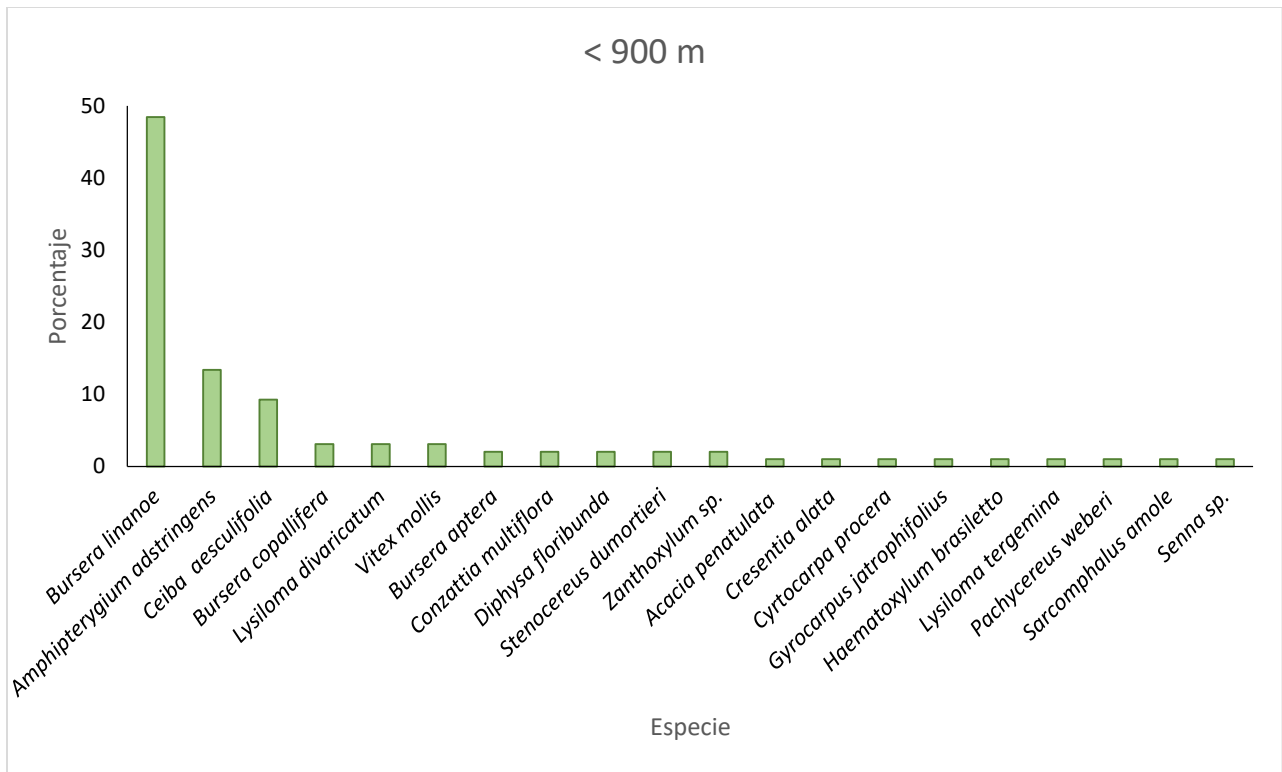


Figura 1. 4 Porcentaje de individuos de las especies arbóreas en dos niveles altitudinales en la subprovincia Balsasana donde crece *B. linanoe*.

En la subprovincia Cañadiana se encontraron 42 especies representados por 32 géneros que pertenecen a 15 familias. La familia con mayor número de géneros (14) y especies (9) fue Fabaceae, dentro de esta familia los géneros mayormente representados por número de individuos fueron *Mimosa* (24), *Senna* (14) y *Conzattia* (9). La familia Burseraceae presentó 7 especies del género *Bursera*, la familia Anacardiaceae estuvo representada principalmente por *Amphipterygium*, Cactaceae por *Pachycereus* y Malvaceae por *Ceiba*. El número de especies fue similar en ambos niveles altitudinales en esta subprovincia. Se registraron ocho especies (*Calliandropsis nervosus* (Britton & Rose) H. M. Hern. & P. Guinet, *Celtis caudata* Planch., *Fouquieri formosa* Kunth, *Fouquieria purpusii* Brandegee, *Parkinsonia praecox* (Ruiz & Pav.) Hawkins, *Pentalinon andrieuxii* (Müll. Arg.) B. F. Hansen & Wunderlin, *Senegalia berlandierii* Britton & Rose y *Sideroxylon capiri* (A. DC.) Pittier). Únicamente en el nivel altitudinal menor a los 900 m en la subprovincia Cañadiana. Los árboles de *Bursera linanoe* constituyeron, aproximadamente, el 20 % de los individuos del estrato arbóreo en este nivel altitudinal en esta subprovincia y junto con las especies *Pachycereus weberi* (J. M. Coult.) Backeb., *Mimosa albida* Humb. & Bonpl. ex Willd., *Fouquieria Formosa* Kunth, *Conzattia multiflora* Standl., *Euphorbia schlechtendalii* Boiss. y *Senegalia berlandierii* Britton & Rose formaron el 66 % del estrato arbóreo. Cada una de las otras 22 especies constituyó entre 0.5 y 4.8 % del estrato arbóreo (Figura 1.5a).

Se hallaron 11 especies (*Bourreria obovata* Eastw., *Bursera ariensis* (Kunth) McVaugh & Rzed., *Bursera morelensis* Ramirez, *Celtis ehrenbergiana* (Klotzsch) Liebm., *Escontria chiotilla* Rose, *Ficus cotinidifolia* Kunth, *Ipomoea wolcottiana* Rose, *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, *Mimosa purpusii* Brandegee, *Myrtillocactus geometrizans* Console y *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. Ex Willd.) M. C. Johnst.) solo en la altitud mayor a los 900 m en la subprovincia Cañadiana. Los árboles de *Bursera linanoe* constituyeron alrededor del 14 % del estrato arbóreo en este nivel altitudinal y junto con los árboles de las especies *Amphipterygium adstringens*, *Euphorbia schlechtendalii*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Opuntia sp*, *Bursera copallifera* (Sessé & Moc. Ex DC.) Bullock, *Plumeria rubra* L. y *Senna sp* constituyeron el 67 % del estrato arbóreo en este nivel altitudinal dentro de esta subprovincia (Figura 1.5b). Cada una de las otras 20

especies tuvieron una presencia baja (entre 0.5 y 3.7 %) en el estrato arbóreo en las comunidades vegetales del nivel altitudinal mayor a 900 m en la subprovincia Cañadiana.

Se encontraron diferencias entre subprovincias ( $p= 0.021$ ) para el índice de Margalef. El mayor valor de este índice se encontró en la subprovincia Cañadiana la que presentó un mayor valor (Cuadro 1.3). En la Balsasana, se encontraron diferencias entre altitudes ( $p = 0.014$ ), la altitud mayor a 900 m presentó mayores valores, la unidad 9 presentó el valor mayor mientras que las unidades de muestreo 2 y 4 presentaron los valores menores. No se encontraron diferencias dentro de la subprovincia Cañadiana ( $p = 0.023$ ).

No se encontraron diferencias para el índice de Simpson entre subprovincias. Dentro de la subprovincia Balsasana se encontraron diferencias altamente significativas ( $p < 0.0001$ ) siendo la altitud mayor a 900 m la de mayores valores. Entre unidades de muestreo se encontraron diferencias para ambas altitudes ( $p < 0.0001$ ), las unidades 9 y 3 presentaron mayores valores. Dentro de la subprovincia Cañadiana se encontraron diferencias entre altitudes ( $p = 0.0075$ ), la altitud menor a 900 m presentó mayor valor. Entre unidades de muestreo se encontraron diferencias altamente significativas en ambos intervalos ( $p < 0.0001$ ).

Respecto al índice de Shannon, se encontraron diferencias entre subprovincias ( $p = 0.0023$ ), la subprovincia Balsasana presentó el valor mayor. Dentro de la subprovincia Balsasana se encontraron diferencias entre altitudes ( $p = 0.0121$ ) y entre sitios para la altitud menor a 900 m ( $p = 0.0034$ ) no así para las unidades de muestreo en altitudes a dicho intervalo ( $p= 0.478$ ), las unidades de muestreo 3 y 9 tuvieron los mayores valores. No se encontraron diferencias dentro de la subprovincia Cañadiana ( $< 900$  m valor  $p = 0.644$ ,  $> 900$  m valor  $p = 0.626$ ), sin embargo, las unidades 21 y 24 de la altitud mayor a 900 m presentaron los valores mayores.

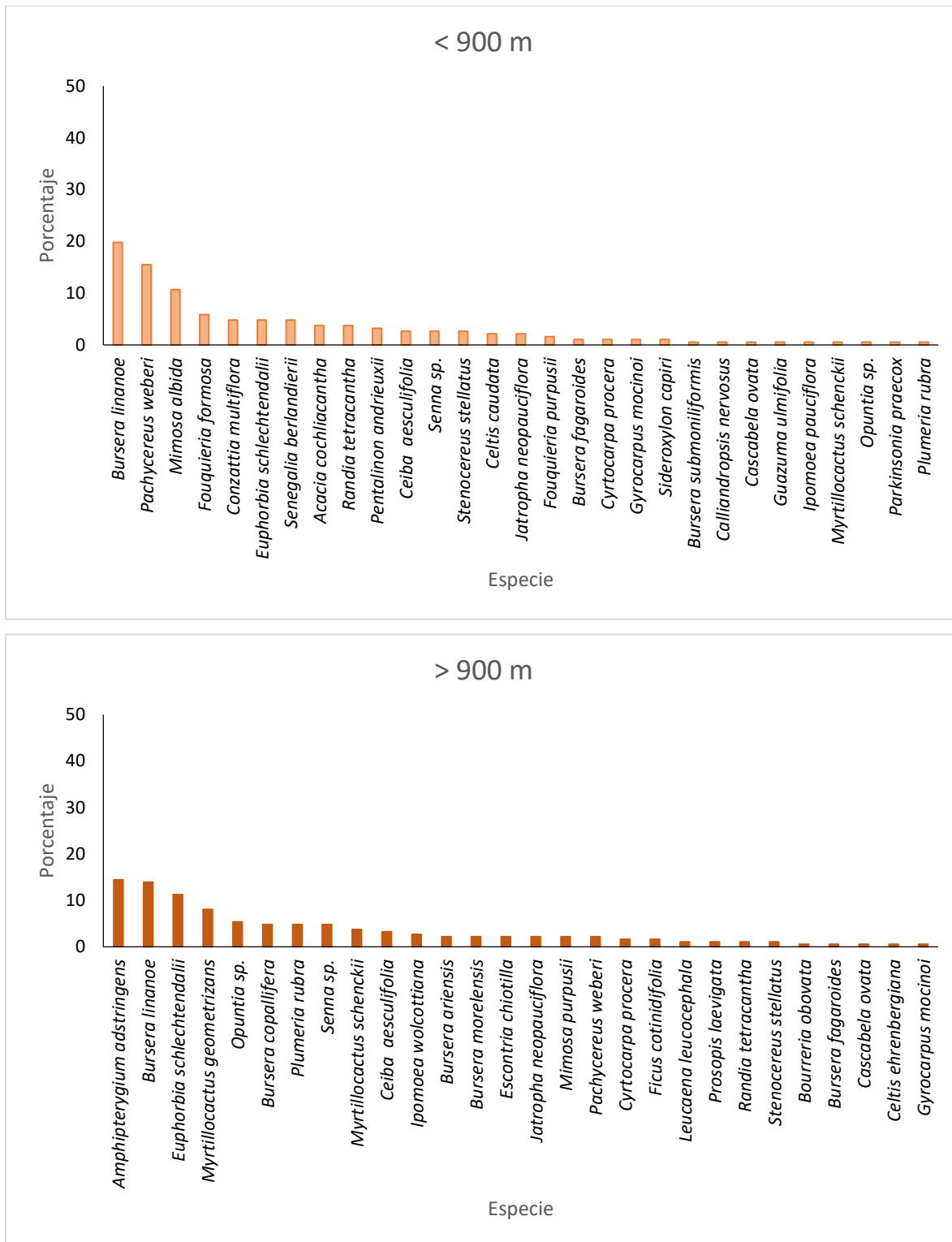


Figura 1. 5 Porcentaje de individuos de las especies arbóreas en dos niveles altitudinales en la subprovincia Cañadiana donde crece *B. linanoe*.

Se encontraron diferencias ( $p < 0.027$ ) entre sitios en la subprovincia Balsasana, pero no se encontraron diferencia entre subprovincias ( $p = 0.175$ ), niveles altitudinales en ambas subprovincias (dentro de Balsasana valor  $p = 8.78$ , dentro de Cañadiana valor  $p = 0.920$ ) ni entre sitios dentro de las altitudes (Balsasana  $> 900$  m valor  $p = 0.910$ , Cañadiana  $< 900$  m valor  $p = 0.844$ ,  $> 900$  m valor  $p = 0.984$ ) para el Índice de Equidad (Cuadros 1.3 y 1.4). Se encontró el mayor valor del índice de equidad en la unidad de muestreo 3, mientras que el menor valor se halló en la unidad de muestreo 4 (Cuadro 1.4).



Cuadro 1. 3 Índices de diversidad en unidades de muestreo en dos niveles altitudinales en la subprovincia Balsasana.

UM	Índices en altitud <900 m			
	Margalef	Simpson	Shannon	Equidad
1	1.80 b	0.58 ab	1.25 ab	0.70 ab
2	1.44 c	0.69 ab	1.33 ab	0.83 ab
3	2.89 a	0.84 a	2.01 a	0.92 a
4	1.44 c	0.42 b	0.91 b	0.56 b
5	2.01ab	0.63 ab	1.35 ab	0.75 ab
6	2.30ab	0.76 a	1.72 a	0.83 ab
$\bar{x}$	1.98 b	0.65 b	1.43 b	0.77 a
	Altitud >900 m			
7	2.22 a	0.79b	1.79 a	0.82 a
8	1.80 a	0.79b	1.72 a	0.88 a
9	3.64 a	0.88 a	2.38 a	0.87 a
10	2.70 a	0.83ab	2.00 a	0.87 a
11	2.28 a	0.84 ab	2.04 a	0.88 a
12	2.31 a	0.73 b	1.67 a	0.76 a
UM	Margalef	Simpson	Shannon	Equidad
$\bar{x}$	2.49 a	0.81 a	1.93 a	0.85 a
$\bar{x}_G$	2.24 b	0.73 b	1.68 a	0.81 a

Letras diferentes entre columnas indican diferencias significativas entre unidades de muestreo (UM) dentro de cada altitud, así como letras diferentes en promedios de intervalos altitudinales ( $\bar{x}$ ) y promedios generales entre subprovincias ( $\bar{x}_G$ ).

Cuadro 1. 4 Índices de diversidad en unidades de muestreo en dos niveles altitudinales en la subprovincia Cañadiana.

UM	Índices altitud < 900 m			
	Margalef	Simpson	Shannon	Equidad
13	3.15 a	0.87 a	2.20 a	0.89 a
14	2.44 a	0.85 a	1.93 a	0.89 a
15	2.44 a	0.86 a	2.09 a	0.91 a
16	2.83 a	0.85 a	2.06 a	0.90 a
17	2.79 a	0.86 a	2.154 a	0.90 a
18	1.85 a	0.79 b	1.66 a	0.92 a
$\bar{x}$	2.80 a	0.85 a	2.12 a	0.90 a
	Índice altitud > 900 m			
19	2.63 a	0.82 c	1.95 a	0.89 a
20	2.00 a	0.82 c	1.84 a	0.88 a
21	3.56 a	0.89 a	2.39 a	0.93 a
22	3.00 a	0.87 ab	2.16 a	0.94 a
23	2.97 a	0.85 b	2.12 a	0.88 a
24	3.73 a	0.87 ab	2.30 a	0.85 a
UM	Margalef	Simpson	Shannon	Equidad
$\bar{x}$	2.80 a	0.82 b	2.01 a	0.87 a
$\bar{x}_G$	2.78 a	0.85 a	1.66 a	0.90 a

Letras diferentes entre columnas indican diferencias significativas entre unidades de muestreo (UM) dentro de cada altitud, así como letras diferentes en promedios de intervalos altitudinales ( $\bar{x}$ ) y promedios generales entre subprovincias ( $\bar{x}_G$ ).

### 1.5.3 Diversidad beta

Con base en los valores del índice de Sorensen, dentro de la subprovincia Balsasana en el intervalo menor a 900 m las unidades más parecidas fueron la 3 y 6 (59 %), por el contrario, las unidades 1 con 2 y 4 con 5 apenas son similares en un 18 %.

Al comparar entre intervalos altitudinales las unidades 1 con 10 y 12, 4 con 10, 5 con 11 y 12 fueron semejantes con apenas un 13 %. En la altitud mayor a 900 m las unidades 8 y 11 fueron las que presentaron mayor porcentaje de semejanza (71 %), en contraparte con las unidades 7 y 12 que fueron semejantes con 32 % (Cuadro 7 y Figura 4). En la subprovincia Cañadiana en el intervalo menor a 900 m las unidades más semejantes fueron 16 y 17 en 48 %, mientras que las que presentaron el menor valor fue la comparación entre los sitios 15 y 16 (9 %). En el intervalo mayor a 900 m las unidades que presentaron 67 % de semejanza fue la comparación 22 y 23, las unidades que tuvieron apenas 10 % de similitud fueron la comparación 20 y 21 con la 22 (Cuadro 1.5 y Figura 1.6). En relación a los valores obtenidos para el índice de Sorensen entre subprovincias se aprecian condiciones de mayor similaridad entre unidades de muestreo en la Cañadiana que en la Balsasana. Dentro de la subprovincia Balsasana las unidades de muestreo del intervalo menor a 900 m se encuentran en el municipio de Atenango de Río, Guerrero. Las unidades de muestreo del intervalo mayor a 900 m se agruparon en el dendrograma como un conjunto bien definido por sus condiciones ambientales similares. En las unidades de muestreo de la subprovincia Cañadiana la similitud fue alta con base en el índice de Sorensen (Cuadro 1.5; Figura 1.6).

Cuadro 1. 5 Valores del índice de Sorensen cualitativo entre unidades de muestreo de dos subprovincias.

UM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1																							
2	0.18																						
3	0.40	0.29																					
4	0.36	0.20	0.29																				
5	0.33	0.55	0.27	0.18																			
6	0.43	0.31	0.59	0.31	0.43																		
7	0.25	0.40	0.21	0.27	0.25	0.33																	
8	0.31	0.33	0.25	0.33	0.15	0.27	0.35																
9	0.29	0.30	0.42	0.30	0.29	0.26	0.40	0.36															
10	0.13	0.27	0.21	0.13	0.25	0.22	0.50	0.35	0.48														
11	0.25	0.27	0.21	0.27	0.13	0.33	0.50	0.71	0.40	0.40													
12	0.13	0.29	0.22	0.14	0.13	0.24	0.32	0.38	0.42	0.42	0.63												
13	0.11	0.35	0.29	0.12	0.22	0.20	0.36	0.42	0.22	0.36	0.36	0.19											
14	0.25	0.27	0.42	0.13	0.38	0.33	0.30	0.24	0.24	0.40	0.20	0.21	0.32										
15	0.13	0.27	0.32	0.13	0.25	0.22	0.30	0.47	0.16	0.50	0.40	0.21	0.21	0.33									
16	0.13	0.27	0.11	0.27	0.25	0.11	0.20	0.12	0.16	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11	0.09								
17	0.24	0.25	0.30	0.25	0.35	0.21	0.19	0.22	0.23	0.10	0.19	0.10	0.20	0.21	0.25	0.48							
18	0.17	0.55	0.27	0.18	0.33	0.29	0.38	0.31	0.29	0.25	0.25	0.27	0.13	0.14	0.11	0.13	0.12						
19	0.40	0.14	0.33	0.29	0.27	0.24	0.21	0.38	0.42	0.11	0.32	0.22	0.19	0.20	0.32	0.45	0.35	0.29					
20	0.14	0.15	0.24	0.15	0.14	0.13	0.11	0.13	0.09	0.11	0.11	0.12	0.35	0.33	0.43	0.40	0.48	0.38	0.45				
21	0.32	0.11	0.27	0.22	0.21	0.19	0.26	0.20	0.29	0.17	0.35	0.27	0.55	0.48	0.35	0.50	0.38	0.38	0.64	0.50			
22	0.25	0.13	0.32	0.13	0.25	0.22	0.30	0.35	0.24	0.20	0.30	0.21	0.53	0.33	0.61	0.10	0.29	0.15	0.18	0.10	0.10		
23	0.24	0.13	0.30	0.25	0.35	0.21	0.19	0.11	0.15	0.29	0.10	0.10	0.40	0.21	0.50	0.48	0.36	0.22	0.35	0.29	0.29	0.67	
24	0.09	0.10	0.16	0.10	0.18	0.08	0.15	0.17	0.13	0.23	0.15	0.16	0.40	0.50	0.48	0.38	0.52	0.09	0.44	0.25	0.25	0.38	0.35

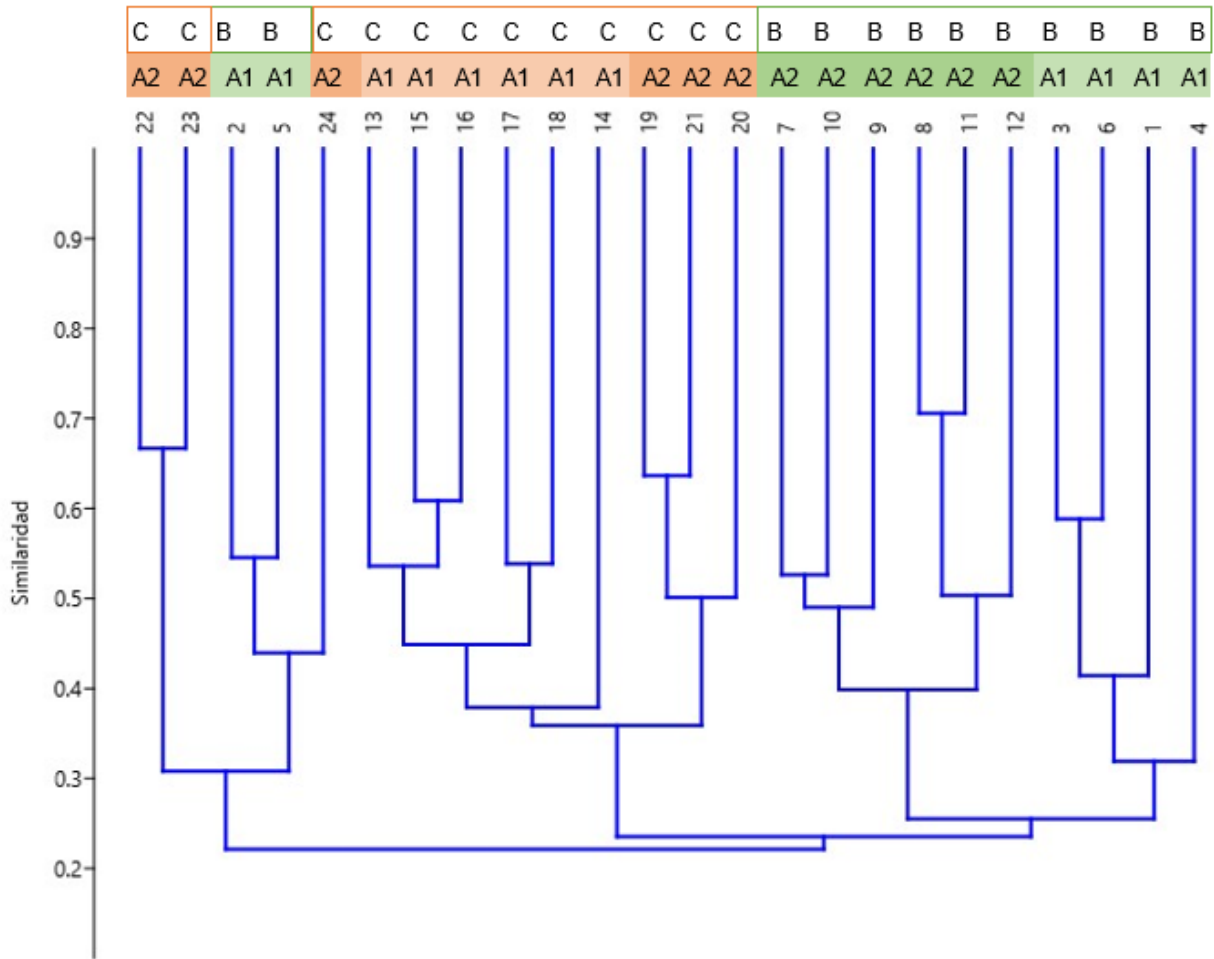


Figura 1. 6 Agrupamiento de las unidades de muestreo (B: Balsasana, C: Cañadiana, A1: menor a 900 m, A2: mayor a 900 m) por índice de Sorensen con el uso del método UPGMA.

## 1.6 DISCUSIÓN

### 1.6.1 Estructura

En cuanto a la estratificación vertical, lo observado en las subprovincias coincide con lo reportado por Sánchez-Hernández *et al.* (2018) pues la mayoría de individuos arbóreos presentan alturas menores a 9 metros. En promedio con lo registrado en ambas subprovincias la altura fue menor a lo reportado por López-Toledo *et al.* (2012) (5.1 m). Dentro de la subprovincia Balsasana en el intervalo menor a 900 m las alturas registradas coinciden con lo reportado por Méndez-Toribio *et al.*, 2014, quizás porque las

condiciones ambientales de precipitación (755 mm) y altitud (780 m) son similares. En la altitud mayor a 900 m de la subprovincia Balsasana, es la única condición en la que no se presenta lo anterior, debido a que un número alto de individuos se encuentran en la categoría de altura mayor a 9 m, similar a lo reportado para el estado de Morelos (Beltrán-Rodríguez *et al.*, 2018). En la subprovincia Cañadiana en ambos intervalos se encontraron alturas menores a 6 m para el estrato arbóreo que coincide con lo reportado en la Reserva de Tehuacán- Cuicatlán (Méndez-Larios *et al.*, 2004). Considerando ambas altitudes los valores de altura en esta subprovincia fueron menores en comparación con Gallardo-Cruz *et al.* (2005) (4.05 m).

El número de individuos por categoría diamétrica en las subprovincias bióticas fue similar a lo encontrado por diversos autores en estos ecosistemas en donde los individuos se concentran en categorías diamétricas menores a 20 cm (Sánchez-Velázquez *et al.*, 2002, López-Toledo *et al.*, 2012; Dzib-Castillo *et al.*, 2014;). Dentro de la subprovincia Balsasana en altitudes mayores a 900 m se encontró un alto número de individuos con diámetro menor a 20 cm (SEMARNAT, 2013; Sánchez-Hernández *et al.*, 2018). Esto puede ser efecto de precipitaciones mayores a 800 mm que permiten que exista un mayor número de individuos por unidad de superficie (Alanís-Rodríguez *et al.*, 2010; López-Toledo *et al.*, 2012).

La densidad arbórea promedio en ambas subprovincias fue menor a lo registrado por otros autores para este ecosistema (Sánchez-Velázquez *et al.*, 2002; Gallardo-Cruz *et al.*, 2005). En la subprovincia Balsasana altitud menor a 900 m fue la condición con menor densidad registrada en este estudio, sin embargo, es similar a lo reportado por García-Romero *et al.*, 2005. En la altitud mayor a 900 m coincidió con lo reportado por Sánchez-Velázquez *et al.* (2002). En la subprovincia Cañadiana en ambas altitudes se encontraron valores menores a los descritos por Silva-Aparicio *et al.*, 2018 en el estado de Oaxaca para este tipo de vegetación, lo que puede estar relacionado a una menor cantidad de precipitación.

Respecto al área basal, lo registrado por este estudio presenta menores valores que otros autores han reportado para la subprovincia Balsasana y Cañadiana (Gallardo-Cruz *et al.*, 2005; Beltrán-Rodríguez *et al.*, 2018). La condición menor a 900 m de la

subprovincia Balsasana presentó valores mayores a lo reportado por López-Toledo *et al.*, 2012 ( $23 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ ) y Zacarías-Eslava *et al.*, 2011 ( $17.83 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ ).

La cobertura promedio fue menor en todas las condiciones, en contraste con Gallardo-Cruz *et al.* (2005) y Beltrán-Rodríguez *et al.* (2018). Dentro de la subprovincia Balsasana en la altitud menor a 900 m la cobertura fue mayor que lo reportado por Gallardo-Cruz *et al.*, 2005 ( $36 \text{ m}^2$ ). Las variables estructurales en la subprovincia Cañadiana fueron menores que las de Balsasana por las condiciones contrastantes de precipitación. En la subprovincia Balsasana puede destacarse que la altitud menor a 900 m presentó mayor altura en los individuos arbóreos que la altitud mayor a 900 m, pero el área basal y la cobertura fue mayor en esta última condición. Los aspectos estructurales con valores bajos en la altitud menor a 900 m de la subprovincia Balsasana pueden deberse a las características edáficas y las topofomas propias de la subprovincia de Sierras y valles guerrerenses en donde se localiza (Becerril y Nava, 2002).

Lo observado en la subprovincia Cañadiana entre altitudes coincide con lo mencionado anteriormente, diferencias poco significativas entre intervalos que pueden indicar condiciones no tan contrastantes entre las unidades de muestreo. Los mayores valores de área basal y cobertura se presentaron en rodales donde domina lináloe, lugares donde existe un número mayor de individuos de esta especie que lograron adaptarse a las condiciones ambientales prevalecientes en la subprovincias.

Los índices de valor de importancia y valor forestal para algunas especies en ambas subprovincias fueron similares a lo reportado con Sánchez-Hernández *et al.* (2018), *Amphipterygium adstringens* presentó los mayores valores (28.52 %) a excepción de la altitud menor a 900 m en la subprovincia Cañadiana. Además, coincidió con la subprovincia Balsasana en donde *Conzattia multiflora* (27.11 %) y *Bursera copallifera* (18.03 %) fueron las especies con los mayores valores.

*Amphipterygium adstringens* también fue una de las especies con mayor porcentaje (IVIR= 20.9 y 7.4, IVFR= 17.0 y 9.0) en Morelos (Beltrán-Rodríguez *et al.*, 2018), así como *Euphorbia schlechtendalii* (IVIR= 4.8, IVFR= 3.1). De manera similar Silva-Aparicio *et al.* (2018) reportó que *Amphipterygium adstringens* presentó 6.82 % valor de

importancia, además, coincidió con la altitud mayor a 900 m en la subprovincia Balsasana con la especie *Piptadenia flava* (IVIR= 10.04 %). Algunas especies de la familia Burseraceae y Cactaceae presentaron mayores valores de frecuencia y abundancia en Oaxaca, así como especies de alto valor de importancia como *Ceiba aesculifolia* y *Amphipterygium adstringens* (Gallardo-Cruz *et al.*, 2005; Silva-Aparicio *et al.*, 2018).

Es importante mencionar que una mayor presencia de especies puede estar relacionada con la disminución de los valores de IVIR e IVFR. En el caso del lináloe en algunas condiciones hubo menor presencia y por lo tanto menores valores de dichos índices. La estructura vegetal, la composición florística y los procesos dinámicos en este tipo de ecosistemas varían local y regionalmente de acuerdo con la disponibilidad de agua (Trejo y Dirzo, 2002; Segura *et al.*, 2003; Meave *et al.*, 2012).

La dominancia de ciertas especies como *Acacia cochliacantha*, *Caesalpinia pulcherrima*, *Pithecellobium dulce*, *Bouteloua repens*, *Muhlenbergia tenella*, *Pennisetum purpureum*, *Cosmos sulphureus*, *Sanvitalia procumbens* y *Stevia trifida*, indicaron la constante perturbación a la que son sometidas estas zonas (Zepeda- Gómez y Velázquez-Montes, 1999).

### **1.6.2 Diversidad alfa**

Los niveles altos de diversidad en el presente estudio son semejantes a los resultados que se reportan en poblaciones de Guerrero y Oaxaca en comunidades donde el lináloe está presente (Cruz-Cruz *et al.*, 2009). También, en el presente estudio el mayor número de especies pertenecen a las familias Fabaceae y Burseraceae al igual que los resultados que se reportan en otros estudios para el bosque tropical caducifolio (Alanís-Rodríguez *et al.*, 2010; Sánchez-Hernández *et al.*, 2018; De-Nova *et al.*, 2018). Además, se encontraron especies arbóreas en las subprovincias Balsasana y Cañadiana de las familias Leguminosae, Euphorbiaceae, Cactaceae, Malvaceae y Anacardiaceae similar a los resultados de otros estudios en este bioma (Sánchez-Mejía, 2007; Valencia-Ávalos *et al.*, 2011). La familia Anacardiaceae y Burseraceae comparten un origen evolutivo en el paleoceno (Burnham & Carranco, 2004; Weeks *et al.*, 2014).



En la subprovincia Balsasana, se esperaba encontrar un número mayor de especies debido a las condiciones ambientales favorables en esta subprovincia. Por ejemplo, el bosque tropical perennifolio reporta mayor diversidad en gran parte porque cuenta con mayor precipitación que el bosque tropical caducifolio (Rzedowski, 1991; Dirzo *et al.*, 2009; Pennington *et al.*, 2009). Condiciones moderadas de humedad y temperatura están relacionadas a mayor riqueza y diversidad de especies (Richter, 2008; Ávila-Sánchez *et al.*, 2018). Un número alto de individuos y de especies de las familias Fabaceae, Burseraceae y Convolvulaceae, que están presentes en la subprovincia Balsasana coinciden con los estudios realizados en los estados de Morelos y Guerrero (Sánchez-Hernández *et al.*, 2018; Valencia-Ávalos *et al.*, 2011; Almazán-Núñez *et al.* 2012).

Sin embargo, se encontró un número mayor de especies, géneros y familias en la subprovincia Cañadiana esto se puede deber a que el bosque tropical caducifolio cubre el 38 % de la superficie de la reserva por lo que este puede ser hábitat para un número elevado de especies endémicas en esta subprovincia (SEMARNAT, 2013). Toledo (1985) y CONABIO (2013) señalan que la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, donde se ubica la subprovincia Cañadiana, contiene al menos el 10 % de las 25 mil especies de plantas vasculares descritas para México. Además, se han registrado entre 295 y 360 plantas endémicas en la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán atribuido al aislamiento de los ecosistemas por el relieve montañoso que rodea esta región (Dávila *et al.*, 2002; Méndez-Larios *et al.*, 2004), este relieve montañoso tiene una edad que abarca en Cretácico Inferior hasta el Terciario Inferior (CONANP, 2013). También, esta alta diversidad de especies puede ser producto de las condiciones climáticas heterogéneas presentes en la subprovincia biótica Cañadiana (Jaramillo-Luque y González-Medrano, 1983.). Por ejemplo, la precipitación puede variar entre 426 y 644 mm en el área de distribución natural de lináloe dentro de esta subprovincia biótica (Rehfeldt, 2006). En esta zona, las condiciones de aridez están determinadas por su geología y el aislamiento de las formaciones montañosas que lo rodean, obstruyendo el paso de la humedad del Golfo de México (INEGI, 2003). Estas condiciones de aridez pueden ser la razón por la que la familia Cactaceae presenta la mayor diversidad y número de individuos en esta subprovincia (Arias-Montes, 1993). Los géneros *Bursera* y *Acacia* tuvieron mayor presencia en ambas subprovincias confirmando los resultados

que se reportan en otros estudios (Rzedowski & Kruse, 1979; Trejo y Dirzo, 1998). Es importante mencionar que el muestreo fue dirigido, localizando las poblaciones de *Bursera linanoe* para describir las especies con las que se desarrolla, razón por la cual este género se encuentra fuertemente representado.

En la subprovincia Balsasana, se encontró mayor número de individuos y especies en la altitud superior a los 900 m como resultado de una mayor precipitación (Gentry, 1988). Resultados similares se encontraron en otras comunidades donde la disponibilidad fue mayor en los extremos del intervalo altitudinal estudiado (Yong-Fei *et al.*, 2000; Ramírez-Lozano *et al.*, 2013). En la subprovincia Cañadiana, se encontró un número de individuos similar a pesar de que la precipitación fue 32 % superior (Rehfeldt, 2006) en las unidades de muestreo ubicadas a una altitud mayor a los 900 m. Sin embargo, se registró un número mayor de individuos de las familias Cactaceae y Euphorbiaceae en el nivel altitudinal menor a los 900 m como consecuencia de una precipitación menor (Rehfeldt, 2006; CONAGUA, 2022).

La riqueza fue media en las comunidades donde crece lináloe tanto en la subprovincia Balsasana como en la Cañadiana. El número de especies en la subprovincia Balsasana (127 especies ha<sup>-1</sup>) y Cañadiana (140 especies ha<sup>-1</sup>) fue mayor al que reportaron Almazán-Núñez *et al.* (2012), Sánchez-Hernández *et al.* (2018) y Beltrán-Rodríguez *et al.* (2018) (21, 29 y 35 especies ha<sup>-1</sup> respectivamente) para comunidades del bosque tropical caducifolio en los estados de Guerrero y Morelos. También, un número menor de especies ha<sup>-1</sup> (30, 38 y 55) se encontraron en comunidades en el bosque tropical caducifolio en Chiapas, Yucatán y Michoacán (Rocha-Laredo *et al.*, 2010; Dzib-Castillo *et al.*, 2014; Zacarías-Eslava *et al.*, 2011). Además, el número de especies ha<sup>-1</sup> en la presente investigación fue mayor que el número de especies ha<sup>-1</sup> (72 y 110) que se encontraron en este bioma en los estados de Yucatán y Nayarit (Ceccon *et al.*, 2006; Ángeles-García *et al.*, 2021). Sin embargo, Ávila-Sánchez *et al.* (2018) y Pineda-García *et al.* (2007) registraron resultados similares (134 y 138 especies ha<sup>-1</sup>) en el bosque tropical caducifolio en el estado de Guerrero a los resultados que se encontraron en la presente investigación. Por lo contrario, el número de especies ha<sup>-1</sup> fue menor que el número de especies ha<sup>-1</sup> (152, 217 y 341) que se registraron en comunidades del bosque

tropical caducifolio Chiapas, Michoacán y San Luis Potosí (López-Toledo *et al.*, 2012; Méndez-Toribio *et al.*, 2014; Alanís-Rodríguez *et al.*, 2010). También, el número de especies  $\text{ha}^{-1}$  en el presente estudio fue menor que el número de especies  $\text{ha}^{-1}$  (430, 567 y 647) que se hallaron en comunidades vegetales en este bioma en los estados Campeche y Oaxaca (Zamora-Cresencio *et al.*, 2008; Silva-Aparicio *et al.*, 2018; Gallardo-Cruz *et al.*, 2005).

Los valores del índice de equidad ( $E_H$ ) en ambas subprovincias bióticas en el presente estudio fueron mayores a los valores de este índice que se encontraron en comunidades del bosque tropical caducifolio en Guerrero ( $E_H = 0.13$ ) (Almazán-Núñez *et al.*, 2012), Chiapas ( $E_H = 0.52$ ) (López-Toledo *et al.*, 2012) y Yucatán ( $E_H = 0.63$ ) (Dzib-Castillo *et al.*, 2014). Sin embargo, valores similares se reportaron en comunidades de este bioma en los estados de Oaxaca ( $E_H = 0.82$ ) (Gallardo-Cruz *et al.*, 2005) y Michoacán ( $E_H = 0.86$ ) (Méndez-Toribio *et al.*, 2014).

El valor del índice de Margalef ( $D_\alpha$ ) en el presente estudio fue menor a los valores que se reportaron para otras comunidades en el bosque tropical caducifolio en los estados de San Luis Potosí ( $D_\alpha = 3.95$ ) (Alanís-Rodríguez *et al.*, 2010) y Morelos ( $D_\alpha = 4.71$ ) (Beltrán-Rodríguez *et al.*, 2018).

El índice de Simpson indicó una diversidad alta en las comunidades donde lináloe crece en el presente estudio. El valor del índice de Simpson fue mayor que los valores ( $1/D = 0.09$  y  $1/D=0.25$ ) de este índice que se hallaron en comunidades similares en el estado de Oaxaca (Gallardo-Cruz *et al.*, 2005; Silva-Aparicio *et al.*, 2018). También, el valor de este índice en la presente investigación fue superior a los valores del índice de Simpson que se encontraron en comunidades en el bosque tropical caducifolio en los estados de Michoacán ( $1/D = 0.18$ ) (Zacarías-Eslava *et al.*, 2011), Guerrero ( $1/D = 0.13$ ) (Almazán-Núñez *et al.*, 2012), y Yucatán (Dzib-Castillo *et al.*, 2014).

A diferencia del índice de Simpson, el índice de Shannon ( $H'$ ) indicó una diversidad menor en las comunidades donde lináloe crece en ambas subprovincias (Balsasana y Cañadiana) que la diversidad que se encontraron en comunidades en el bosque tropical caducifolio en los estados de Guerrero ( $H' = 1.8$  y  $H = 2.25$ ) (Ávila-Sánchez *et al.*, 2018;

Dzib- Castillo *et al.*, 2014), Yucatán ( $H' = 1.91$ ) (Méndez-Toribio *et al.*, 2014), Michoacán ( $H' = 1.98$ ) (Martínez-Bernal *et al.*, 2021), Puebla ( $H' = 2.07$ ) (Martínez-Bernal *et al.*, 2021), Chiapas ( $H' = 2.10$ ) (Basáñez *et al.*, 2007), Veracruz ( $H' = 2.13$ ) (Silva-Aparicio *et al.*, 2018) y Oaxaca ( $H' = 2.6$  y  $H' = 2.78$ ) (Gallardo-Cruz *et al.*, 2005). Sin embargo, el valor del índice de Shannon en la presente investigación es similar al índice ( $H' = 1.6$ ) que se reportó para una comunidad en este bioma en el estado de Morelos (Sánchez-Hernández *et al.*, 2018), y mayor al índice de Shannon (1.43) que se encontró en una comunidad en el bosque tropical caducifolio en el estado de Morelos (Sánchez-Hernández *et al.*, 2018). Por lo que el índice de Shannon indicó un nivel bajo de diversidad de los ecosistemas donde *Bursera linanoe* crece.

Con todos los valores de los índices utilizados en este estudio la mayor diversidad se presentó en la subprovincia Cañadiana producto de una mayor presencia de especies a pesar de las condiciones áridas en las que se encuentra. Contrario a lo que se ha encontrado en regiones con condiciones de mayor humedad que propician la presencia de mayor número de especies tal como ocurre al comparar la riqueza de la selva baja caducifolia con la selva mediana subcaducifolia (Díaz-Gallegos *et al.*, 2002; Dzib-Castillo *et al.*, 2014). Las condiciones microclimáticas de esta región oaxaqueña pueden ser las determinantes para que haya una proliferación de formas en esta zona. Esta alta diversidad puede ser producto de factores evolutivos, edáficos y aislamiento geográfico que propicia el endemismo en esta subprovincia (Valiente-Banuet *et al.*, 2000; Gallardo-Cruz *et al.*, 2005). Actualmente la región de Tehuacán- Cuicatlán forma parte del río Papaloapan, sin embargo, en algún momento formó parte del sistema de drenaje tributario del Balsas, esto indica que a través del tiempo el aislamiento de la subprovincia Cañadiana provocó diferenciación en las especies aun perteneciendo al mismo tipo de vegetación (Rzedowski, 2006; De-Nova *et al.*, 2012).

La baja diversidad dentro de la subprovincia Balsasana en la altitud menor a 900 m puede deberse a un mayor deterioro como producto de la actividad antropocéntrica en la zona, estas unidades de muestreo no pertenecen a ninguna Reserva de la Biosfera y ni siquiera están bajo un esquema de manejo de los recursos forestales por lo que la extracción de especies y el sobre pastoreo puede tener efectos negativos en la composición de estos

bosques. Los valores similares de diversidad entre las unidades de la subprovincia Cañadiana a pesar de los intervalos altitudinales indican poca diferenciación entre zonas, quizás pueda deberse a precipitaciones anuales poco contrastantes (menor a 900 m = 456 mm, mayor a 900 m = 552 mm).

Algunas comparaciones presentaron diferencias significativas dependiendo del índice considerado, estas diferencias se deben a la forma en la que están construidos (Jost, 2007). Los índices brindan una idea de la biodiversidad en un área pero en algunos casos los hace poco comparables entre ellos e inclusive puede ser difícil que reflejen la complejidad de una comunidad (Jost y González-Oreja, 2012), sin embargo, deben ser considerados como una parte importante para la descripción de los ecosistemas (Tokeshi, 1993; Magurran, 2004; Gillman, 2009).

Ambas subprovincias presentan valores medios en los índices de diversidad debido a la zona de aislamiento geográfico y diversidad ambiental en la que se encuentran (García-Trejo y Navarro, 2004). El tipo de vegetación en el bosque tropical caducifolio se considera como uno de los biomas de mayor diversidad en México (Trejo y Dirzo, 2000). La región centro conformada por la cuenca del Balsas y el valle de Tehuacán-Cuicatlán cuentan con un área considerable de bosque tropical (Rzedowski, 1991).

### **1.6.2 Diversidad beta**

Las 24 unidades de muestreo de este estudio presentaron una similitud baja (0.27), a nivel de subprovincias fue similar entre la Balsasana (0.31) y Cañadiana (0.30). Dichos resultados muestran que aunque forman parte de un mismo ecosistema, las comunidades estudiadas se han considerado como lugares con un alto porcentaje de especies exclusivas que pueden presentar condiciones ecológicas particulares (Alanís-Rodríguez *et al.*, 2010; Sosa & De-Nova, 2012). Otros estudios han reportado para la región del Balsas valores promedio de 40 a 46 % de similitud entre unidades de muestreo (Martínez-Cruz *et al.*, 2013; Beltrán-Rodríguez *et al.*, 2018). Para la región oaxaqueña se han encontrado mayores valores que los reportados en este estudio, en donde las zonas muestreadas son altamente similares entre si desde 73 a 96 % (Silva-Aparicio *et al.*, 2018; Avendaño-Guevara, 2020). En zonas del sureste mexicano con bosque tropical

caducifolio se han registrado valores desde 19 hasta 40 % de semejanza entre sitios (Leirana-Alcocer *et al.*, 2009; López- Toledo *et al.*, 2012; Hernández-Ramírez y García-Méndez, 2015; Banda *et al.*, 2016). Trejo y Dirzo, 2002, calcularon 9 % como el promedio del índice de Sorensen para sitios representativos de nuestro país, añadiendo que este tipo de vegetación presenta una alta diversidad beta (López-Toledo *et al.*, 2012). Prueba de lo anterior es que de los 20 sitios muestreados el 72 % de las especies solo aparecieron un sitio.

La diferenciación de sitios a pesar de pertenecer a un mismo ecosistema es la consecuencia de una alta heterogeneidad ambiental como lo son las variaciones en altitud y topografía que tienen repercusión en la radicación, la retención del agua en el suelo y la disponibilidad de nutrientes a diferentes escalas (Balvanera *et al.*, 2002).

## 1.7 CONCLUSIONES

La diversidad arbórea fue mayor en la subprovincia Cañadiana. Mayores valores de los índices de diversidad se registraron en el intervalo mayor a 900 m en la subprovincia Balsasana, mientras que los valores de estos índices de diversidad fueron mayores en el intervalo menor a 900 m en la subprovincia Cañadiana. La densidad arbórea, área basal y cobertura fueron mayores en el intervalo menor a 900 m en la subprovincia Balsasana. La densidad, altura y cobertura de copa fueron mayores en el intervalo menor a 900 m en la subprovincia Cañadiana. Los valores de características estructurales fueron mayores en la subprovincia Balsasana. Los índices de valor forestal y valor de importancia fueron mayores para las especies *Bursera linanoe* y *Amphipterygium adstringens* en ambos intervalos altitudinales en la subprovincia Balsasana. También, los valores de estos índices fueron mayores para estas especies en el intervalo mayor a 900 m en la subprovincia Cañadiana, mientras que los valores de los índices de valor forestal y valor de importancia fueron mayores para *Bursera linanoe* y *Pachycereus weberi* en el intervalo menor a 900 m en la subprovincia Cañadiana.

## CAPÍTULO II. ESTRUCTURA Y PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN HORIZONTAL DE *Bursera linanoe* EN DOS SUBPROVINCIA BIÓTICAS EN MÉXICO

### 2.1 RESUMEN

Es nula la información sobre estructura vertical y patrón de dispersión espacial para *Bursera linanoe*, una especie endémica del bosque tropical caducifolio en México, por lo que los objetivos del presente estudio fueron evaluar la estructura poblacional y distribución horizontal. En dos subprovincias bióticas se establecieron veinticuatro unidades de muestreo, en cada subprovincia se determinaron dos intervalos altitudinales. En cada unidad de muestreo se midieron variables dasométricas y se calcularon densidad, área de copa, índice de valor estructural (IVE), índices de Morisita ( $I_s$ ) y de Ripley ( $L(t)$ ). En Balsasana intervalo <900 m la densidad y altura de los individuos no reproductivos fue 560 individuos  $ha^{-1}$  y 0.103 m, en >900 m fueron 300 individuos  $ha^{-1}$  y 1.212 m. En la subprovincia Cañadiana intervalo <900 m fueron 33 individuos  $ha^{-1}$  y 0.213 m, mientras que en el intervalo >900 m fue de 260 individuos  $ha^{-1}$  y 0.755 m. Balsasana se registraron 313 individuos reproductivos  $ha^{-1}$ , con 6.59 m de altura, 0.247 m diámetro y 205  $m^2 ha^{-1}$  de cobertura de copa, mientras en el intervalo >900 m se registraron 320 individuos  $ha^{-1}$ , con 3.44 m, 0.061 m y 52  $m^2 ha^{-1}$  respectivamente. Con base en  $I_s = 69.56\%$  y  $L(t) = 62.50\%$ , el patrón de distribución horizontal común fue el agregado. Los valores mayores de individuos no reproductivos y reproductivos se encontraron en <900 m en la subprovincia Balsasana. El patrón agregado de *Bursera linanoe* dominó en ambas subprovincias.

**Palabras clave:** categorías de tamaño, intervalos altitudinales, poblaciones, Ripley, Morisita.

### 2.2 ABSTRACT

The fruits of linaloe are collected to extract an aromatic oil and trees are cut to make crafts in the tropical region of Mexico. Structural values of natural populations are unknown, so the objectives of this study were to evaluate the population structure and horizontal distribution. In two biotic subprovinces twenty-four sampling units were established, in each subprovince two altitudinal ranges were determined. In each sample unit,

dasometric variables were measured and density, crown area, index of structural value (IVE), indexes of Morisita ( $I_s$ ) and Ripley ( $L(t)$ ) were calculated. In Balsasana on range <900 m the density and height of non-reproductive individuals were 560 individuals  $ha^{-1}$  and 0.103 m, in >900 m were 300 individuals  $ha^{-1}$  and 1.212 m. In the subprovincia Cañadiana range <900 m were 33 individuals  $ha^{-1}$  and 0.213 m, while in the range >900 m it was 260 individuals  $ha^{-1}$  and 0.755 m in the lowest range. We recorded 313 reproductive individuals  $ha^{-1}$ , with 6.59 m of height, 0.247 m diameter and 205  $m^2 ha^{-1}$  crown area, while in the range >900 m were recorded 320 individuals  $ha^{-1}$ , with 3.44 m, 0.061 m and 52  $m^2 ha^{-1}$  respectively. Based on  $I_s= 69.56 \%$  and  $L(t)= 62.50 \%$ , the common horizontal distribution pattern was aggregated. The highest values of non-reproductive and reproductive individuals were found in <900 m in subprovince Balsasana. The aggregate pattern of *Bursera linanoe* dominated in both subprovinces.

**Key words:** categories, altitudinal ranges, population, Ripley, Morisita.

## 2.3 INTRODUCCIÓN

Es nula la información sobre estructura vertical y patrón de dispersión espacial para *Bursera linanoe* (La Llave) Rzedowski, Calderón y Medina ('lináloe'), una especie endémica del bosque tropical caducifolio que se usa para la elaboración de esencias jabones y artesanías en México (Rzedowski *et al.*, 2004). Las poblaciones de esta especie están en declive debido al aprovechamiento indiscriminado y el sobrepastoreo (Andrés y Espinosa, 2002). La estructura vertical permite conocer las características y distribución de las dimensiones de un conjunto de individuos de una especie en una comunidad vegetal (Gadow *et al.*, 2007; Li *et al.*, 2014). La proporción de tamaños de los individuos tiene relación con el grado de maduración, la ventaja competitiva, la viabilidad y el nicho ecológico que ocupa una especie en el ecosistema (Kint *et al.*, 2003; Ruprecht *et al.*, 2010). Factores abióticos como incendios forestales y periodos largos de sequía pueden modificar la estructura vertical en las primeras etapas de desarrollo de individuos en una población (Letcher *et al.*, 2012), mientras que factores bióticos como competencia, ataque de plagas y enfermedades influyen en la estructura de la etapa madura de una especie (Letcher *et al.* 2012). También, el impacto de las actividades



antropogénicas puede influir en la estructura vertical de una especie en un ecosistema (Del-Río, 2003).

El patrón de distribución espacial indica las posiciones de los árboles con respecto a cada uno de estos dentro del área que ocupa una especie en el ecosistema (Ettema and Wardle, 2002). El patrón de dispersión espacial depende del sistema de reproducción, tipo de dispersión de semillas, tolerancia, tipos de perturbaciones, competencia, mutualismo y mortalidad (Condit *et al.*, 2000; Griffith & Peres-Neto, 2006; Hui *et al.*, 2018). También, la biota del suelo, la descomposición y disponibilidad de nutrientes influyen en el patrón de dispersión espacial de una especie (Janik *et al.*, 2016). La distribución espacial de un rodal es un factor que regular el crecimiento de los árboles y promover la estabilidad de la población (Jia *et al.*, 2016). Los árboles de una especie pueden distribuirse en un patrón aleatorio, uniforme o agregados (Dos-Anjos *et al.*, 2004). Un patrón agregado puede influir en el apareamiento de individuos que comparten ancestros comunes promoviendo la endogamia y como consecuencia la pérdida de diversidad genética que compromete la permanencia a largo plazo de una especie.

A través del estudio de la estructura vertical y patrón de distribución espacial se puede inferir el éxito reproductivo de una especie y posible permanencia en el ecosistema a largo plazo por lo que información sobre la estructura vertical y patrón de distribución espacial es importante para planear las actividades de manejo forestal o implementar medidas de conservación que promuevan la sustentabilidad de una especie (Dhar *et al.*, 2008; Velasco-García *et al.*, 2017).

Diferentes tipos de estructura vertical se pueden encontrar en especies arbóreas (Velasco-García *et al.*, 2017). La mayoría de los árboles de especies que crecen en el bosque tropical tiene un patrón agregado (Montañez *et al.*, 2010; Sánchez-Gutiérrez *et al.*, 2019). Por lo que se plantearon las siguientes hipótesis: 1) La estructura de las poblaciones de *B. linanoe* es variable entre subprovincias bióticas e intervalos altitudinales debido a las condiciones ambientales; 2) el patrón de distribución de *B. linanoe* es diferente en cada subprovincia debido al intervalo altitudinal y entre subprovincias. Por consiguiente en el presente estudio se plantearon los objetivos:

describir la estructura poblacional de *Bursera linanoe* y conocer el patrón de distribución horizontal en condiciones naturales.

## 2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.4.1. Área de estudio.

Considerando la distribución natural de *B. linanoe* en México y que la especie alcanza su óptimo desarrollo en altitudes que van de los 600 a 1200 m (Cruz-Cruz *et al.*, 2009; Rzedowski *et al.*, 2004), se establecieron 12 unidades de muestreo (UM) en los estados de Guerrero y Morelos (subprovincia biótica Balsasana; sensu Ferrusquía, 1990) para dos intervalos altitudinales: menor a 900 m y mayor a 900 m) así como 12 UM en el estado de Oaxaca (subprovincia biótica Cañadiana; sensu Ferrusquía 1990) también para dos intervalos altitudinales; menor a 900 m y mayor a 900 m (

Figura 2. 1 y Cuadro 2. 1).

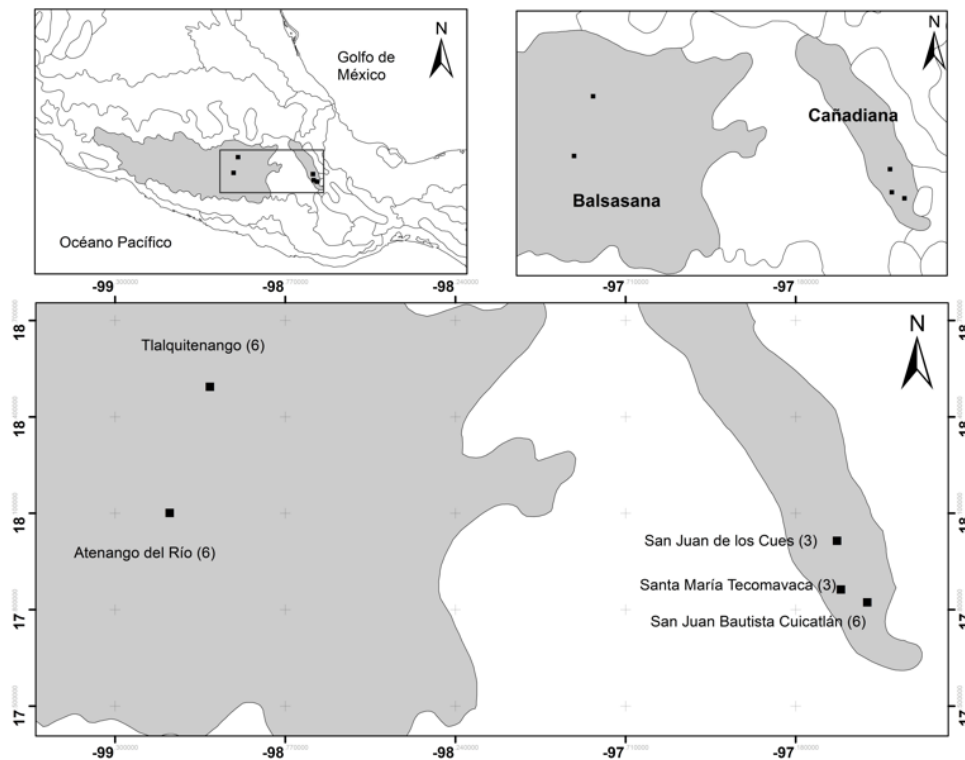


Figura 2. 1 Localización geográfica de las unidades de muestreo (■) en dos subprovincias bióticas.

Cuadro 2. 1 Características biofísicas en las dos subprovincias bióticas y en los dos intervalos altitudinales estudiados.

Características	Balsasana		Cañadiana		Referencia
	<900	>900	<900	>900	
Intervalo altitudinal (m)	<900	>900	<900	>900	
Tipo de clima	Aw <sub>0</sub> (g)	Aw <sub>0</sub> (g)	BS <sub>0w</sub> (g)	BS <sub>0w</sub> (g)	García (2004)
Precipitación (mm)	764.3	832	457	457	SMN (2010)
Temperatura media (°C)	27.4	22.4	24.1	24.1	SMN (2010)
Temperatura máxima (°C)	36.3	31.9	32	32	SMN (2010)
Temperatura mínima (°C)	18.4	16.7	16.9	16.9	SMN (2010)
Tipo de suelo	RC	FH	RC	RC	INEGI (2010)
Tipo de vegetación	Bosque tropical caducifolio				Rzedowski <i>et al.</i> , 2004

RC= regosol calcárico, FH= feozem háplico

#### 2.4.2. Muestreo y medición de variables

El tamaño de las unidades de muestreo fue 10 x 25 m (250 m<sup>2</sup>), registrando el número de individuos, la altura total con estadal topográfico y el diámetro normal (DN; 1.30 m sobre el suelo) con cinta diamétrica. El diámetro mayor y menor de la copa se midió con longímetro de 30 m, calculando su área de copa con el promedio de los diámetros antes mencionados y empleando la fórmula del círculo.

#### 2.4.3. Análisis de la información

##### 2.4.3.1 Estructura poblacional

La distribución de los datos de cada variable se verificó para comprobar los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas con la prueba de Shapiro-Wilks y la prueba de Bartlett, respectivamente. Un análisis de varianza y comparación de medias de Tukey

se realizó para diámetro normal, variable que presentó datos con distribución normal. La altura total y diámetro promedio de copa no cumplieron con el supuesto de normalidad, por tanto, se sometieron a una prueba no paramétrica de varianza y comparaciones múltiples de Kruskal-Wallis. La comparación de medias entre intervalos altitudinales se hizo dentro de cada subprovincia.

De acuerdo a lo observado en campo, los individuos se clasificaron como no reproductivos y reproductivos. Un individuo no reproductivo es aquel carente de estructuras reproductivas y con una altura hasta de dos metros; se ubicaron en dos categorías con base en su altura: individuos menores de 30 cm (categoría 1) e individuos entre 30 cm y 2 m (categoría 2). Los individuos reproductivos se ubicaron en cuatro categorías (también considerando su altura): mayores de 2 m y hasta 4 m (categoría 3), mayores de 4 m y hasta 6 m (categoría 4), mayores de 6 m y hasta 8 m (categoría 5) e individuos mayores a 8 m (categoría 6).

Para cada una de las seis categorías anteriores se obtuvo el índice de valor estructural (IVE), el cual se basa en los índices de valor forestal y el índice de valor de importancia (Sánchez-Gutiérrez *et al.*, 2019). El índice de valor estructural (IVE) de las categorías de tamaño se calculó de la siguiente manera:

$$\text{IVE} = \text{Densidad relativa} + \text{Frecuencia relativa} + \text{Altura relativa} \quad [1]$$

La densidad relativa se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$\text{Densidad relativa} = \frac{\text{Densidad absoluta de la categoría de tamaño}}{\text{Densidad de todas las categorías}} \times 100 \quad [2]$$

Donde,

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Número de individuos de una categoría}}{\text{Área muestreada}} \quad [3]$$

La frecuencia relativa se determinó de la siguiente forma:

$$\text{Frecuencia relativa} = \frac{\text{Frecuencia por categoría}}{\text{Frecuencia de todas las categorías}} \times 100 \quad [4]$$

Donde,

$$\text{Frecuencia} = \frac{\text{Número de cuadros en los que se presenta esa categoría}}{\text{Número total de cuadros muestreados}} \quad [5]$$

La altura relativa se calculó con la siguiente ecuación:

$$\text{Altura relativa} = \frac{\text{sumatoria de altura de cada categoría de tamaño}}{\text{sumatoria de altura absoluta de todas las categorías}} \times 100 \quad [6]$$

Donde,

$$\text{Altura absoluta} = \frac{\text{sumatoria de altura de una categoría}}{\text{Área muestreada}} \quad [7]$$

Los supuestos estadísticos de normalidad y homogeneidad de varianzas se verificaron con la prueba de Shapiro-Wilks. Estos datos fueron paramétricos por lo que se realizó un análisis de varianza y comparación de medias por categoría de tamaño entre intervalos altitudinales y subprovincias.

El porcentaje de individuos se obtuvo para categoría de tamaño elaborando curvas de estructura poblacional por subprovincia e intervalos altitudinales dentro de subprovincias, siguiendo los tipos poblacionales sugeridos por Bongers *et al.*, (1988), Martínez-Ramos y Álvarez-Buylla (1995) y Velasco-García *et al.*, 2017. Y se construyeron curvas poblacionales para subprovincias e intervalo altitudinales dentro de subprovincias.

#### **2.4.3.2 Patrón de distribución horizontal**

Se ubicaron todos los individuos de *Bursera linanoe* en un plano cartesiano (x, y). Cada unidad de muestreo de 250 m<sup>2</sup> se dividió en 10 subunidades de 5 x 5 m, midiendo la distancia y el ángulo interno entre el vértice y el individuo más cercano. Esta información sirvió para calcular las coordenadas cartesianas de cada individuo mediante funciones trigonométricas. Se generó un compendio de datos de abundancia por categoría de tamaño para cada unidad de muestreo. El patrón de dispersión espacial se determinó con base en los índices de Morisita (I<sub>δ</sub>; Morisita, 1959) y K de Ripley (Ripley, 1977) para cada unidad de muestreo, en este último se usó la transformación L (t) de la función K (t) y las diferencias en el patrón de distribución se calcularon con la función L(t) con simulaciones de Monte Carlo (Besag, 1977; Ruiz-Aquino *et al.* 2015; Velasco *et al.*, 2016).

## 2.5 RESULTADOS

### 2.5.1 Estructura poblacional

Un total de 327 individuos de *Bursera linanoe* se encontraron en las 24 unidades de muestreo. En general, los individuos no reproductivos representaron el 58 % y 50 % en la subprovincia Balsasana y Cañadiana respectivamente. La densidad absoluta de individuos no reproductivos fue 60 % superior en la subprovincia Balsasana con respecto a la densidad de este tipo de individuos en la subprovincia Cañadiana (Cuadro 2.2).

En la subprovincia biótica Balsasana, el mayor porcentaje de individuos no reproductivos se encontró en la altitud menor a los 900 m, mientras que el menor porcentaje de este tipo de individuos se encontró en la altitud mayor a 900 m (Figura 2. 2).

Cuadro 2. 2 Comparación de medias de las variables evaluadas en individuos no reproductivos de *Bursera linanoe* por subprovincia biótica e intervalo altitudinal.

Cuadro 2. 3 Comparación de medias de las variables evaluadas en individuos no reproductivos de *Bursera linanoe* por subprovincia biótica e intervalo altitudinal.

Subprovincia biótica	Intervalo altitudinal (m)	Densidad (individuos ha <sup>-1</sup> )	Altura (m)
Balsasana	<900	560	0.103 a
	>900	300	1.212 b
	Media	430	0.490
Cañadiana	<900	33	0.213 a
	>900	260	0.755 b
	Media	147	0.655

Medias con distintas letras representan diferencias a una  $P \leq 0.05$ .

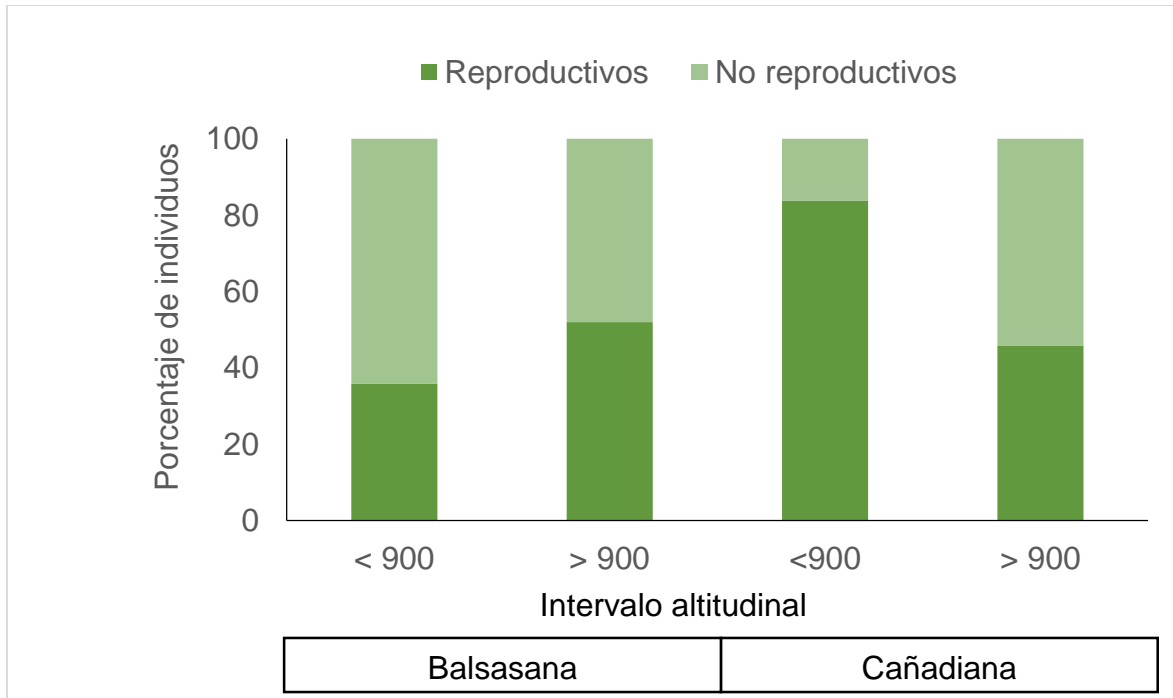


Figura 2. 2 Porcentaje de individuos no reproductivos y reproductivos de *Bursera linanoe* en dos subprovincias bióticas y en dos intervalos altitudinales.

En esta subprovincia la densidad fue 54 % mayor en el intervalo menor a 900 m con respecto a la altitud mayor a 900 m. En la subprovincia Cañadiana, el mayor porcentaje de individuos no reproductivos se registró en el intervalo altitudinal > 900 m, mientras que el menor porcentaje se halló en la altitud < 900 m. Mientras que en la subprovincia Cañadiana la mayor densidad se encontró en el intervalo altitudinal mayor a 900 m.

La prueba de Kruskal Wallis indicó diferencias ( $P < 0.001$ ) entre subprovincias bióticas e intervalos altitudinales dentro de subprovincias para altura de individuos no reproductivos. La altura fue 25 % superior en la subprovincia Cañadiana con respecto a la subprovincia Balsasana para este tipo de individuos. En la subprovincia Cañadiana la mayor altura se registró en la altitud mayor a 900 m, en la subprovincia Balsasana el valor mayor de altura se halló en el intervalo altitudinal mayor a 900 m (Cuadro 2. 3).

Cuadro 2. 3 Comparación de medias de las variables evaluadas en individuos no reproductivos de *Bursera linanoe* por subprovincia biótica e intervalo altitudinal.

Subprovincia biótica	Intervalo altitudinal (m)	Densidad (individuos ha <sup>-1</sup> )	Altura (m)
Balsasana	<900	560	0.103 a
	>900	300	1.212 b
	Media	430	0.490
Cañadiana	<900	33	0.213 a
	>900	260	0.755 b
	Media	147	0.655

Medias con distintas letras representan diferencias a una  $P \leq 0.05$ .

La densidad de individuos reproductivos fue 61 % mayor en la subprovincia Balsasana en comparación con el valor de esta variable en la subprovincia Cañadiana. En la subprovincia Balsasana la densidad fue mayor en el intervalo altitudinal comprendido mayor a 900 m con respecto al intervalo menor a 900 m. Mientras que, la mayor densidad se encontró en el intervalo menor a 900 m en la subprovincia Cañadiana (27 %).

La prueba de Kruskal Wallis indicó diferencias entre subprovincias para altura ( $P < 0.001$ ) pero no para diámetro normal ( $P > 0.05$ ) y área de copa ( $P > 0.05$ ). Los mayores valores de altura y diámetro normal de individuos reproductivos se encontraron en la subprovincia Balsasana (Cuadro 2. 4).

En la subprovincia Balsasana, se encontraron diferencias entre intervalos altitudinales para altura ( $P < 0.001$ ), diámetro normal ( $P < 0.001$ ) y diámetro de copa ( $P < 0.002$ ) de individuos reproductivos. Los mayores valores en estos tres atributos estructurales se encontraron en el intervalo altitudinal menor a a 900 m (Cuadro 2. 4).



Cuadro 2. 4 Comparación de medias para las variables estructurales en individuos reproductivos de *Bursera linanoe* en dos subprovincias bióticas y en dos intervalos altitudinales.

Variable	Balsasana			Cañadiana		
	<900	>900	Media	<900	>900	Media
Densidad (ind. ha <sup>-1</sup> )	313 a	320 a	317 a	220 a	173 a	197 b
Altura (m)	6.59 a	3.44 b	5.00 a	4.37 a	3.77 b	4.04 b
Diámetro normal (m)	0.247 a	0.061 b	0.15 a	0.094 a	0.101 a	0.09 a
Área copa (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	205 a	52 b	128 a	112 a	137 a	126 a

Medias con distinta letra en la misma fila son estadísticamente diferentes ( $P \leq 0.05$ ).

En la subprovincia Cañadiana, diferencias se encontraron entre intervalos altitudinales para altura ( $P < 0.07$ ); sin embargo, no existieron diferencias a la  $P > 0.05$  para diámetro normal y área de copa de individuos reproductivos. En la subprovincia Cañadiana la altura fue 30 % superior en la altitud menor a 900 m.

En la provincia Balsasana el mayor índice de valor estructural (IVE) se encontró en la categoría 1, en contraste con el menor valor en la categoría 6. En la altitud menor a 900 m dentro de esta subprovincia se presentaron diferencias contrastantes entre las categorías de tamaños 1 y 5 contra 2, 3 y 6. En el intervalo  $> 900$  m, los mayores valores se registraron en las categorías 2, 4 y 5.

En la subprovincia Cañadiana, el menor valor de IVE se registró en la categoría 6; por el contrario, el mayor valor se encontró en la categoría 4. En la altitud menor a 900 m y en la altitud mayor a 900 m, los mayores valores de IVE se registraron en las categorías 4 y 2, respectivamente. En esta subprovincia no se presentaron individuos de la categoría 6 (Cuadro 2. 5).

Cuadro 2. 5 Índice de valor estructural (IVE) para las categorías de tamaño en altura de *Bursera linanoe* por subprovincia biótica e intervalo altitudinal.

Categoría de tamaño <sup>†</sup>	Balsasana			Cañadiana		
	Altitud		General	Altitud		General
	<900	>900		<900	>900	
1	107.93	27.43	66.51	12.82	12.84	19.88
2	5.29	79.81	53.41	12.02	104.08	89.06
3	6.13	56.57	54.14	59.82	51.52	68.89
4	51.86	57.34	40.13	149.46	94.19	98.72
5	107.19	60.81	66.15	15.87	37.33	23.65
6	21.57	18.04	19.67	0.0	0.0	0.00
Total	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0

<sup>†</sup>Categorías de tamaño en altura: 1= < 0.3 m, 2= >0.3 m <2 m, 3= >2 m <4 m, 4= >4 m <6 m, 5= >6 m <8 m, y 6= >8 m.

En general, en la subprovincia Balsasana se presentó una curva tipo IV (*sensu* Velasco-García *et al.*, 2017); sin embargo, al realizar esta distinción, en el intervalo menor a 900 m se presentó una curva de estructura poblacional tipo II (*sensu* Bongers *et al.*, 1988), caracterizada por elevados porcentajes de individuos en las categorías 1 y 5. También en el intervalo altitudinal menor a 900 m, pero de la subprovincia Cañadiana se presentó una curva tipo IIb (*sensu* Velasco-García *et al.*, 2017) caracterizada por un bajo porcentaje de individuos en las dos categorías más pequeñas y un alto porcentaje en las dos categorías intermedias. En el intervalo altitudinal mayor a 900 m de ambas subprovincias, se encontraron curvas poblacionales tipo III (*sensu* Peters, 1994; Martínez-Ramos y Álvarez-Buylla, 1995) representadas por bajos porcentajes de individuos tanto en las categorías más pequeñas como en las más grandes (Figura 2. 4).

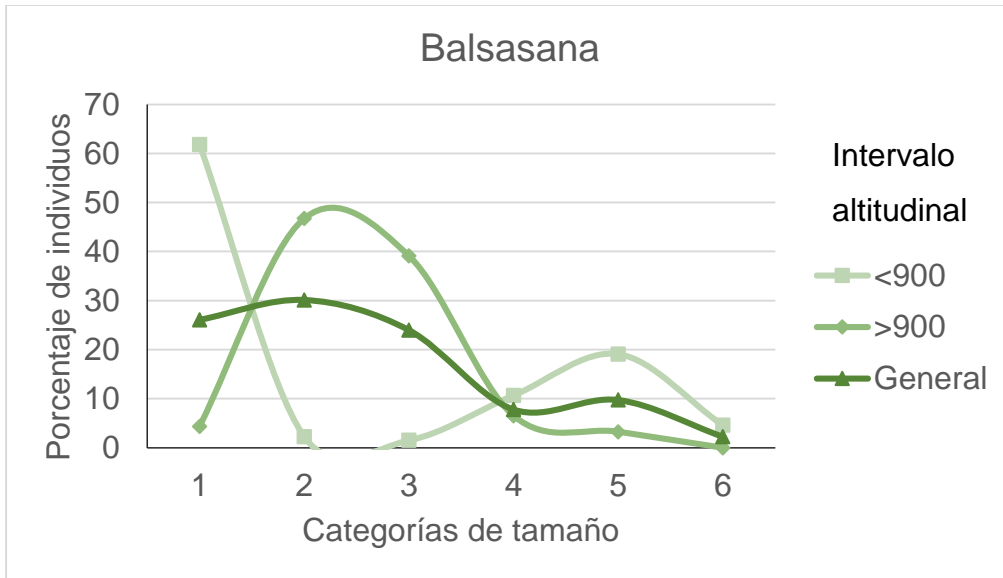


Figura 2. 3 Curva de estructura poblacional de *Bursera linanoe* en dos subprovincias bióticas y en intervalos altitudinales (Categorías de tamaño en altura: 1= < 0.3 m de altura, 2= de 0.3 m a 2 m, 3= de 2 m a 4 m, 4= de 4 m a 6 m, 5= de 6 m a 8 m, y 6= >8 m).

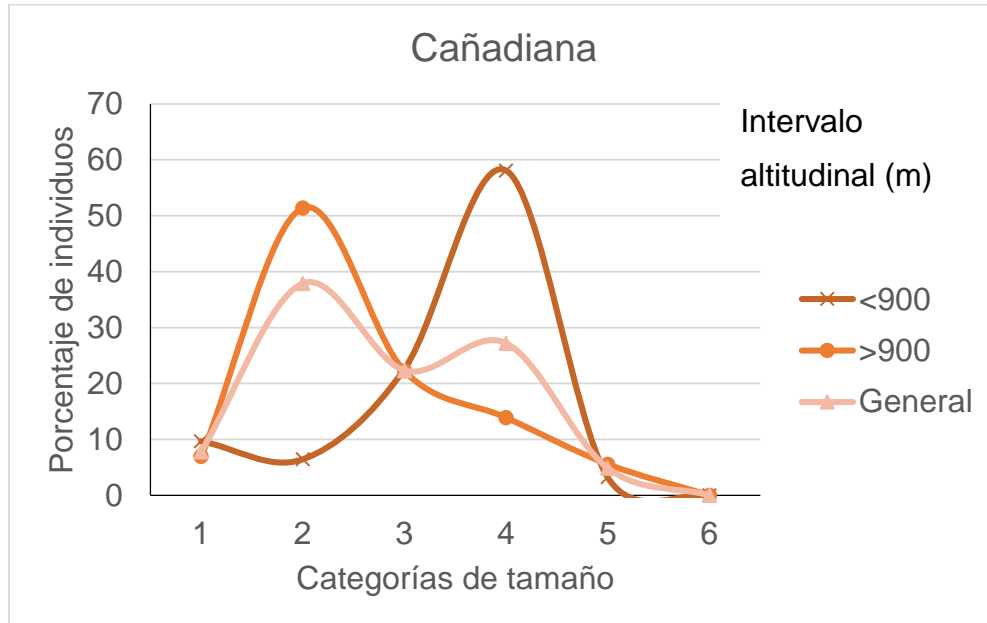


Figura 2. 4 Curva de estructura poblacional de *Bursera linanoe* en dos subprovincias bióticas y en intervalos altitudinales (Categorías de tamaño en altura: 1= < 0.3 m de

altura, 2= de 0.3 m a 2 m, 3= de 2 m a 4 m, 4= de 4 m a 6 m, 5= de 6 m a 8 m, y 6= >8 m).

### 2.5.2. Patrón de distribución horizontal

Los valores del índice de Ripley fueron superiores a cero en 75 % de las unidades de muestreo, mientras que estos fueron menores a cero en 25 % de las unidades de muestreo en la subprovincia Balsasana. Sin embargo, los valores del índice de Morisita fueron mayores de uno en 75 % de las unidades de muestreo, mientras que estos valores fueron menores de uno en 16.7 % de las unidades de muestreo e iguales a uno en 8.3 % de las unidades de muestreo en la subprovincia Balsasana (Figura 2. 5, Figura 2. 6, Figura 2. 7 y Figura 2. 8).

Los valores del índice de Ripley fueron mayores a cero en 50 % de las unidades de muestreo, mientras que los valores de este índice fueron menores a cero en 33.3 % de las unidades de muestreo en la subprovincia Cañadiana ( Figura 2. 7 y Figura 2. 8). Los valores del índice de Morisita fueron mayores a uno en 63.6 % de las unidades de muestreo, mientras que los valores de este índice fueron menores a uno en 36.4 % de las unidades de muestreo en la subprovincia Cañadiana. El valor del índice de Morisita no fue posible su cálculo en una de las unidades de muestreo en esta subprovincia (Figura 2. 5, Figura 2. 6, Figura 2. 9 y Figura 2. 10).

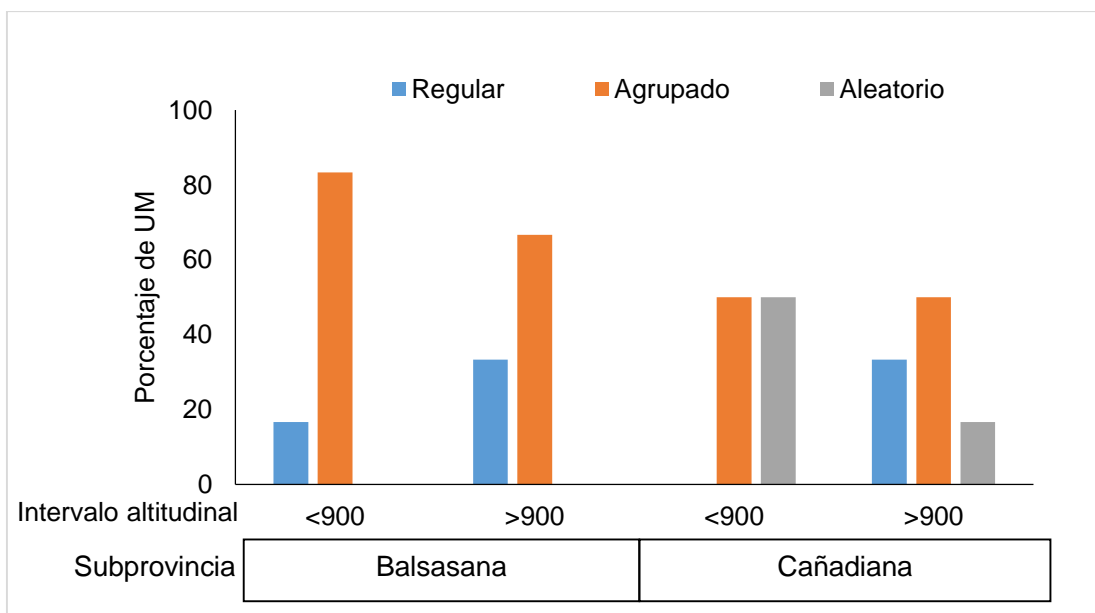


Figura 2. 5 Unidades de muestro y su patrón espacial considerando los valores obtenidos con el índice de Ripley.

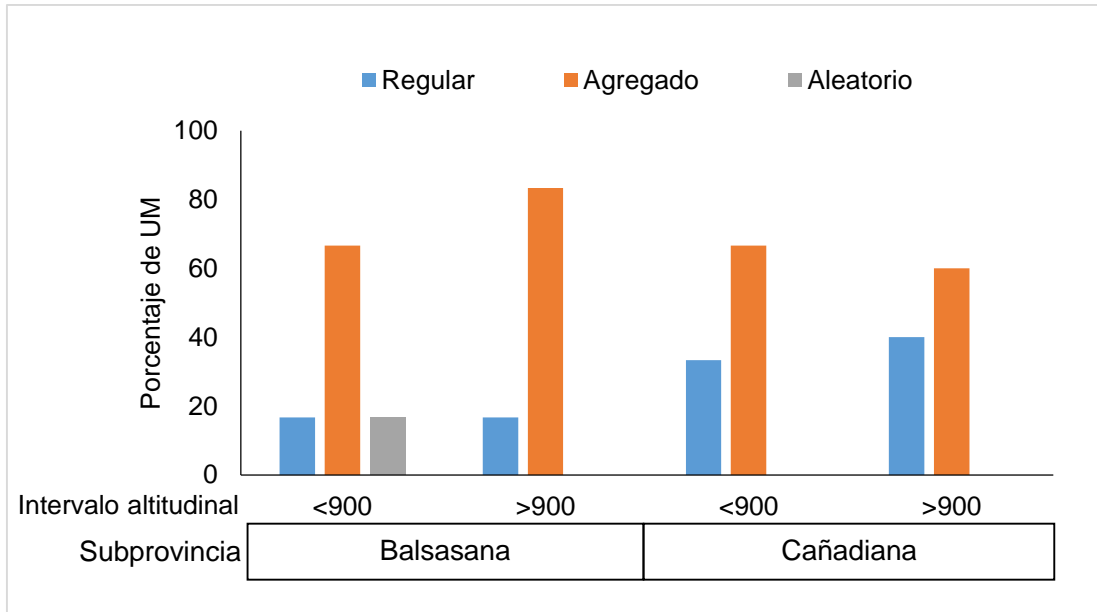


Figura 2. 6 Unidades de muestro y su patrón espacial considerando los valores obtenidos con el índice de Morisita.

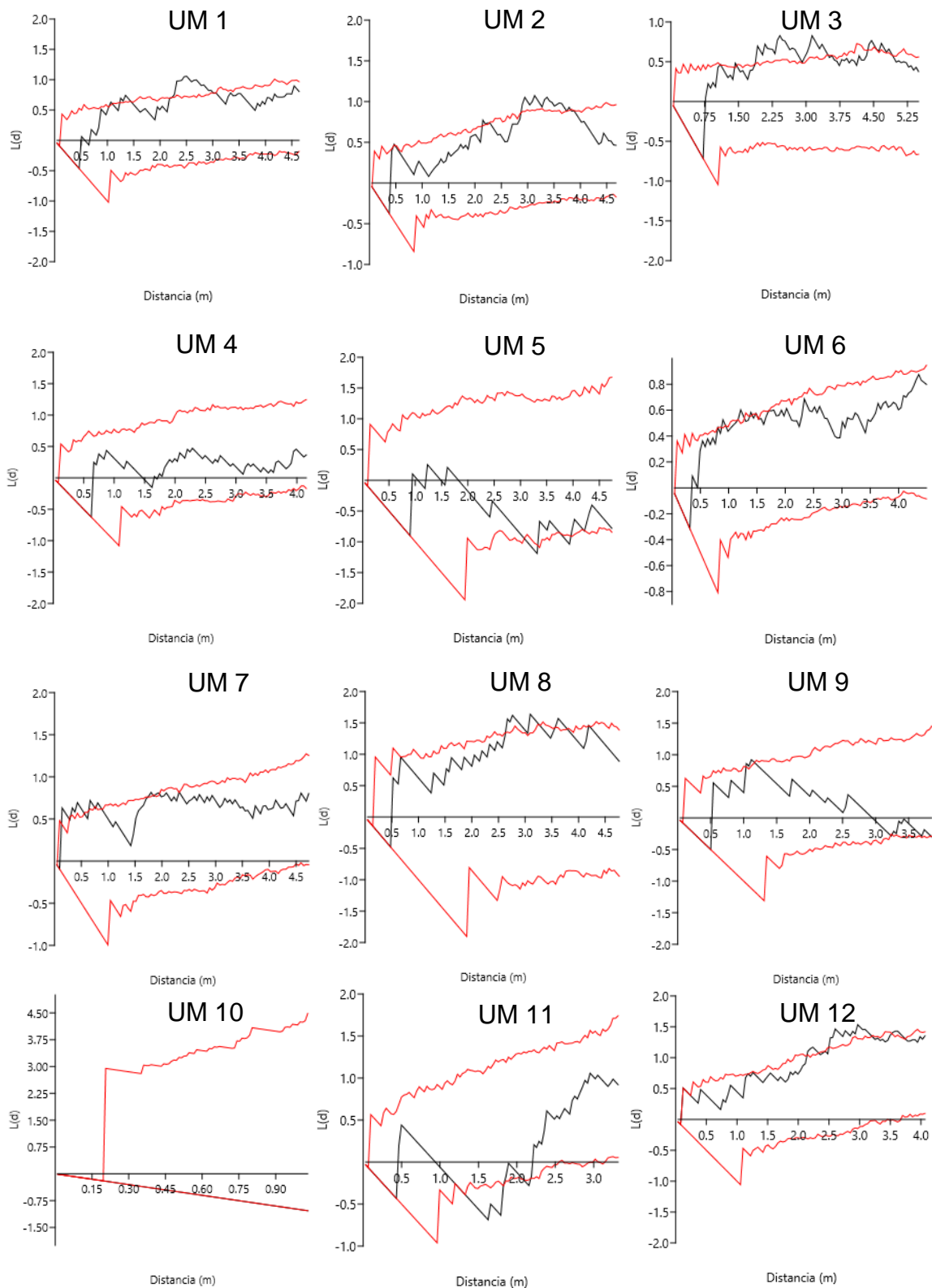


Figura 2. 7 Valores de índice de Ripley  $L(t)$  en las Unidades de Muestreo (UM) de la subprovincia Balsasana.

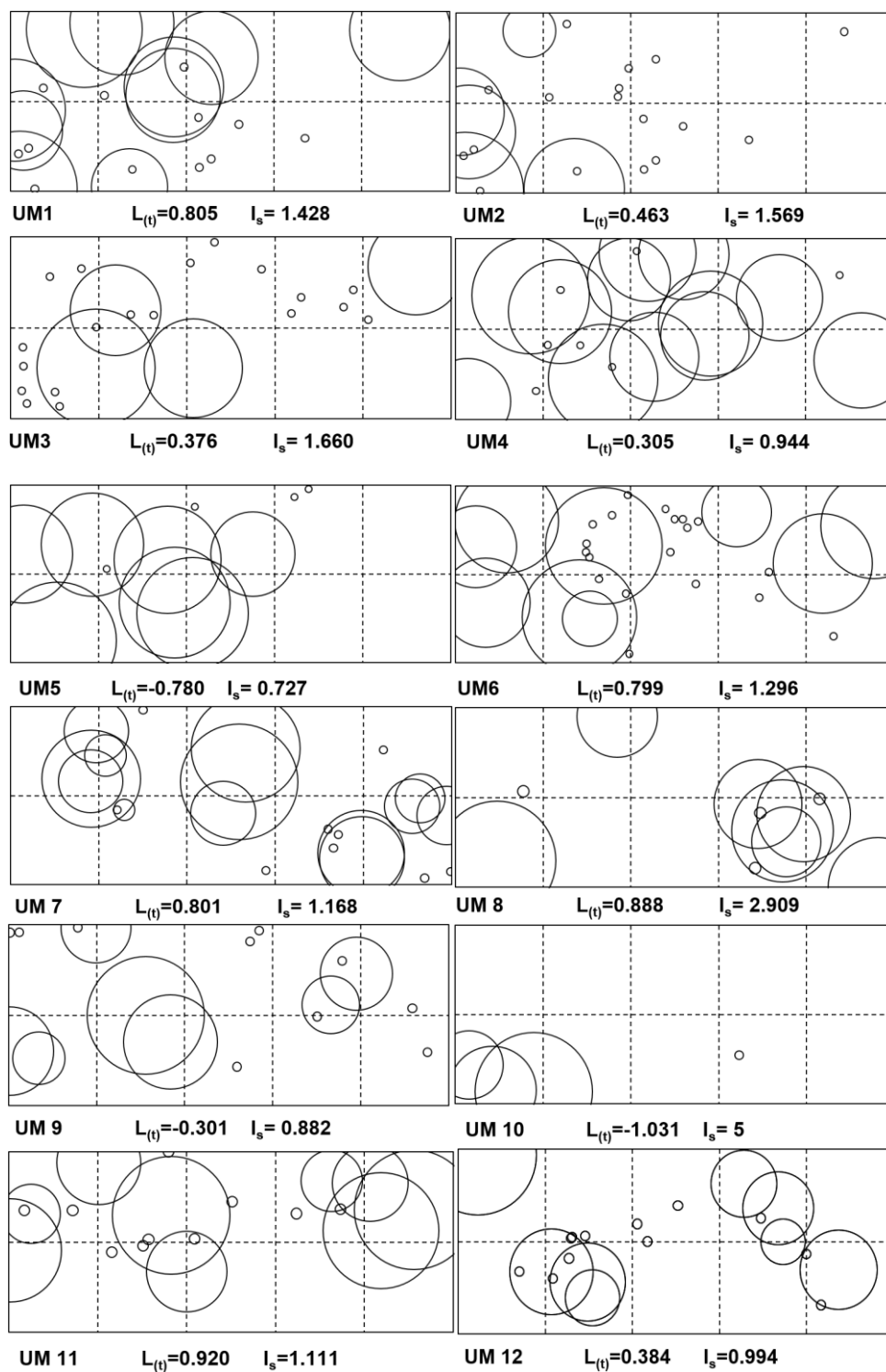


Figura 2. 8 Diagramas de distribución horizontal de *Bursera linanoe* en la subprovincia Balsasana (UM= Unidad de Muestreo,  $L_{(t)}$ =Índice de Ripley e  $I_s$ =Índice de Morisita).

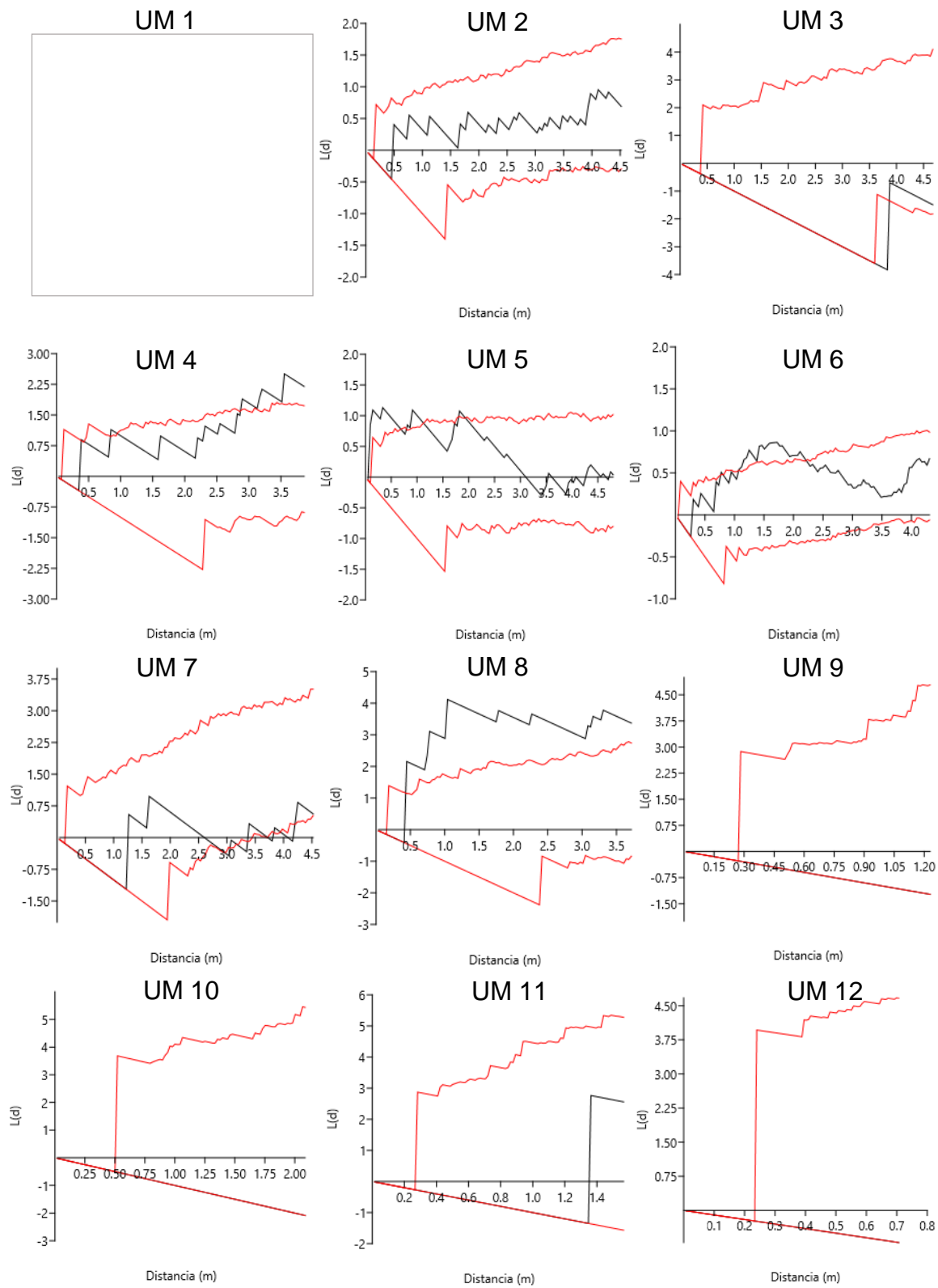


Figura 2. 9 Valores de índice de Ripley  $L(t)$  en las Unidades de Muestreo (UM) de la subprovincia Cañadiana.



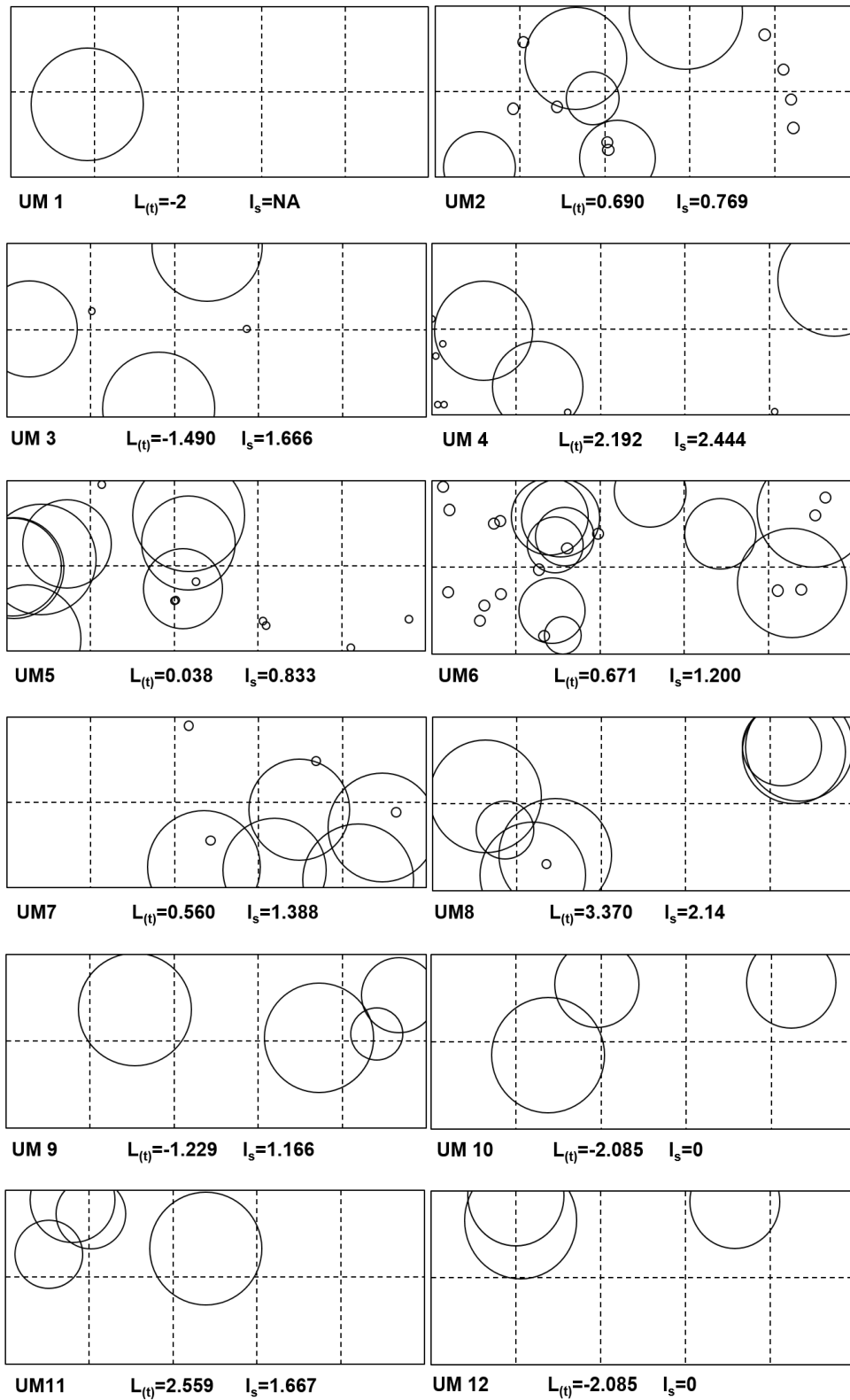


Figura 2. 10 Diagramas de distribución horizontal de *Bursera linanoe* en la subprovincia Cañadiana (UM= Unidad de Muestreo,  $L_{(t)}$ =Índice de Ripley e  $I_{\delta}$ =Índice de Morisita).

## 2.6 DISCUSIÓN

### 2.6.1. Estructura poblacional

El porcentaje de individuos no reproductivos de *Bursera linanoe* en el presente estudio fue mayor al porcentaje (9 %) de árboles no reproductivos que menciona Cruz-Cruz *et al.* (2009). Sin embargo, los resultados para lináloe en la presente investigación coincidieron con los porcentajes (> 50 %) de individuos no reproductivos que se reportan en otras especies del género *Bursera* tales como *B. palmeri* S. Watson y *B. fagaroides* Eng. (Suzán-Azpíri *et al.*, 2017, Luna *et al.*, 2018). El alto porcentaje de individuos no reproductivos garantiza la permanencia de la mayoría de las poblaciones de *B. linanoe* al tener la posibilidad de sustituir a los individuos adultos para que se asegure la reproducción y permanencia de la especie en estos ecosistemas en el largo plazo como se indica para otras especies de árboles (Hall and Bawa, 1993; Figueroa-Esquivel *et al.*, 2009). Sin embargo, las poblaciones pueden estar en riesgo en el intervalo altitudinal menor a 900 m en la subprovincia Cañadiana debido a la presencia casi nula de individuos no reproductivos.

El mayor porcentaje de individuos no reproductivos en la subprovincia Balsasana se puede deber a condiciones ambientales favorables con respecto a la subprovincia Cañadiana. Por ejemplo, la precipitación promedio anual es 341 mm mayor en la subprovincia Balsasana que en la subprovincia Cañadiana (SMN, 2010). La mayor precipitación puede promover una producción abundante de semillas e influir en la germinación de estas y establecimiento de las plántulas de lináloe (Ramírez y Arroyo, 1990).

El menor desarrollo en altura de los individuos no reproductivos en la subprovincia Balsasana puede ser la consecuencia de la mayor densidad de individuos reproductivos, debido a que doseles densos afectan el crecimiento de los individuos no reproductivos (Kanegae *et al.*, 2000; García-Núñez y Azócar, 2004). Por otra parte, los individuos no reproductivos en la subprovincia Balsasana en las altitudes mayores a 900 m presentaron mayor altura. Esto se puede deber a una mayor precipitación y tipo de suelo en este intervalo altitudinal (SMN, 2010), donde las plantas pueden alcanzar un mejor

desarrollo por el mayor contenido nutrimental, materia orgánica y profundidad que en el suelo regosol calcárico (Sotelo-Ruiz y Ortiz-Solorio, 2001).

En la presente investigación, la mayor densidad de árboles reproductivos de lináloe se encontró en la subprovincia Balsasana. Esto se puede deber a las condiciones ambientales favorables como una mayor precipitación media anual, la cual es 341 mm mayor en la subprovincia Balsasana (SMN, 2010). También, otro factor puede ser la interacción entre precipitación y tipo de suelo asociado a la retención de agua, nutrimentos y profundidad (Ruedas *et al.*, 2006). Aun cuando esta especie crece dentro de áreas naturales protegidas se observó mayor presencia de plantas en los lugares con mayor disturbio, el cual parece que favorece la reproducción del lináloe, lo que también se observa en otras especies como *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco (Oosterhoorn and Kappelle 2000; Fahey and Puettmann, 2007).

En ambas subprovincias, el número de árboles reproductivos fue mayor que el número (42 árboles ha<sup>-1</sup>) que Cruz *et al.* (2009) reportan para la misma especie. Incluso, fue mayor que el número de árboles de otras especies que crecen en el trópico seco como *Bursera simplex* Rzed. & Calderón (267 individuos) (Luna *et al.*, 2018) y *B. copallifera* (Sessé & Moc.) Bullock (19 individuos) (Basáñez *et al.*, 2008).

La mayor altura en la subprovincia Balsasana en comparación con la Cañadiana puede ser consecuencia de diferencias en las condiciones climáticas. Los mayores valores en altura de los árboles de lináloe que se encontraron en la menor altitud en ambas subprovincias se puede, también, deber a condiciones ambientales diferentes como la velocidad y frecuencia del viento los cuáles pueden romper el brote principal (Wilcke *et al.*, 2008). El intervalo altitudinal puede ser una variable que describa la amplitud ecológica de una especie (Lieberman *et al.*, 1996). El valor promedio de altura de los árboles de lináloe que se encontró en la presente investigación fue similar en promedio (5.45 m) que Cruz-Cruz *et al.* (2009) reportan en una investigación previa.

El menor diámetro normal de los individuos reproductivos en la subprovincia Cañadiana se pudo deber a que los árboles en esta subprovincia presentaron mayor número de tallos por lo que el diámetro normal del tallo principal es menor que en los árboles que

tienen tallos monopódicos (Cruz-Cruz *et al.*, 2009). El menor diámetro es característico del comportamiento arbustivo en zonas subtropicales (Maza *et al.*, 2014). El diámetro normal de los árboles reproductivos de lináloe fue menor en el presente estudio que el valor (0.21 m) para esta variable que se reporta en un estudio previo para esta especie (Cruz-Cruz *et al.*, 2009).

La mayor área de copa de los individuos reproductivos en la subprovincia Balsasana puede tener influencia del clima cálido subhúmedo que caracteriza la subprovincia Balsasana en comparación con la Subprovincia Cañadiana que pertenece al tipo árido (García, 2004). La mayor precipitación dentro del grupo climático cálido subhúmedo influye en mayor crecimiento de la copa de los individuos al sufrir menor estrés por mayor disponibilidad de humedad (Azócar *et al.*, 1999).

Los valores de las variables antes descritas son mayores en las poblaciones localizadas en el intervalo menor (< 900 m). Esto puede indicar que en el extremo altitudinal inferior de la distribución de ésta especie existen las condiciones ideales para mayor crecimiento y éxito (Cruz-Cruz *et al.*, 2009; Hernández-Pérez *et al.*, 2011). También, Wilcke *et al.* (2008) reportan mayores valores en variables como altura, diámetro del tallo y diámetro de la copa en el extremo inferior de la distribución de *Graffenrieda emarginata* (Ruíz & Pav.) Triana. y en *Cedrela balansae* C. DC (Malizia *et al.*, 2006).

Entre subprovincias las diferencias entre el IVE se puede deber al clima y a que ciertas categorías de tamaño presentan mayor susceptibilidad a niveles bajos de precipitación. En la subprovincia Cañadiana los valores bajos de IVE de las categorías correspondientes a individuos no reproductivos puede ser consecuencia del difícil establecimiento de la regeneración por efecto de la sequía mermando en el desarrollo de estos (Rey and Alcántara, 2000). El IVE como índice estructural permitió evaluar a los individuos por categoría de tamaño; al considerar la altura, se evitó el daño que se puede ocasionar en la base de las plántulas al medir diámetro basal.

La curva poblacional Tipo II (Bongers *et al.*, 1988) que se encontró en la subprovincia Balsasana al nivel altitudinal < 900 m indica la presencia de regeneración e individuos adultos con una ausencia de individuos jóvenes. La curva tipo IIb en la altitud menor a

900 m en la subprovincia Cañadiana significa que la regeneración es escasa, y se presenta en las especies que tienen problemas para establecerse en etapas tempranas por una baja precipitación. Quizás la producción de semillas es abundante, sin embargo, la presencia de un alto número de semillas vanas, y latencia de las semillas ocasionan una regeneración baja en esas poblaciones (Guzmán-Pozos *et al.*, 2018). También, este tipo de curva poblacional son características en árboles de *Bursera simaruba* (L.) Sarg., *Turpinia occidentalis* (Sw.) G. Don y *Dioon holmgrenii* De Luca, Sabato & Vázq.Torres (Martínez-Ramos y Álvarez-Buylla, 1995, Ibarra y López-Mata, 2002; Velasco-García *et al.*, 2017).

La curva poblacional tipo II que se observó en los intervalos altitudinales > 900 m de ambas subprovincias se caracterizó por baja proporción de individuos de la categoría 1, mayor proporción de las categorías 2 y 3 y una caída en el porcentaje de individuos a partir de la categoría 4 (Martínez-Ramos y Álvarez-Buylla, 1995). Esta curva la presentó *Bursera palmeri* S. Watson, *Zanthoxylum procerum* J. D. Sm., *Tabebuia rosea* DC. y *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. (Wright *et al.*, 2003; Suzán-Azpiri *et al.*, 2017).

### **2.6.2. Patrón de distribución horizontal**

El arreglo horizontal de las poblaciones se debe a las limitaciones como radiación solar y humedad que tienen las semillas para germinar, lo que implica un efecto en el establecimiento inicial de la especie (Harms *et al.*, 2000, Condit, 2000). El patrón de distribución agregado para *B. linanoe* en la presente investigación fue semejante al de *B. graveolens* y *B. glabrifolia* en el bosque tropical caducifolio (Linares, 2005). Este patrón es común en especies del género *Bursera* que crecen en suelos pedregosos (Guevara y Rzedowski, 1980). Los suelos pedregosos, que son comunes en las regiones en donde *B. linanoe* crece, pueden contribuir a su establecimiento de las plantas debido a la mayor disponibilidad de agua (Boer and Puigdefábregas, 2005). El patrón de distribución aleatorio en la subprovincia Cañadiana (índice de Ripley) se debe a la baja densidad de los individuos, como Linares (2005) reporta para *B. graveolens*.

Las diferencias del patrón de distribución de *B. linanoe* descrito por los índices de Morisita y Ripley se pueden deber al procedimiento de cálculo que tiene cada uno de estos

(Morisita, 1959; Ripley, 1977). La transformación a  $L(d)$  del índice de Ripley se usa comúnmente porque estabiliza la varianza y su interpretación visual es fácil en un gráfico (Ripley, 1977; Cressie, 1993). No obstante, el índice de Ripley ayuda a confirmar las tendencias del patrón agregado y detectar una escala de agrupamiento a nivel fino (Condit, 2000; Fortin and Dale, 2005; Montañez *et al.*, 2010). Por otro lado, el índice de Morisita describe un patrón agregado en poblaciones con una menor densidad de individuos (Golay and Kanevski, 2015). En bosques tropicales se recomienda usar el índice de Morisita por su estabilidad y un menor esfuerzo de muestreo (Ledo *et al.*, 2012). Sin embargo, Plotkin *et al.* (2000) mencionaron que el patrón agregado no se correlaciona con la abundancia de la especie.

## **2.7 CONCLUSIONES**

El lináloe presenta mayores valores en variables estructurales en la subprovincia Balsasana y en el intervalo altitudinal menor a los 900 m donde la precipitación es mayor. La subprovincia Cañadiana presenta menor densidad de individuos, esta subprovincia presenta condiciones de aridez y de mayor pedregosidad. El patrón de distribución espacial agregado es el de mayor frecuencia en las poblaciones de las subprovincias e intervalos altitudinales.

## CAPÍTULO III. DIVERSIDAD GENÉTICA DE *Bursera linanoe* (LA LLAVE) RZED., CALDERÓN & MEDINA

### 3.1 RESUMEN

La información es nula sobre diversidad genética para *Bursera linanoe* por lo que en el presente estudio se plantea el objetivo: Estimar la diversidad genética y estructura genética de *Bursera linanoe* en dos niveles altitudinales en dos subprovincias bióticas. Las hipótesis planteadas son: 1) la diversidad genética será alta en las subprovincias y dentro de subprovincias en los intervalos altitudinales como efecto de la polinización cruzada, 2) la diferenciación entre poblaciones será alta por efecto del aislamiento entre poblaciones, 3) la mayor diversidad genética se encontrará dentro de poblaciones por del tipo de dispersión. En el 2019, se recolectaron hojas de 92 individuos de *Bursera linanoe* en dos subprovincias bióticas y dos intervalos altitudinales, se almacenaron en congelación para posteriormente desarrollar el protocolo de extracción de ADN. Cinco microsatélites se probaron y se visualizaron los fragmentos en gel de agarosa con una cámara de electroforesis. Se observaron 69 bandas, se consideró cada banda como un locus. El número de bandas fue similar entre los cinco iniciadores de ISSR. Se encontró un porcentaje mayor de loci polimórficos en la subprovincia Balsasana (95.65 %). Se encontró el mayor valor de heterocigosidad esperada en el intervalo mayor a 900 m en la subprovincia Balsasana ( $H_e = 0.308$ ). El número de alelos efectivos fue similar en las condiciones estudiadas. Se encontró el valor mayor del índice de Shannon en *B. linanoe* en la subprovincia Balsasana (0.440). Los valores del índice de Shannon fueron mayores en las poblaciones de esta especie en los intervalos mayores a 900 m en ambas subprovincias. El AMOVA indicó que la mayor parte de la diversidad genética se encuentra dentro de poblaciones mientras que resultó el menor valor de la diversidad genética entre subprovincias bióticas. Se identificaron tres grupos de poblaciones de acuerdo a las distancias genéticas y al análisis bayesiano. Las poblaciones de la especie presentaron una diversidad genética alta. Se encontró una mayor diversidad en las poblaciones de esta especie en la subprovincia biótica Balsasana. La diferenciación entre subprovincias fue baja mientras que esta fue alta entre poblaciones en intervalos altitudinales.

**Palabras clave:** lináloe, conservación, heterocigosidad, microsatélites, marcadores

### 3.2 ABSTRACT

The information is limited on genetic diversity for *Bursera linanoe* so in the present study the objective is: To estimate the genetic diversity and genetic structure of *Bursera linanoe* in two altitudinal ranges in two biotic subprovinces. The hypotheses proposed are: 1) genetic diversity will be high in the subprovinces and within subprovinces in the altitudinal ranges as an effect of cross-pollination, 2) the differentiation between populations will be high due to the effect of isolation between populations, 3) the greatest genetic diversity will be found within populations because type of seed dispersal. In 2019, leaves of 92 individuals of *Bursera linanoe* were collected in two biotic subprovinces and two altitudinal intervals, stored in freezing to later develop DNA extraction protocol. Five microsatellites were tested and agarose gel fragments were visualized by electrophoresis. 69 bands were observed, each band was considered as a locus. The number of bands was similar among the five ISSR. A higher percentage of polymorphic loci was found in the Balsasana subprovince (95.65 %). The highest expected heterozygosity value was found in the interval up 900 m in the Balsasana subprovince ( $H_e = 0.308$ ). The number of effective alleles was similar in the conditions studied. The highest value of the Shannon index was found in *B. linanoe* in the Balsasana subprovince (0.440). Shannon index values were higher in the populations of this species at intervals up 900 m in both subprovinces. Molecular variance analysis indicated that most of the genetic diversity is found within populations while the lower value of genetic diversity was found among biotic subprovinces. Three population groups were identified according to genetic distances and Bayesian analysis. The populations of the species showed high genetic diversity. Greater diversity was found in the populations of this species in biotic subprovince Balsasana. The differentiation between subprovinces was low whereas it was high between populations in altitudinal ranges.

**Key words:** linaloe, conservation, heterozygosity, microsatellites, markers



### 3.3 INTRODUCCIÓN

La diversidad genética es producto de la acción e interacción de genes y componente básico de la biodiversidad, se define como las variaciones heredables entre los individuos de una población en condiciones naturales (Rimieri, 2017). La diversidad genética es importante para la aptitud, la viabilidad a largo plazo y la capacidad de adaptación de una especie a las condiciones ambientales cambiantes (Ahuja & Mohan Jain, 2015; Pauls, Nowak, Bálint, & Pfenninger, 2013), características que han desarrollado como parte del proceso de evolución (Funabashi, 2019). En poblaciones pequeñas y fragmentadas puede existir una fijación aleatoria de mutaciones deletéreas y reducción de viabilidad debido a la consanguinidad (Hanski, 2011). La diversidad genética evita los efectos negativos de la endogamia (Frankham, 2005; Wernberg *et al.*, 2018) como la reducción de la viabilidad y poca adaptabilidad (Chevin, Lande, & Mace, 2010).

El conocimiento sobre la genética de las poblaciones puede reducir el riesgo de extinción al ayudar a desarrollar programas de manejo de poblaciones apropiados que puedan minimizar los riesgos que implica la consanguinidad (Arif & Khan, 2009). La diversidad genética se puede estimar a través de estudios de jardín, marcadores morfológicos, bioquímicos y moleculares (Da Silva, 2015). Los marcadores genéticos son los más usados en la actualidad en programas de selección de cultivos y manejo de recursos (Debouck, 2003), debido a que permiten conocer su variabilidad genética y comparar individualmente (Mills, 2013). Los tipos de marcadores pueden clasificarse por su capacidad de detectar polimorfismos únicos o múltiples, o bien, por su carácter dominante o codominante, lo que determinará la información obtenida (Hamon, Seguin, Perrier, & Glaszmann, 2003; Porth & El-Kassaby, 2014).

Los ISSR (Inter Simple Sequence Repeats) son marcadores dominantes considerados como microsatélites que cuentan con una secuencia repetida de 10 pares de bases (Dar, Mahajan, & Sharma, 2019; Manzo-Sánchez *et al.*, 2015). Estos marcadores son abundantes en organismos eucarióticos lo que ayuda a revelar un número mayor de loci polimórficos que otros marcadores dominantes (Ansari *et al.*, 2012). Los microsatélites son estables y tiene mayor repetibilidad (Bozchaloyi *et al.*, 2017; Sikdar *et al.*, 2010), presentan niveles altos de polimorfismo comparados con otros marcadores como RAPDs

(Random Amplified Polymorphic DNA) y AFLPs (Amplified Fragments Length Polymorphism) (Mahmut-Caliskan, 2012).

Los microsatélites han sido utilizados en varias especies de árboles del bosque tropical caducifolio (Melo Júnior *et al.*, 2015; de Abreu Moreira, Brandão, de Araujo, de Oliveira, & Fernandes, 2015; Lu, Yorkson, & Morden, 2016). La diversidad genética se ha estudiado con ISSR en especies como *Cedrela odorata*, *Albizia saman* y *Astronium graveolens* en Colombia (Thomas *et al.*, 2021), *Swetenia macrophylla* King en Costa Rica (Basil, 2007) y *Yucca capensis* en México (Luna-Ortiz, 2018). Se han utilizado ISSRs para el estudio de diversidad genética en *Bursera simaruba* (Bocanegra-González *et al.*, 2019), *B. bipinnata*, *B. cuneata* y *B. palmeri* (Quintero-Melecio, Rico, Lira-Noriega, & González-Rodríguez, 2021).

*Bursera linanoe* (La Llave) Rzed., Calderón & Medina es una especie que se encuentra en el bosque tropical caducifolio (Rzedowski, Medina Lemus, & De Rzedowski, 2004) de la que se extrae aceite esencial (Hersch, Glass & Fierro-Alvaréz, 2004). La extracción de madera y frutos de las poblaciones naturales pocas veces se realiza con un plan de manejo (Andrés-Hernández & Espinosa-Organista, 2002), por lo que las poblaciones de esta especie se han reducido. Sin embargo, en algunas especies de árboles tropicales la diversidad genética se considera alta aun cuando las densidades sean bajas (Finkeldey & Hattemer, 2007).

La información es nula sobre diversidad genética para *Bursera linanoe* por lo que en el presente estudio se plantea el objetivo: Estimar la diversidad genética y estructura genética de *Bursera linanoe* en dos niveles altitudinales en dos subprovincias bióticas. Las hipótesis planteadas son: 1) la diversidad genética será alta en las subprovincias y dentro de subprovincias en los intervalos altitudinales como efecto de la polinización cruzada, 2) la diferenciación entre poblaciones será alta por efecto del aislamiento entre poblaciones, 3) la mayor diversidad genética se encontrará dentro de poblaciones de *Bursera linanoe* en consecuencia del tipo de dispersión.

### 3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

En el 2019, se recolectaron hojas de 92 individuos de *Bursera linanoe* en dos subprovincias bióticas y dos intervalos altitudinales (Cuadro 3. 1). Las hojas de cada árbol se colocaron en bolsas de plástico con cierre y se identificaron con el nombre de la subprovincia, nivel altitudinal donde el árbol crece y un número consecutivo. Las bolsas con follaje se colocaron en una caja de plástico que contenía hielo para su transporte del al laboratorio del Posgrado en Ciencias Forestales en el campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, donde este se almacenó en un congelador a -20 °C, hasta la extracción del ADN.

Cuadro 3. 1 Ubicación de los sitios de colecta del material vegetativo.

Subprovincias biótica	Intervalo altitudinal (m)	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altitud (m)
Balsasana	< 900	18°05'54.1"	99°07'46.6"	734
	>900	18°28'27.2"	99°00'01.3"	1205
Cañadiana	< 900	17°51'45"	97°02'24.3"	930
	> 900	18°00'26.3"	97°03'04.5"	765

#### 3.4.1 Extracción de ADN

El follaje se molió en un mortero añadiendo nitrógeno líquido con el método CTAB modificado para la extracción de ADN (Saghai-Maroo, Soliman, Jorgensen, & Allard, 1984; Doyle & Doyle 1987). En un tubo Eppendorf de 2 ml se colocaron 100 mg de tejido liofilizado. El amortiguador de extracción (Cuadro 2) se calentó a 60 °C, y se añadieron 2 µl de β-mercaptoetanol; el tubo Eppendorf se colocó en un vortex por 5 s para agitar el contenido. Posteriormente, los tubos se colocaron en un termobloque (Select Bio Products) para la incubación por 90 minutos a 65 °C. Cada 10 minutos, los tubos se colocaron en un agitador vortex (Benchmark) por 10 minutos. Después de remover los

tubos del termobloque, se agregaron 500 µl de cloroformo alcohol isoamílico (24:1). Posteriormente, los tubos se invirtieron para mezclar el contenido por 10 minutos. Después, el contenido en los tubos se centrifugó a 13 500 rpm a 4 °C por 10 min. La fase acuosa superior se vertió en un tubo nuevo de 1.7 ml. El isopropanol se agregó en proporción 1:1 con base en la cantidad de fase acuosa obtenida, la cual se agitó en un vortex y se homogenizó por inmersión por 10 min. Después, los tubos se almacenaron en un refrigerador a 4 ° C durante una hora. Posteriormente, el contenido de los tubos se centrifugó a 13 500 rpm por 15 minutos para formar la pastilla la cual se precipitó al fondo del tubo y se decantó el isopropanol. Se añadió 1 ml de etanol para lavar el isopropanol y la pastilla por inversión lenta la cual se decantó al final. Algunas muestras se lavaron dos veces con etanol para obtener una muestra más limpia. Luego, el líquido se decantó y se dejó evaporar en una campana de extracción. La pastilla se resuspendió en 50 µl de agua destilada estéril.

Cuadro 3. 2 Composición química del amortiguador de extracción de ADN para follaje de *Bursera linanoe* (Saghai maroof *et al.* 1984).

Concentración inicial	Una reacción
ddH <sub>2</sub> O	0.47
0.15 M Tris-HCL 7.5	0.15
1.5 M NaCl	0.30
25 M EDTA-8.0	0.05
3.5 % CTAB	0.035 g
420 mM BME	3 µl
3 % PVP	0.03 g

### 3.4.2 Calidad, cantidad e integridad de ADN en las muestras

De cada muestra se agregó 1 µl al pedestal del Nanodrop 1000 c (Thermo Scientific) en un rango de absorbancia (260/280) para comprobar la calidad del ADN. Los valores entre

1.8 y 2.0 indican muestras de calidad buena. Después de medir la calidad del ADN, cada una de las muestras se homogenizaron a 50 ng/μl. La integridad del ADN se confirmó mediante electroforesis en geles de agarosa al 1.5 % (p/v) (Figura 1). En los orificios del gel se colocaron 6 μl de muestra de ADN y 2 μl de amortiguador. En los orificios de los costados del gel se agregaron 4 μl del compuesto (escalera) de 100 pb marca PROMEGA como referencia. El gel se expuso a una corriente de 100 V durante 90 min. Al gel se le agregó bromuro de etidio por 5 min y se suspendió en un amortiguador de corrida TBE al 1 X. Los fragmentos se visualizaron al exponer los geles a la luz ultravioleta en un fotodocumentador (UVP Epi Chemi II Darkroom).

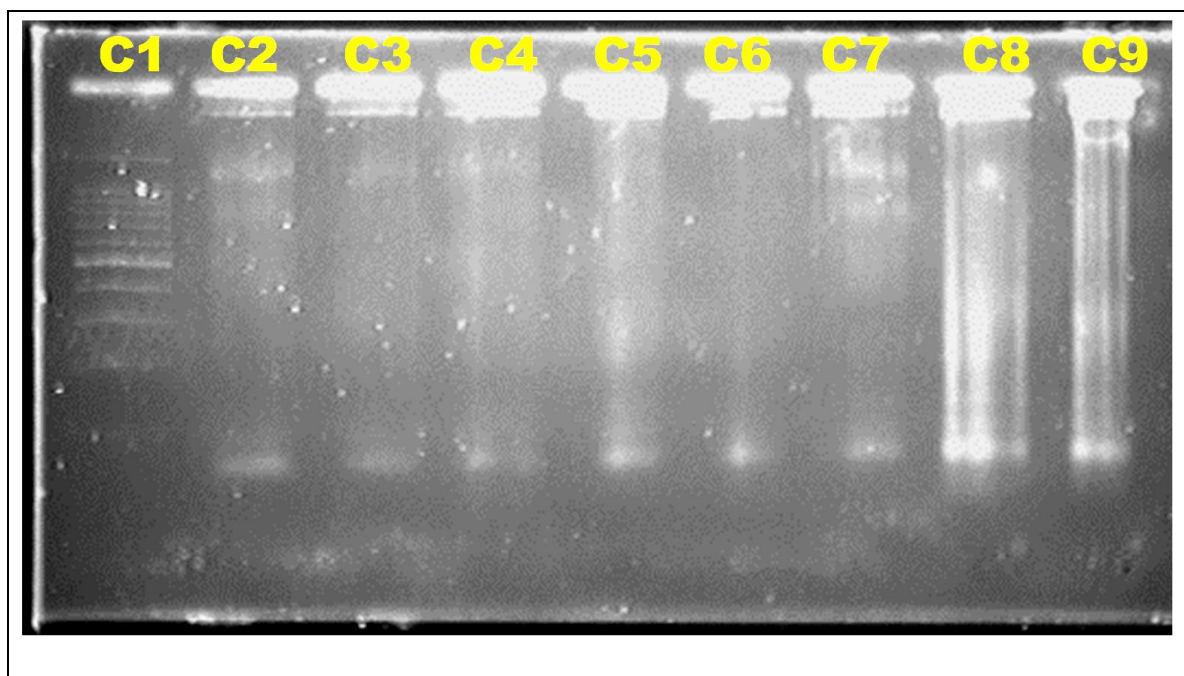


Figura 3. 1 En el carril (C) 1 100 ng de escalera 100 pb PROMEGA y muestras de ADN de *Bursera linanoe* en los carriles del 2 al 9.

### 3.4.3 Marcadores microsatélites

Nueve ISSR (Inter Simple Secuency Repeat) se probaron, de los cuales solo cinco amplificaron al ajustar la temperatura (Cuadro 3). La reacción de PCR se realizó para los iniciadores ISSR1 e ISSR4 en un volumen total de 25 μl en el cual consistió en 100 ng de ADN, 4 μl de amortiguador (1 X), 1.2 μl de MgCl<sub>2</sub> (1.5 mM), 2 μl de iniciador (10 mM), 0.4 μl de DNTPs (0.2 mM) y 1.4 U de taq polimerasa (PROMEGA). Para el iniciador ISSR5 se realizó la misma reacción, pero con 50 ng de ADN. La reacción de la PCR para

los iniciadores ISSRUBC827 e ISSRUBC840 se realizó en un volumen de 12 µl, que contuvo 100 y 150 ng de ADN respectivamente, 1.2 µl de amortiguador (1X), 0.96 µl de MgCl<sub>2</sub> (25 mM), 0.39 µl de iniciador (0.33 µM), 0.3 µl de DNTPs (0.25 mM) y 0.5 U de taq polimerasa (PROMEGA).

La reacción de la PCR para los iniciadores ISSR1, ISSR4 e ISSR5 se hizo en un termociclador (Techne TC-512) que se programó a 94 °C durante 5 min para desnaturalizar el ADN, seguido por, 35 ciclos a 94 °C por 40 s (desnaturalización), 43 °C por 45 s (alineamiento), y 72 °C 90 s (extensión). Un ciclo final a 94 °C por 45 s, 42 °C por 45 s y 72 °C por 5 min. Mientras que se siguió el protocolo siguiente para la reacción de la PCR para ISSRUBC827 e ISSRUBC840: el ADN se desnaturalizó a 94 °C por 2 min, 37 ciclos a 94 °C por 15 s (desnaturalización), 47 °C por 30 s (alineación) y 72 °C por 60 s (extensión), y una extensión final a 72 °C por 60 s.

Cuadro 3. 3 Cinco ISSR Iniciadores utilizados para el análisis de diversidad genética de *Bursera linanoe* en niveles altitudinales en dos subprovincias bióticas

Iniciador	Secuencia 5'-3'	Referencia
ISSR-UBC827	ACA CAC ACA CAC ACA CG	Dos-Santos et al., 2016
ISSR-UBC840	GAG AGA GAG AGA GAG AYT	Dos-Santos et al., 2016
ISSR1	GTG TGT GTG TGT GTY R	Coppi et al., 2010
ISSR4	GAG AGA GAG AGA GAG AC	Coppi et al., 2010
ISSR5	GAG CAA CAA CAA CAA CAA	Coppi et al., 2010

Los productos (5 µl de los iniciadores ISSR1, ISSR4 e ISSR5 y 10 µl ISSRUBC827, ISSRUBC840) de la PCR se colocaron en geles de agarosa al 2 % a la cual se añadieron 2 µl de bromuro de etidio. En los pozos ubicados al extremo del gel se vertieron 6 µl de marcador con peso molecular Phi y de 100 pb (PROMEGA). Además, en los pocillos de referencia se añadieron directamente 2 µl del colorante Diamond (PROMEGA). Los geles de agarosa se colocaron en una cámara de electroforesis que se aforó con el amortiguador TBE a 1X, y se conectó a una fuente de poder que suministró una corriente eléctrica de 75 V por 2 h y 30 min. Al finalizar, los geles se visualizaron bajo luz

ultravioleta en un fotodocumentador (UVP Epi Chemi II Darkroom) y se tomó una fotografía de cada gel. La interpretación de los geles se hizo asignándose 1 cuando se observó la presencia de una banda y cero cuando esa banda estuvo ausente para cada una de las muestras de cada uno de los árboles.

#### **3.4.4 Análisis de la información**

*Diversidad genética.* Se consideró cada banda como un locus. El porcentaje de loci polimórficos, heterocigosidad esperada ( $H_e$ ), número efectivo de alelos ( $N_e$ ) e índice de Shannon-Weaver se calcularon con el programa GenAlEx V6.5 (Blyton & Flanagan, 2012).

*Estructura genética.* El coeficiente de diferenciación  $F_{ST}$  se calculó con el programa Excel de Microsoft, y se estimó el número de migrantes por generación ( $N_m$ ) con base en el  $F_{ST}$ . También se calcularon las distancias genéticas de Nei (Nei, 1978) y se elaboró un dendrograma con el método UPGMA. Además, un análisis de varianza molecular (AMOVA) se hizo para conocer la distribución de la diversidad genética con el programa GenAIX V6.5. También, la estructura genética se evaluó con el programa Structure V 2.3.4 (Pritchard, Stephens, Rosenberg, & Donnelly, 2000). Este programa asigna cada individuo a un grupo K sin considerar su origen. En el presente estudio se consideraron valores de K entre 1 y 10 con 10,000 como la longitud del periodo de ajuste y 10,000 MCMC (Markov Chain Monte Carlo) repeticiones y 20 interacciones. El número de poblaciones (K) en los que se agrupan los árboles de lináloe se determinó con base en el valor mayor de  $\Delta K$  (Evanno, Regnaut, & Goudet, 2005).

### **3.5 RESULTADOS**

#### **3.5.1 Diversidad genética**

Sesenta y nueve locus se observaron en los cinco iniciadores de microsatélites (Cuadro 3. 4). El número de locus fue similar entre los cinco iniciadores de ISSR.

Cuadro 3. 4 Número de bandas de los Iniciadores de ISSR utilizados para estimar diversidad genética de *Bursera linanoe*.

Iniciador	Secuencia 5'-3'	Número de bandas
ISSRUBC 827	ACA CAC ACA CAC ACAG	15
ISSRUBC 840	GAG AGA GAG AGA GAG AYT	13
ISSR1	GTG TGT GTG TGT GTY R	13
ISSR4	GAG AGA GAG AGA GAG AC	14
ISSR5	GAG CAA CAA CAA CAA CAA	14

El porcentaje de loci polimórficos de *B. linanoe* fue mayor en la subprovincia Balsasana; mientras que, los porcentajes de loci polimórficos fueron iguales entre las poblaciones que crecen en los dos niveles altitudinales en esta subprovincia (En la subprovincia Cañadiana, porcentaje de loci polimórficos fue mayor en el intervalo altitudinal menor a los 900 m. El porcentaje de loci polimórficos en el intervalo altitudinal menor a 900 m fue iguales en ambas subprovincias.

La subprovincia Balsasana tuvo mayores valores que la subprovincia Cañadiana en heterocigosidad esperada ( $H_e$ ), número de alelos efectivos ( $N_e$ ) e índice de Shannon (IS). En esta subprovincia, las poblaciones del intervalo mayor a 900 m también tuvieron mayores valores de  $H_e$ ,  $N_e$  e IS en comparación con las poblaciones ubicadas en el intervalo menor a 900 m. En la subprovincia Cañadiana los mayores valores de  $H_e$ ,  $N_e$  e IS se presentaron en el intervalo mayor a 900 m (Cuadro 5).



Cuadro 3. 5). En la subprovincia Cañadiana, porcentaje de loci polimórficos fue mayor en el intervalo altitudinal menor a los 900 m. El porcentaje de loci polimórficos en el intervalo altitudinal menor a 900 m fue iguales en ambas subprovincias.

La subprovincia Balsasana tuvo mayores valores que la subprovincia Cañadiana en heterocigosidad esperada ( $H_e$ ), número de alelos efectivos ( $N_e$ ) e índice de Shannon ( $IS$ ). En esta subprovincia, las poblaciones del intervalo mayor a 900 m también tuvieron mayores valores de  $H_e$ ,  $N_e$  e  $IS$  en comparación con las poblaciones ubicadas en el intervalo menor a 900 m. En la subprovincia Cañadiana los mayores valores de  $H_e$ ,  $N_e$  e  $IS$  se presentaron en el intervalo mayor a 900 m (Cuadro 5).

Cuadro 3. 5 Estimadores de diversidad genética en las poblaciones de *Bursera linanoe* heterocigosidad esperada (He), Número de alelos efectivos (Ne), índice de Shannon (IS).

Condición	P %	Estimadores de diversidad genética		
		He	Ne	IS
Subprovincia				
Balsasana	95.65	0.342 ± 0.020	1.601 ± 0.041	0.505 ± 0.025
< 900 m	84.06	0.282 ± 0.022	1.479 ± 0.043	0.425 ± 0.029
>900 m	84.06	0.308 ± 0.022	1.543 ± 0.045	0.456 ± 0.030
Cañadiana				
< 900 m	89.86	0.323 ± 0.210	1.583 ± 0.030	0.477 ± 0.079
>900 m	84.06	0.278 ± 0.025	1.502 ± 0.044	0.403 ± 0.030
Total	68.12	0.295 ± 0.022	1.510 ± 0.049	0.439 ± 0.036
Total	100	0.352 ± 0.018	1.618 ± 0.039	0.522 ± 0.023

### 3.5.2 Estructura genética

El coeficiente de diferenciación ( $F_{ST}$ ) fue igual a 0.058 entre las poblaciones de *B. linanoe* en las subprovincias Balsasana y Cañadiana. Sin embargo, al comparar los cuatro intervalos altitudinales de ambas subprovincias se observó el mayor coeficiente de diferenciación entre las poblaciones del rango altitudinal menor a los 900 m en la subprovincia Balsasana y las poblaciones en los rangos altitudinales mayores a 900 m en ambas subprovincias (Cuadro 6). El análisis de varianza molecular indicó que la mayor parte de la diversidad genética se encuentra dentro de poblaciones mientras que resultó el menor valor de la diversidad genética entre subprovincias bióticas (Figura 3. 2).

Cuadro 3. 6 Coeficiente de diferenciación ( $F_{ST}$ ) (arriba de la diagonal y número de migrantes ( $Nm$ ) por generación (bajo la diagonal) de árboles de *B. linanoe* en dos niveles altitudinales en dos subprovincias bióticas.

	Balsasana		Cañadiana	
	<900 m	>900 m	<900 m	>900 m
<b>Balsasana</b>				
<900 m	----	0.144	0.126	0.146
>900 m	1.492	----	0.111	0.109
<b>Cañadiana</b>				
<900 m	1.738	2.012	----	0.140
>900 m	1.459	2.044	1.541	----

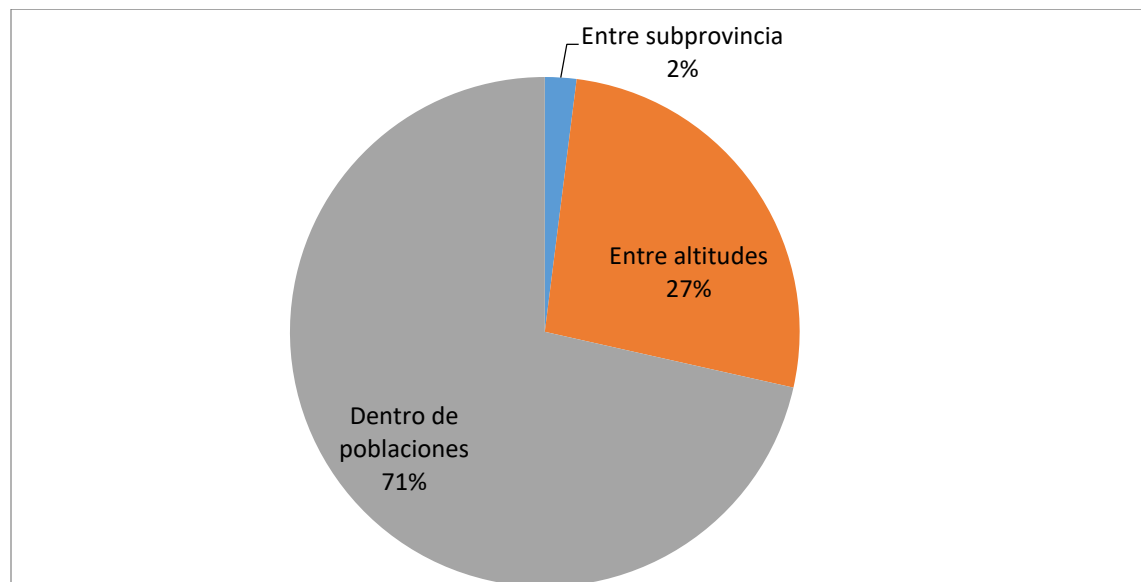


Figura 3. 2 Componentes del análisis de varianza molecular para *Bursera linanoe* en dos subprovincias y dos intervalos altitudinales.

El menor número de migrantes por generación se encontró entre las poblaciones de altitudinales menores a 900 m de la subprovincia Balsasana con poblaciones de altitudes mayores a 900 m de la subprovincia Cañadiana (Cuadro 3. 6). Sin embargo, el mayor valor en el número de migrantes se registró entre las poblaciones que se localizan en los intervalos altitudinales mayores a los 900 m en ambas subprovincias.

La mayor distancia genética se encontró entre poblaciones del nivel altitudinal menor a 900 m de la subprovincia Balsasana con poblaciones del rango altitudinal mayor a los 900 m de la subprovincia Cañadiana (Individuos de la subprovincia Balsasana se separaron en dos poblaciones las del intervalo menor a 900 m y las del intervalo mayor a 900 m, mientras que las poblaciones de la subprovincia Cañadiana formaron un conjunto. Las poblaciones de ambos intervalos en la subprovincia Balsasana presentaron algunos individuos de otras poblaciones, en esta subprovincia también se presentaron individuos de Cañadiana pero en menor proporción. En la población mayor a 900 m de la subprovincia Balsasana también se encontraron algunos individuos de la subprovincia Cañadiana. Algunos individuos de la subprovincia Balsasana pertenecen a las poblaciones de la subprovincia Cañadiana tanto en el intervalo menor a 900 m como en el mayor a 900 m.

Cuadro 3. 7). La menor distancia genética se halló entre poblaciones del rango altitudinal mayor a los 900 m en la subprovincia Balsasana con poblaciones del rango altitudinal menor a los 900 m en la subprovincia Cañadiana (Individuos de la subprovincia Balsasana se separaron en dos poblaciones las del intervalo menor a 900 m y las del intervalo mayor a 900 m, mientras que las poblaciones de la subprovincia Cañadiana formaron un conjunto. Las poblaciones de ambos intervalos en la subprovincia Balsasana presentaron algunos individuos de otras poblaciones, en esta subprovincia también se presentaron individuos de Cañadiana pero en menor proporción. En la población mayor a 900 m de la subprovincia Balsasana también se encontraron algunos individuos de la subprovincia Cañadiana. Algunos individuos de la subprovincia Balsasana pertenecen a

las poblaciones de la subprovincia Cañadiana tanto en el intervalo menor a 900 m como en el mayor a 900 m.

Cuadro 3. 7; Figura 3. 3). Las poblaciones del rango altitudinal mayor a los 900 m de la subprovincia Balsasana se diferenciaron genéticamente de las poblaciones de los otros tres niveles altitudinales (Figura 3. 3). Los árboles se agruparon en tres poblaciones ( $K = 3$ ) con una probabilidad media estimada ( $P_n(K)$ ) igual a -4050.05 y una varianza igual a 783.64 (Figura 3. 4). Individuos de la subprovincia Balsasana se separaron en dos poblaciones las del intervalo menor a 900 m y las del intervalo mayor a 900 m, mientras que las poblaciones de la subprovincia Cañadiana formaron un conjunto (Figura 3. 4). Individuos de la subprovincia Balsasana se separaron en dos poblaciones las del intervalo menor a 900 m y las del intervalo mayor a 900 m, mientras que las poblaciones de la subprovincia Cañadiana formaron un conjunto. Las poblaciones de ambos intervalos en la subprovincia Balsasana presentaron algunos individuos de otras poblaciones, en esta subprovincia también se presentaron individuos de Cañadiana pero en menor proporción. En la población mayor a 900 m de la subprovincia Balsasana también se encontraron algunos individuos de la subprovincia Cañadiana. Algunos individuos de la subprovincia Balsasana pertenecen a las poblaciones de la subprovincia Cañadiana tanto en el intervalo menor a 900 m como en el mayor a 900 m.

Cuadro 3. 7 Distancia de Nei (bajo la diagonal) y distancia geográfica (km) (sobre la diagonal) para *Bursera linanoe* en dos niveles altitudinales en dos subprovincias bióticas.

Balsasana		Cañadiana	
< 900 m	> 900 m	< 900 m	> 900 m

<b>Balsasana</b>				
< 900 m	----	46	223	231
> 900 m	0.143	----	219	228
<b>Cañadiana</b>				
< 900 m	0.118	0.090	----	9.5
> 900 m	0.151	0.130	0.093	----

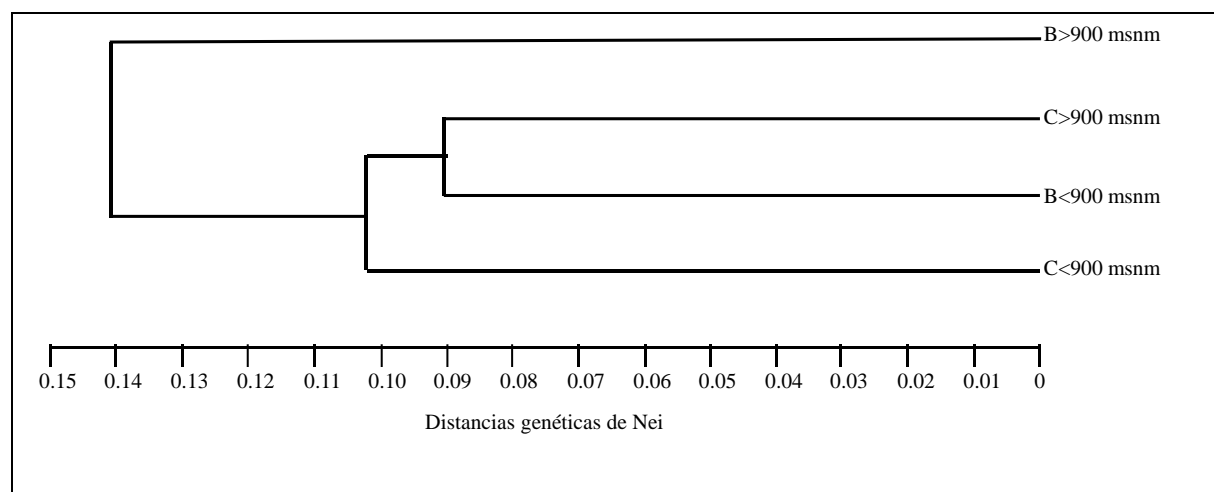


Figura 3. 3 Distancias genéticas de Nei de *Bursera linanoe* en cuatro niveles altitudinales en dos subprovincias bióticas.

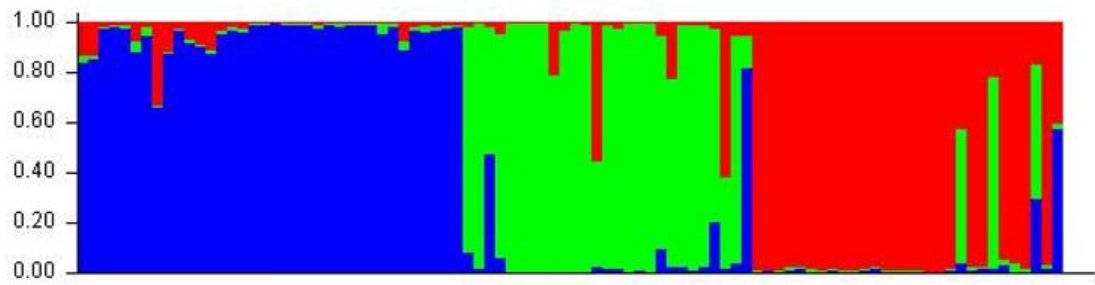


Figura 3. 4 Diagrama de barras del análisis bayesiano (Structure) de la estructura poblacional de individuos de *Bursera linanoe* en dos rangos altitudinales en dos subprovincias bióticas.

## 3.6 DISCUSIÓN

### 3.6.1 Diversidad genética

Todos los estimadores evaluados de diversidad genética indicaron una alta diversidad genética en *Bursera linanoe*. Una alta diversidad puede ser producto del cruzamiento entre individuos genéticamente diferentes que favorece el polimorfismo en la descendencia (White *et al.*, 2007). *B. linanoe* es una especie que tiene un comportamiento dioico donde las estructuras florales femeninas y florales masculinas se desarrollan en árboles diferentes (Rzedowski, Medina Lemus, & De Rzedowski, 2004). Esto puede favorecer la unión de alelos diferentes promoviendo diversidad genética en la especie. Estudios de diversidad genética en especies en los biomas tropicales es limitado. Sin embargo, el porcentaje de loci polimórficos para lináloe en el presente estudio fue mayor que el porcentaje de loci polimórficos (97.8 %) que se reportaron para el árbol del incienso *Boswellia sacra* Flück (Burseraceae) (Ahmed Al-Harrasi, 2012; Hasson *et al.*, 2011). También, los valores de heterocigosidad esperada fueron mayores para lináloe que los valores estimados de esta variable con diferentes marcadores moleculares para otras especies. En cualquier especie, el máximo valor de heterocigosidad esperada es 0.5 cuando cada gen tiene solo dos alelos como es el caso de los marcadores dominantes (ISRR) (Hart y Clark, 2007). Aunque, la comparación de estimadores utilizando diferentes marcadores moleculares puede ser no apropiada porque diferentes marcadores son informativos de diferentes secciones del genoma de una especie (Henry, 2012). Por ejemplo, el valor de heterocigosidad esperada para lináloe en el presente estudio fue mayor que los valores ( $H_e = 0.197$ ,  $0.175$  y  $0.072$ ) de heterocigosidad esperada obtenidos con microsatélites (SSR, simple sequence repeat) del cloroplasto para *B. bipinnata* (Moc. & Sessé ex DC.) Engl., *B. cuneata* (Schltdl.) Engl. y *B. palmeri* S. Watson, respectivamente (Quintero-Melecio *et al.*, 2021). El genoma del cloroplasto es extremadamente pequeño comparado con el genoma nuclear de una planta (Daniell & Chase, 2004; Karp, 2011). También, el valor de heterocigosidad para *B. linanoe* fue mayor en el presente estudio que los valores ( $H_e = 0.136$  y  $0.250$ ) estimados con microsatélites (SSR) que se reportó para *Boswellia sacra* y *Bursera simaruba* (L.) Sarg. (Bocanegra-González *et al.*, 2019; Coppi, Cecchi, Selvi, & Raffaelli,

2010), respectivamente. Esta última fue evaluada en poblaciones que crecen en Colombia (Bocanegra-González *et al.*, 2019). Los microsatélites (SSR) son marcadores moleculares codominantes por lo que se esperaría encontrar una mayor diversidad que con el uso de los marcadores ISSR los cuales son dominantes (Idrees & Irshad, 2014; Kundan, Vinita, Yachana, & Madhumati, 2014). El valor de heterocigosidad para *B. linanoe* fue similar a los valores ( $H_e = 0.375$  y  $0.35$ ) de este estimador de diversidad genética que se encontraron con marcadores moleculares ISSR para *Santiria trimera* (Oliv.) Aubrév. (Koffi *et al.*, 2012) y *Dacryodes buettneri* (Engl.) H.J.Lam (Benoit *et al.*, 2011). Sin embargo, el valor de heterocigosidad esperada para *Bursera linanoe* fue menor que los valores ( $H_e = 0.46, 0.52, 0.67$  y  $0.789$ ) que se hallaron con microsatélites ISSR para *Aucoumea klaineana* Pierre (Born *et al.*, 2006), *Protium serratum* (Wall. ex Colebr.) Engl. (Misiewicz & Fine, 2014) y *Boswellia serrata* Roxb. ex Colebr. (Maradani, Gudasalamani, Setty, & Chandrasekaran, 2018). La diversidad genética es alta para *Bursera linanoe* con base en los estimadores de diversidad con microsatélites (ISSR).

La mayor diversidad genética de *Bursera linanoe* en la subprovincia Balsasana se puede deber a un número mayor de poblaciones de esta especie que no fueron incluidas en el estudio (Mariles-Flores *et al.*, 2009). También, el número de árboles  $ha^{-1}$  (317) es mayor en las poblaciones de esta especie en la subprovincia Balsasana por lo que el tamaño efectivo de la población es mayor y como consecuencia la probabilidad de apareamiento entre individuos diferentes es mayor fomentando un mayor polimorfismo (White *et al.*, 2007).

La diversidad genética de *Bursera linanoe* fue ligeramente mayor en el rango altitudinal mayor a los 900 m en ambas subprovincias como indicaron los estimadores de diversidad genética con excepción del porcentaje de loci polimórficos, quizás la selección es favorable a los individuos heterocigóticos y con esto se mantienen niveles altos de diversidad genética (Hart y Clark, 2007).

### **3.6.2 Estructura genética**

La diferenciación entre árboles de *Bursera linanoe* fue moderada entre ambas subprovincias con base en el coeficiente de diferenciación. Hart y Clark (2007)



establecen que valores del coeficiente de diferenciación entre 0.05 y 0.15 indican una diferenciación moderada entre poblaciones. Esta diferenciación moderada puede ser producto del flujo genético alto entre ambas subprovincias. Un migrante por cada dos generaciones es suficiente para evitar la diferenciación por efecto de deriva genética (Dunphy & Hamrick, 2007). El análisis de varianza molecular confirmó una diferenciación moderada con un porcentaje bajo de la varianza genética entre subprovincias. Ambas regiones formaron parte del sistema tributario del Balsas pero se separaron en el periodo geológico Mioceno (Alaniz-Álvarez & Nieto-Samaniego, 2005; de-Nova et al., 2012). Aun cuando esta separación se dio hace 5 millones de años (Toledo & Bozada, 2002), la diferenciación moderada entre subprovincias se puede deber, también, a un tamaño efectivo alto de la población de lináloe con alta diversidad genética evitando la endogamia y diferenciación por efecto de la deriva genética (Hartl & Clark, 2007). También, los valores de  $F_{ST}$  indicaron diferenciación moderada entre las cuatro poblaciones de *B. linanoe* en las subprovincias. La mayor diferenciación entre el intervalo menor a 900 m de la subprovincia Balsasana y el intervalo mayor a 900 m de Cañadiana se puede deber a la distancia mayor entre ambas poblaciones por lo que el intercambio de migrantes es limitado. Otra causa son las barreras orográficas y el sistemas de topofomas, mientras que la población en el rango altitudinal menor a 900 m se encuentra en un valle ramificado con lomeríos, la población en el rango altitudinal mayor a 900 m se localiza en un sistema de sierra alta compleja (INEGI, 2001), lo que evita el flujo génico entre las dos poblaciones. Sin embargo, el flujo génico entre poblaciones es suficiente para evitar la diferenciación debido a que un migrante cada dos generaciones es suficiente para contrarrestar el efecto de deriva genética (Hartl y Clark, 2007). Los valores del número de migrantes en lináloe fueron menores que los valores ( $Nm= 3.57$  y  $2.88$ ) que se reportaron para *Bursera simaruba* (Dunphy & Hamrick, 2007) y *Dacryodes buettneri* (Engl.) H.J.Lam (Todou, Benoit, Achoundong, & Akoa, 2013). Información sobre diferenciación genética de las poblaciones de *B. linanoe* es nula en la literatura. Sin embargo, se reportan valores muy altos (*B. bipinnata* vs *B. cuneata*  $F_{ST}=0.47$ , *B. bipinnata* vs *B. palmeri*  $F_{ST}= 0.52$ ) al comparar especies del género *Bursera* en estudios con ADN de cloroplasto (Arnold, 1992). El valor de  $F_{ST}$  que se encontró en *Bursera linanoe* fue menor que el valor ( $F_{ST}= 0.08$ ) que se reportó para *Dacryodes buettneri* con

microsatélites SSR, sin embargo, los valores entre poblaciones de *Bursera linanoe* fueron mayores en la presente investigación.

Una diferenciación moderada se registró entre poblaciones de *Bursera linanoe* con el AMOVA, sin embargo, se encontró un alto valor de la diversidad genética entre poblaciones en los rangos altitudinales. En la especie *Protium serratum* los componentes del análisis de varianza molecular mostraron porcentajes de 66.91 %, 25.74 % y 7.34 % dentro de poblaciones, entre tipos de suelo y entre poblaciones dentro de los tipos de suelo (Misiewicz & Fine, 2014)

Las distancia genéticas entre poblaciones fueron bajas entre las poblaciones estudiadas. La distancia de Nei entre poblaciones de *Bursera graveolens* (Kunth) Triana & Planch. y *B. malacophylla* B. L. Rob. fue de 0.137, en cada especie de 0.0347 y en los híbridos de 0.26 usando marcadores AFLP (Weeks & Tye, 2009).

Existe una afinidad entre las poblaciones de la subprovincia Balsasana entre ambos intervalos. También entre el intervalo menor a 900 m en Balsasana y mayor a 900 m en Cañadiana. la diversidad genética encontrada puede ser consecuencia de la mezcla de individuos entre intervalos y subprovincias bióticas puede indicar que existe flujo genético entre las poblaciones (Dunphy & Hamrick, 2007).

Entre las distancias genéticas y las geográficas se ha documentado que existe una relación positiva que se desarrolla a través del tiempo. Sin embargo, en distancias cortas no se sigue dicho comportamiento, solo en escalas mayores (Rousset, 1997). Tal como se ha documentado en *Bursera simaruba* en poblaciones separadas por distancias de 25 a 30 km en donde la diferenciación fue mínima (Dunphy & Hamrick, 2007).

La estructura genética que se encontró en *Bursera linanoe* puede ser resultado de la polinización cruzada y el movimiento de polen a grandes distancias en la que participan algunas especies de himenópteras que reducen la diferenciación genética entre los sitios (Jiménez-Quñones, 2021; Rivas-Arancibia *et al.*, 2015). La moderada a alta diferenciación genética ha sido documentada en algunas especies tropicales como *Astrocaryum mexicanum* Liebm. ex Mart., *Platymiscium pinnatum* (Jacq.) Dugand y

*Simarouba glauca* DC (Bocanegra-González *et al.*, 2019; Eguiarte, Perez-Nasser, & Piñero, 1992; Kumar & Agrawal, 2017).

### **3.7 CONCLUSIONES**

*Bursera linanoe* presentó una diversidad genética alta. La subprovincia Balsasana presentó mayores valores de diversidad. En ambas subprovincias la mayor diversidad genética se encontró en la altitud mayor a 900 m, la menor diversidad se presentó en la altitud menor a 900 m en la subprovincia Cañadiana. La diferenciación entre subprovincias fue baja mientras que esta fue alta entre poblaciones en los rangos altitudinales.

## CONCLUSIONES GENERALES

La diversidad arbórea en las comunidades donde se desarrolla *Bursera linanoe* fue mayor en la subprovincia Cañadiana. Mayor diversidad de especies se encuentra en el intervalo mayor a 900 m en la subprovincia Balsasana y en el intervalo menor a 900 m en la subprovincia Cañadiana. Los valores de características estructurales son mayores en la subprovincia Balsasana. La densidad y cobertura de copa es mayor en las comunidades localizadas en altitudes menores a 900 m. El área basal es mayor en el intervalo menor a 900 m en la subprovincia Balsasana. La altura fue mayor en el intervalo menor a 900 m en la subprovincia Cañadiana. Los índices de valor forestal y valor de importancia son mayores para las especies *Bursera linanoe* y *Amphipterygium adstringens* en ambos intervalos altitudinales en la subprovincia Balsasana y en el intervalo mayor a 900 m en la subprovincia Cañadiana. Estos valores son mayores para *Bursera linanoe* y *Pachycereus weberi* en el intervalo menor a 900 m en la subprovincia Cañadiana.

A nivel de especie al comparar las poblaciones de lináloe, los mayores valores en variables estructurales se presentan en la subprovincia Balsasana y en el intervalo altitudinal menor a los 900 m donde la precipitación es mayor. La subprovincia Cañadiana presenta menor densidad de individuos, esta subprovincia presenta condiciones de aridez y de mayor pedregosidad. El patrón de distribución espacial agregado es el de mayor frecuencia en las poblaciones de las subprovincias e intervalos altitudinales.

A nivel genético el linanoe presenta una diversidad genética alta. Se encontró una mayor diversidad en las poblaciones de esta especie en la subprovincia biótica Balsasana. La mayor diversidad genética se encuentra en la población de la altitud mayor a 900 m, la menor diversidad genética está en la población de la altitud menor a los 900 m en la subprovincia Cañadiana. La diferenciación entre subprovincias fue baja mientras que esta fue alta entre poblaciones en los rangos altitudinales.

## LITERATURA CITADA

- Ahuja, M. R., & Mohan Jain, S. (2015). *Genetic Diversity and Erosion in Plants: Indicators and Prevention* (Vol. 1). Suiza: Springer.
- Ahmed Al-Harrasi. (2012). Proximate analysis of the resins and leaves of *Boswellia sacra*. *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(16), 3098–3104. <https://doi.org/10.5897/jmpr11.1264>
- Alaniz-Álvarez, S. A., & Nieto-Samaniego, Á. F. (2005). El sistema de fallas Taxco-San Miguel de Allende y la Faja Volcánica Transmexicana, dos fronteras tectónicas del centro de México activas durante el Cenozoico. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, 57(1), 65–82. <https://doi.org/10.18268/bsgm2005v57n1a4>
- Alanís-Rodríguez, E., Aranda-Ramos, R., Mata-Balderas, J. M., Canizales Velázquez, P. A., Jiménez Pérez, J., Uvalle Saucedo, J. I., Valdecantos Delma, A. y Ruiz Bautista, M. G. 2010. Riqueza y diversidad de especies leñosas del bosque tropical caducifolio en San Luis Potosí, México. *Ciencia UANL*, 13(3), 287-294.
- Almazán-Núñez, R. C., Arizmendi, M. D. C., Eguiarte, L. E., y Corcuera, P. (2012). Cambios en la composición, diversidad y estructura de plantas leñosas en estados sucesionales de bosque tropical seco en el suroeste de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83(4), 1096-1109.
- Ángeles-García, A. Y., Suárez-Torres, J. J., Carrillo-Reyes, P., Peña-Joya, K. E., & Quijas, S. 2022. Diversidad de plantas leñosas en el bosque tropical caducifolio y subcaducifolio de Sierra de Vallejo, Nayarit, México. *Botanical Sciences*, 100(1), 2-27.
- Andrés-Hernández, A. R., y Espinosa-Organista, D. 2002. Morfología de plántulas de *Bursera Jacq. ex L.* (Burseraceae) y sus implicaciones filogenéticas. *Botanical Sciences*, (70), 5-12.
- Ansari, S. A., Narayanan, C., Wall, S. A., Kumar, R., Shukla, N., & Rahangdale, S. K. (2012). ISSR markers for analysis of molecular diversity and genetic structure of Indian teak (*Tectona grandis* L.f.) populations. *Annals of Forest Research*, 55(1), 11–23.
- Arias-Montes, S. 1993. Cactáceas: Conservación y diversidad en México. 109–115. *In: Gío-Argáez, R. y López-Ochoterena, E (Eds.). Diversidad biológica en México. Sociedad Mexicana de Historia Natural.* Ciudad de México, México.
- Arif, I. A., & Khan, H. A. (2009). Molecular markers for biodiversity analysis of wildlife animals: a brief review. *Animal Biodiversity and Conservation*, 32(1), 9–17. <https://doi.org/10.32800/abc.2009.32.0009>
- Avendaño-Guevara, E. G. 2020. Lista florística de la localidad de San Francisco Tutepetongo, Cuicatlán, Oaxaca. Tesis de licenciatura. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. 76 p.

- Ávila-Sánchez, P., Sánchez-González, A., Catalán-Heverástico, C., Almazán-Núñez, R. C., y Jiménez-Hernández, J. 2018. Patrones de riqueza y diversidad de especies vegetales en un gradiente altitudinal en Guerrero, México. *Polibotánica*, (45), 101-113.
- Azócar, A., F. Rada, y C. García-Núñez. 1999. Aspectos ecofisiológicos para la conservación de ecosistemas tropicales contrastantes. *Bot. Sci.* 65: 89–94. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.1599>
- Balvanera, P., Lott, E., Segura, G., Siebe, C., & Islas, A. 2002. Patterns of  $\beta$ -diversity in a Mexican tropical dry forest. *Journal of vegetation science*, 13(2), 145-158.
- Banda, K., Delgado-Salinas, A., Dexter, K. G., Linares-Palomino, R., Oliveira-Filho, A., Prado, D., & Pennington, R. T. 2016. Plant diversity patterns in neotropical dry forests and their conservation implications. *Science*, 353(6306), 1383-1387.
- Basáñez, A.J., J.L. Alanís, y E. Badillo. 2008. Composición florística y estructura arbórea de la selva mediana subperennifolia del ejido “El Remolino”, Papantla, Veracruz. *AIA* 12: 3–22.
- Basil, J. G. A. (2007). Diversidad genética en poblaciones de *Swietenia macrophylla* King (Meliaceae) en Costa Rica y Bolivia (CATIE). Retrieved from <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A1313e/A1313e.pdf%5Cnhttp://orton.catie.ac.cr/cgi-bin/wxis.exe/?IscScript=ORTON.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=082321>
- Becerril, G. G., y Nava, R. F. 2002. Inventario florístico del municipio de Amacuzac, Morelos, México. *Polibotánica*, (13), 107-135.
- Benoit, L., Born, C., Vignes, H., Chevallier, M. H., Todou, G., Debain, C., & Joly, H. I. (2011). Polymorphic microsatellite loci from *Dacryodes edulis* (Burseraceae), a central African rainforest and fruit - tree species. *American Journal of Botany*, 98(4), 74–75. <https://doi.org/10.3732/ajb.1000463>
- Blyton, M. D. J., & Flanagan, N. S. (2012). *A comprehensive guide to: GenAIEx genetic analysis in Excel* (p. NP). p. NP. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24711626>
- Beltrán-Rodríguez, L., Valdez-Hernández, J. I., Luna-Cavazos, M., Romero-Manzanares, A., Pineda-Herrera, E., Maldonado-Almanza, B., Borja-de la Rosa, Ma. y Blancas-Vázquez, J. 2018. Estructura y diversidad arbórea de bosques tropicales caducifolios secundarios en la Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla, Morelos. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89(1), 108-122.
- Besag J. 1977. Contribution to the discussion on Dr Ripley’s paper. *Journal of the Royal Society B (Methodological)* 39: 193–195.
- Bocanegra-González, K. T., Thomas, E., Guillemín, M.-L., Alcázar Caicedo, C., Moscoso Higuita, L. G., Gonzalez, M. A., & De Carvalho, D. (2019). Diversidad y estructura

- genética de cuatro especies arbóreas clave del Bosque Seco Tropical en Colombia. *Caldasia*, 41(1), 78–91. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v41n1.71327>
- Boer, M., and J. Puigdefábregas. 2005. Effects of spatially structured vegetation patterns on hillslope erosion in a semiarid Mediterranean environment: A simulation study. *Earth Surf. Process. and Landf.* 30: 149–167. DOI: <https://doi.org/10.1002/esp.1180>
- Bongers, F., J. Popma, J. Meave, and J. Carabias. 1988. Structure and floristic composition of the lowland rain forest of Los Tuxtlas, Mexico. *Vegetatio* 74: 55–80. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00045614>
- Born, C., Vignes, H., Muloko, N., Wickings, E. J., Hossaert-Mckey, M., & Chevallier, M. H. (2006). Isolation and characterization of polymorphic microsatellite loci from *Aucoumea klaineana* Pierre (Burseraceae), a tropical rainforest tree of Central Africa. *Molecular Ecology Notes*, 6(4), 1054–1056. <https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2006.01431.x>
- Bozchaloyi, S., Sheidai, M., Keshavarzi, M., Noormohammadi, Z., Hassanzadeh, M., & Ghasemzadeh Baraki, S. (2017). Analysis of genetic diversity in *Geranium robertianum* by ISSR markers. *Phytologia Balcanica: International Journal of Balkan Flora and Vegetation*, 23(2), 157–166.
- Bullock, S. H., Mooney, H. A., & Medina, E. (Eds.). 1995. Seasonally dry tropical forests. Cambridge University Press. 450 p.
- Burnham, R. J., & Carranco, N. L. 2004. Miocene winged fruits of *Loxopterygium* (Anacardiaceae) from the Ecuadorian Andes. *American Journal of Botany*, 91(11), 1767-1773.
- Bozchaloyi, S., Sheidai, M., Keshavarzi, M., Noormohammadi, Z., Hassanzadeh, M., & Ghasemzadeh Baraki, S. (2017). Analysis of genetic diversity in *Geranium robertianum* by ISSR markers. *Phytologia Balcanica: International Journal of Balkan Flora and Vegetation*, 23(2), 157–166.
- Caliskan, Mahmut. (2012). *Genetic diversity in plants*. Retrieved from [www.intechopen.com](http://www.intechopen.com)
- Calvo-Rodríguez, S., Calvo-Alvarado, J. C., Espirito-Santo, M., & Nunes, Y. R. 2017. Changes in forest structure and composition in a successional tropical dry forest. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 14(35), 12-23.
- Casas, A., Valiente-Banuet, A., Viveros, J. L., Caballero, J., Cortés, L., Dávila, P., Lira R. & Rodríguez, I. 2001. Plant resources of the Tehuacán-Cuicatlán valley, México. *Economic Botany*, 55(1), 129-166.
- Ceballos, G., Martínez, L., García, A., Espinoza, E., Bezaury-Creel, J., y Dirzo, R. 2010. Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México. Fondo de Cultura Económica y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México DF, México. 594 p.

- Ceccon, E., Huante, P., & Rincón, E. 2006. Abiotic factors influencing tropical dry forests regeneration. *Brazilian archives of Biology and Technology*, 49(2), 305-312.
- Chevin, L. M., Lande, R., & Mace, G. M. (2010). Adaptation, plasticity, and extinction in a changing environment: Towards a predictive theory. *PLoS Biology*, 8(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1000357>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2022. SMN: Normales climatológicas por estación, recuperado el 20 de abril de 2022 <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado>
- Comisión Nacional de Áreas Protegidas (CONANP). 2013. Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán. SEMARNAT/CONANP. México, D.F. 329 p.
- Condit, R. 2000. Spatial patterns in the distribution of tropical tree species. *Science* 288: 1414–1418. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.288.5470.1414>
- Coppi, A., Cecchi, L., Selvi, F., & Raffaelli, M. (2010). The Frankincense tree (*Boswellia sacra*, Burseraceae) from Oman: ITS and ISSR analyses of genetic diversity and implications for conservation. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 57(7), 1041–1052. <https://doi.org/10.1007/s10722-010-9546-8>
- Corella J., F. C., Valdéz-Hernández, J. I., Alcalá-Cetina, V. M., González-Cossio, F. V., Trinidad-Santos, A., & Aguirre-Rivera, J. R. 2001. Estructura forestal de un bosque de mangles en el noreste del estado de Tabasco, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 26(90), 73-102.
- Cressie, N. 1993. Statistics for spatial data. John Wiley & Sons, New York.
- Cruz-Cruz, E., F. Mariles-Flores, M. Gómez-Cárdenas, F. Solares-Arenas, V. Serrano-Altamirano, M.A. Cano, y D. Ayerde-Lozada. 2009. Ecología y áreas potenciales de distribución del lináloe (*Bursera linanoe* (La Llave) Rzedowski, Calderón & Medina). D.F., México. INIFAP-Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. 45 p.
- Cruz-Cruz E., Mariles-Flores V., Solares-Arenas F., Gómez-Cárdenas M., Serrano-Altamirano V., Ayerde-Lozada D., Fuentes-López M. E., Castellanos-Bolaños J. F., Orozco-Cirilo S., Vargas-Álvarez D., y Borja-de la Rosa A. 2009. Adaptación ecológica y climática de linaloe (*Bursera linanoe* (La Llave) Rzedowski, Calderón & Medina). In: Fundamentos Técnicos para el Manejo de Poblaciones Naturales de Linaloe (*Bursera linanoe* (La Llave) Rzedowski, Calderón & Medina) en México. E. Cruz-Cruz., V. Mariles-Flores., Gómez-M. C. y Vargas-Ávendaño D. (comps.). Libro Técnico No. 14. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca, INIFAP. Santo Domingo Barrio Bajo, Etlá, Oaxaca. México. 1-31.
- Curtis, J. T., & McIntosh, R. P. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology*, 32(3), 476-496.
- Daniell, H., & Chase, C. (2004). *Molecular Biology and Biotechnology of Plant Organelles*



(H. Daniell & C. Chase, Eds.). <https://doi.org/10.1007/BF02668337>

- Dar, A. A., Mahajan, R., & Sharma, S. (2019). Molecular markers for characterization and conservation of plant genetic resources. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 89(11), 1755–1763.
- Da Silva, J. C. (2015). Biodiversity and plant breeding as tools for harmony between modern agriculture production and the environment. In M. Caliskan, G. Cevahir Oz, H. Kavakli, & B. Ozcan (Eds.), *Molecular approaches to genetic diversity* (pp. 5–44). Rijeka, Croacia: inTech.
- Dávila, P., Arizmendi, M. D. C., Valiente-Banuet, A., Villaseñor, J. L., Casas, A., & Lira, R. 2002. Biological diversity in the Tehuacán-Cuicatlán valley, Mexico. *Biodiversity & Conservation*, 11(3), 421-442.
- de Abreu Moreira, P., Brandão, M. M., de Araujo, N. H., de Oliveira, D. A., & Fernandes, G. W. (2015). Genetic diversity and structure of the tree *Enterolobium contortisiliquum* (Fabaceae) associated with remnants of a seasonally dry tropical forest. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 210, 40–46. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2014.10.005>
- Debouck, D. G. (2003). Managing Plant Genetic Diversity. In J. M. M. Engels, V. Ramanatha Rao, A. H. D. Brown, & M. T. Jackson (Eds.), *Crop Science* (Vol. 43). <https://doi.org/10.2135/cropsci2003.749a>
- de-Nova, J. A., Medina, R., Montero, J. C., Weeks, A., Rosell, J. A., Olson, M. E., ... Magallón, S. (2012). Insights into the historical construction of species-rich Mesoamerican seasonally dry tropical forests: The diversification of *Bursera* (Burseraceae, Sapindales). *New Phytologist*, 193(1), 276–287. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03909.x>
- Del-Río, M., F. Montes, I. Cañellas, y G. Montero. 2003. Revisión: índices de diversidad estructural en masas forestales. *Invest. Agrar. Sist. Recur. For.* 12: 159–176. DOI: <https://doi.org/10.5424/795>
- De-Nova V., J. A., Lara, P. C., Magdalena, M., Rodríguez, S., Martínez, J. F., y Olivo, A. M. 2018. Los bosques tropicales estacionales. In: Reyes-Hernández, H., De Nova-Vázquez J.A. y Durán-Fernández A. (coords.), Reserva de la Biosfera Sierra del Abra Tanchipa: biodiversidad y acciones para su conservación. Universidad Autónoma de San Luis Potosí/Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. San Luis Potosí, S.L.P., 59-77.
- De-Nova V., J. A., Medina, R., Montero, J. C., Weeks, A., Rosell, J. A., Olson, M. E., Eguiarte, L.E., & Magallón, S. 2012. Insights into the historical construction of species-rich Mesoamerican seasonally dry tropical forests: the diversification of *Bursera* (Burseraceae, Sapindales). *New Phytologist*, 193(1), 276-287.

- Dhar A., Ruprecht H., and Vacik H. 2008. Population viability risk management (PVRM) for in situ management of endangered tree species—A case study on a *Taxus baccata* L. population. *Forest Ecology and Management* 255: 2835-2845.
- Díaz-Gallegos, J. R., Castillo-Acosta, O., & García-Gil, G. 2014. Distribución espacial y estructura arbórea de la selva baja subperennifolia en un ejido de la Reserva De La Biosfera Calakmul, Campeche, México. *Ecosistemas Y Recursos Agropecuarios*, 18(35), 11-28.
- Doyle, J. J., & Doyle, J. L. (1987). A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. *Phytochemical Bulletin*, 19(1), 11–15.
- Dos-Anjos, L., C.D. Collins, R.D. Holt, G. H. Volpato, L.B. Mendonça, E.V. Lopes, R. Bocon, M.V. Bisheimer, P.P. Serafini, and J. Carvalho. 2011. Bird species abundance–occupancy patterns and sensitivity to forest fragmentation: implications for conservation in the Brazilian Atlantic forest. *Biol. Conserv.* 144: 2213-2222.
- Dunphy, B. K., & Hamrick, J. L. (2007). Estimation of gene flow into fragmented populations of *Bursera simaruba* (Burseraceae) in the dry-forest life zone of Puerto Rico. *American Journal of Botany*, 94(11), 1786–1794. <https://doi.org/10.3732/ajb.94.11.1786>
- Dzib-Castillo, B., Chanatásig-Vaca, C., y González-Valdivia, N. A. 2014. Estructura y composición en dos comunidades arbóreas de la selva baja caducifolia y mediana subcaducifolia en Campeche, México. *Revista mexicana de Biodiversidad*, 85(1), 167-178.
- Eguiarte, L. E., Perez-Nasser, N., & Piñero, D. (1992). Genetic structure, outcrossing rate and heterosis in *Astrocaryum mexicanum* (tropical palm): Implications for evolution and conservation. *Heredity*, 69(3), 217–228. <https://doi.org/10.1038/hdy.1992.119>
- Ettema, C. H., and D.A. Wardle. 2002. Spatial soil ecology. *Trends in ecology & evolution* 17: 177-183.
- Evanno, G., Regnaut, S., & Goudet, J. (2005). Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: A simulation study. *Molecular Ecology*, 14(8), 2611–2620. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2005.02553.x>
- Fahey, R.T., and K. J. Puettmann. 2007. Ground-layer disturbance and initial conditions influence gap partitioning of understory vegetation. *J. of Ecology* 95: 1098–1109. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2007.01283.x>
- Ferrusquía-Villafranca, I. 1990. Regionalización biogeográfica. Mapa IV. 8.10. Atlas nacional de México, 3.
- Figueroa-Esquivel, E., E. Puebla-Olivares, F. Godínez-Álvarez, and J. Núñez-Farfán. 2009. Seed dispersal effectiveness by understory birds on *Dendropanax arboreus* in a fragmented landscape. *Biodivers.* 18: 3357–3365. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10531-009-9645-z>

- Flemons, P., Guralnick, R., Krieger, J., Ranipeta, A., & Neufeld, D. 2007. A web-based GIS tool for exploring the world's biodiversity: The Global Biodiversity Information Facility Mapping and Analysis Portal Application (GBIF-MAPA). *Ecological Informatics*, 2(1), 49-60.
- Fortin, M.J., and M. Dale. 2005. *Spatial Analysis: A guide to ecologists*. New York, USA. Cambridge University Press.
- Frankham, R. (2005). Genetics and extinction. *Biological Conservation*, 126(2), 131–140. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.05.002>
- Funabashi, M. (2019). Augmentation of plant genetic diversity in synecoculture: theory and practice in temperate and tropical zones. In D. Nandwani (Ed.), *Genetic Diversity in Horticultural Plants* (p. 297). Retrieved from <https://books.google.com/cu/books?id=b423DwAAQBAJ>
- Gadow, K.V., S. Sánchez-Orios, y J. G. Álvarez-González. 2007. Estructura y crecimiento del bosque. Göttingen, Alemania. Universidad de Göttingen. 287 p.
- Gallardo-Cruz, J. A., Meave, J. A., & Pérez-García, E. A. 2005. Estructura, composición y diversidad de la selva baja caducifolia del Cerro Verde, Nizanda (Oaxaca), México. *Botanical Sciences*, (76), 19-35.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. D.F., México. Instituto de Geografía-UNAM. 90 p.
- García-Núñez, C., y A. Azócar. 2004. Ecología de la regeneración de árboles de la sabana. *Ecotropicos* 17: 1–24.
- García-Romero, A., Mendoza Robles, K. I., y Galicia Sarmiento, L. 2005. Valoración del paisaje de la selva baja caducifolia en la cuenca baja del río Papagayo (Guerrero), México. *Investigaciones Geográficas*, (56), 77-100.
- Gentry, A.H. 1995. Diversity and floristic composition of Neotropical dry forests. *In: Seasonally dry forests*. S.H. Bullock, H.A. Mooney y E. Medina (eds.). Cambridge University Press, Nueva York. 146-194.
- Gentry, A. H. 1988. Changes in plant community diversity and floristic composition on environmental and geographical gradients. *Annals of the Missouri botanical garden*, 75(1), 1-34.
- Gillman, M. 2009. *An introduction to mathematical models in ecology and evolution: time and space* (Vol. 4). John Wiley & Sons.
- Golay, J., and M. Kanevski. 2015. A new estimator of intrinsic dimension based on the multipoint Morisita index. *Pattern Recognit. Lett.* 48: 4070–4081. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2015.06.010>

- Griffith, D.A., and P.R. Peres-Neto. 2006. Spatial modeling in ecology: the flexibility of eigen function spatial analyses. *Ecology* 87: 2603-2613. DOI: [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2006\)87\[2603:SMIETF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2006)87[2603:SMIETF]2.0.CO;2)
- Guevara, F., y J. Rzedowski. 1980. Notas sobre el género *Bursera* (Burseraceae) en Michoacán (México). I. Tres especies nuevas de los alrededores de la presa del infiernillo, con algunos datos relativos a la región. *Bot. Sci.* 39: 63-81. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.1175>
- Guzmán-Pozos, A.M., C. Ramírez-Herrera, A. Aldrete, y E. Cruz-Cruz. 2018. Germinación y emergencia de *Bursera linanoe* (La Llave) Rzedowski, Calderón & Medina. *Rev. Fitotec.* 41: 107–115. DOI: <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.2.107-115>
- Hall P., and Bawa K. 1993. Non-Timber Tropical Forest Products on Plant Populations. *Econ. Bot.* 47: 234–247. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02862289>
- Hamon, P., Seguin, M., Perrier, X., & Glaszmann, J. C. (2003). Genetic diversity of cultivated tropical plants. In *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*. Florida, USA: CRC Press, LLC.
- Hanski, I. (2011). Habitat loss, the dynamics of biodiversity, and a perspective on conservation. *Ambio*, 40(3), 248–255. <https://doi.org/10.1007/s13280-011-0147-3>
- Harms, K.E., S.J. Wright, O. Calderón, A. Hernández, and E.A. Herre. 2000. Pervasive density-dependent recruitment enhances seedling diversity in a tropical forest. *Nature* 404: 493–495.
- Harper, J. L. 1977. Population biology of plants. Population biology of plants. Academic press.
- Hartl, D. L., & Clark, A. G. (2007). *Principles of Population Genetics* (4 th). Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates Inc.
- Hasson, S. S., Al-Balushi, M. S., Sallam, T. A., Idris, M. A., Habbal, O., & Al-Jabri, A. A. (2011). In vitro antibacterial activity of three medicinal plants-Boswellia (Luban) species. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 1(SUPPL. 2), S178–S182. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(11\)60151-2](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(11)60151-2)
- Henry, R. J. (2012). Molecular Markers in Plants. In *Molecular Markers in Plants*. <https://doi.org/10.1002/9781118473023>
- Hersch, P., R. Glass y A. Fierro-Álvarez. 2004. El linaloe [*Bursera aloexylon* (Schiede) Engl.]: Una madera aromática entre la tradición y la presión económica. In: Alexiades, M. N., & Shanley, P. (Eds.). Productos forestales, medios de subsistencia y conservación: Estudios de caso sobre sistemas de manejo de productos forestales no maderables. Center for International Forestry Research. Bogor, Indonesia. 499 p.

- Hernández-Ramírez, A. M., y García-Méndez, S. 2015. Diversidad, estructura y regeneración de la selva tropical estacionalmente seca de la Península de Yucatán, México. *Revista de Biología Tropical*, 63(3), 603-616.
- Hernández-Stefanoni, J. L., Dupuy, J. M., Tun-Dzul, F., & May-Pat, F. 2011. Influence of landscape structure and stand age on species density and biomass of a tropical dry forest across spatial scales. *Landscape Ecology*, 26(3), 355-370.
- Hui, G., Y. Wang, G. Zhang, Z. Zhao, C. Bai, and W. Liu. 2018. A novel approach for assessing the neighborhood competition in two different aged forests. *For. Ecol.* 422:49–58.
- Ibarra, O., y L. López-Mata. 2002. Estructura, composición, riqueza y diversidad de árboles en tres muestras de selva mediana subperennifolia. *Anales Inst. Biol. Univ. Nac. México* 73: 283–314.
- Idrees, M., & Irshad, M. (2014). Molecular Markers in plants for analysis of genetic diversity: A review. *European Academic Research*, 2(1), 1513–1540.
- INEGI. (2001). Conjunto de datos vectoriales Fisiográficos. Retrieved from Continuo Nacional serie I website: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267575>
- INEGI. (2003). Conjunto de datos vectoriales de la carta de vegetación primaria 1 : 1 000 000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes.
- Janík, D., K. Král, D. Adam, L. Hort, P. Samonil, P. Unar, T. Vrska, and S. McMahon. 2016. Tree spatial patterns of *Fagus sylvatica* expansion over 37 years. *For. Ecol.* 375: 134-145.
- Jaramillo-Luque, V., & González-Medrano, F. 1983. Análisis de la vegetación arbórea en la provincia florística de Tehuacán-Cuicatlán. *Botanical Sciences*, (45), 49-64.
- Jia, G., X. Yu, D. Fan, and J. Jia. 2016. Mechanism underlying the spatial pattern formation of dominant tree species in a natural secondary forest. *PLOS One* 11: e0152596.
- Jiménez-Quiñones, M. (2021). *Visitadores florales asociados a flores masculinas y femeninas de Bursera linanoe en la UMA Rancho El Salado en Jolalpan, Puebla*. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Jost, L., y González-Oreja, J. 2012. Midiendo la diversidad biológica: más allá del índice de Shannon. *Acta Zoológica Lilloana*, 56 (1-2), 3-14.
- Jost, L. 2007. Partitioning diversity into independent alpha and beta components. *Ecology*, 88(10), 2427-2439.
- Kanegae, M.F., V.D.S. Braz, e A.C. Franco. 2000. Efeitos da seca sazonal e disponibilidade de luz na sobrevivência e crescimento de *Bowdichia virgilioides* em

- duas fitofisionomias típicas dos cerrados do Brasil Central. *Rev. Bras. Bot.* 23: 459–468. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-84042000000400012>
- Karp, G. (2011). *Biología Celular y molecular* (6ta ed.). <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Kint, V., M. Van Meirvenne, L. Nachtergale, G. Geudens, and N. Lust. 2003. Spatial methods for quantifying forest stand structure development: a comparison between nearest-neighbor indices and variogram analysis. *For. Sci.* 49: 36-49.
- Koffi, K. G., Heuertz, M., Jans, R., Hardy, O. J., Vendramin, G. G., & Duminil, J. (2012). Characterization of new microsatellite loci isolated from *Santiria trimera* (Burseraceae). *American Journal of Botany*, 99(8), e334–e336. <https://doi.org/10.3732/ajb.1200041>
- Kumar, J., & Agrawal, V. (2017). Analysis of genetic diversity and population genetic structure in *Simarouba glauca* DC. (an important bio-energy crop) employing ISSR and SRAP markers. *Industrial Crops and Products*, 100(2017), 198–207. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.02.035>
- Kundan, M. K., Vinita, T., Yachana, J., & Madhumati, B. (2014). Potential and application of molecular markers techniques for plant genome analysis *International Journal of Pure & Applied Bioscience. Int. J. Pure App. Biosci*, 2(1), 169–188. Retrieved from [www.ijpab.com](http://www.ijpab.com)
- Lamb D., Erskine P.D., & Parrotta J.A. 2005. Restoration of degraded tropical forest landscapes. *Science*, 310: 1628–1632
- Ledo, A., S. Condés, y F. Montes. 2012. Revisión de índices de distribución espacial usados en inventarios forestales y su aplicación en bosques tropicales. *Rev. Peru. Biol.* 19: 113-124.
- Leirana-Alcocer, J. L., Hernández-Betancourt, S., Salinas-Peba, L., & Guerrero-González, L. 2009. Cambios en la estructura y composición de la vegetación relacionados con los años de abandono de tierras agropecuarias en la selva baja caducifolia espinosa de la reserva de Dzilam, Yucatán. *Polibotánica*, (27), 53-70.
- Letcher, S.G., R.L. Chazdon, A.C. Andrade, F. Bongers, M. Van Breugel, B. Finegan, S.G. Laurance, R.C.G. Mesquita, M. Martínez-Ramos, and G.B. Williamson. 2012. Phylogenetic community structure during succession: evidence from three Neotropical forest sites. *Perspect. Plant Ecol. Evol. Syst.* 14: 79-87.
- Li, Y., G. Hui, Z. Zhao, Y. Hu, and S. Ye. 2014. Spatial structural characteristics of three hardwood species in Korean pine broad-leaved forest—Validating the bivariate distribution of structural parameters from the point of tree population. *For. Ecol.* 314: 17-25.

- Lieberman, D., M. Lieberman, R. Peralta, and G.S. Hartshorn. 1996. Tropical Forest Structure and Composition on a Large-Scale Altitudinal Gradient in Costa Rica. *J. of Ecology* 84: 137-152. DOI: <https://doi.org/10.2307/2261350>
- Linares, R. 2005. Spatial distribution patterns of trees in a seasonally dry forest in the Cerros de Amotape National Park, northwestern Peru. *Rev. Peru. Biol.* 12: 317–326.
- López-Toledo, J. F., Valdez-Hernández, J. I., Pérez-Farrera, M. Á., y Cetina-Alcalá, V. M. 2012. Composición y estructura arbórea de un bosque tropical estacionalmente seco en la Reserva de la Biósfera la Sepultura, Chiapas. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 3(12), 43-56.
- Lu, P. L., Yorkson, M., & Morden, C. W. (2016). Population genetics of the endemic hawaiian species *Chrysodracon hawaiiensis* and *Chrysodracon auwahiensis* (Asparagaceae): Insights from RAPD and ISSR variation. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(8). <https://doi.org/10.3390/ijms17081341>
- Luna-Ortiz, P. A. (2018). *Diversidad genética de Yucca capensis (Asparagaceae), planta endémica de la Sierra de la Laguna*. CICESE.
- Luna, J.J., G. Rodríguez, J.R. Enríquez, J. Ruíz, J.A. García, y G.V. Campos. 2018. Frutos y semillas de *Bursera simplex* Rzed. & Calderón en diferentes sitios y estructura arbórea. *Rev. Mex. Ciencias For.* 9: 92–114. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i48.188>
- Magurran, A. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press. New Jersey. 179 p.
- Malizia, L.R., C. Blundo, y S. Pacheco. 2006. Diversidad, estructura y distribución de bosques con cedro en el noroeste de Argentina y sur de Bolivia. Ecología y producción de cedro (género *Cedrela*) en las Yungas australes: 83-104.
- Manzo-Sánchez, G., Buenrostro-Nava, M. T., Guzmán-González, S., Orozco-Santos, M., Youssef, M., & Medrano, R. (2015). Genetic diversity in bananas and plantains (*Musa* spp.). In M Caliskan, G. Cevahir Oz, I. H. Kavali, & B. Ozcan (Eds.), *Molecular approaches to genetic diversity* (pp. 93–121). London: IntechOpen.
- Maradani, B. S., Gudasalamani, R., Setty, S., & Chandrasekaran, R. (2018). Development of microsatellite markers for the resin-yielding, non-timber forest product species *Boswellia serrata* (Burseraceae). *Applications in Plant Sciences*, 6(9), 4–7. <https://doi.org/10.1002/aps3.1180>
- Margalef, R. 1972. Homage to E. Hutchison, or why is there an upper limit to diversity. *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences* 44: 211-235.
- Mariles-Flores, V., Cruz-Cruz, E., Serrano-Altamirano, V., Cano-García, M. A., Gómez-Cárdenas, M., Orozco-Cirilo, S., ... Borja-de la Rosa, M. A. (2009). Distribución espacial de linaloe en los estados de Guerrero, Morelos, Puebla y Oaxaca. In E. Cruz-Cruz, V. Mariles-Flores, M. Gómez-Cárdenas, & D. Vargas-Álvarez (Eds.),

*Fundamentos técnicos para el manejo de poblaciones naturales de linaloe (Bursera linanoe (La Llave) Rzedowski, Calderón & Medina) en México* (pp. 32–74). Etna, México: INIFAP-Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca.

- Martínez-Bernal, A., Vasquez-Velasco, B., Ramírez-Arriaga, E., Zárate-Hernández, M. D. R., Martínez-Hernández, E., & Téllez-Valdés, O. 2021. Composition, structure and diversity of tree and shrub strata in a tropical deciduous forest at Tehuacán Valley, Mexico. *Revista mexicana de biodiversidad*, 92.
- Martínez-Cruz, J., Méndez-Toribio, M., Cortés-Flores, J., Coba-Pérez, P., Cornejo-Tenorio, G., & Ibarra-Manríquez, G. 2013. Estructura y diversidad de los bosques estacionales desaparecidos por la construcción de la presa Gral. Francisco J. Múgica, en la Depresión del Balsas, Michoacán, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 84(4), 1216-1234.
- Martínez-Ramos, M., y E. Álvarez-Buylla. 1995. Ecología de poblaciones de plantas en una selva húmeda de México. *Bot. Sci.*: 121–153.
- Maza-Villalobos, S., F. Macedo-Santana, J. Rodríguez-Velázquez, K. Oyama, y M. Martínez-Ramos. 2014. Variación de la estructura y composición de comunidades de árboles y arbustos entre tipos de vegetación en la Cuenca de Cuitzeo, Michoacán. *Bot. Sci.* 92: 243–258.
- Meave, J. A., Romero-Romero, M. A., Salas-Morales, S. H., Pérez-García, E. A., & Gallardo-Cruz, J. A. 2012. Diversidad, amenazas y oportunidades para la conservación del bosque tropical caducifolio en el estado de Oaxaca, México. *Ecosistemas*, 21(1-2).
- Melo Júnior, A. F., Carvalho, D., Brandão, M. M., Sousa, L. G., Vieira, F. de A., Menezes, E. V., ... Oliveira, D. A. (2015). Spatial genetic structure of *Cavanillesia arborea* K. Schum. (Malvaceae) in seasonally dry Tropical forest: Implications for conservation. *Biochemical Systematics and Ecology*, 58, 114–119. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2014.11.004>
- Mendoza, A. G., Lezama, P. T., y Santiago, J. R. 1994. El endemismo en la flora fanerogámica de la Mixteca Alta, Oaxaca-Puebla, México. *Acta Botanica Mexicana*, (27), 53-73.
- Mills, L. S. (2013). *Conservation of wildlife populations. Demography, genetics and management* (2nd ed.). West Sussex, UK: Wiley-Blackwell.
- Misiewicz, T. M., & Fine, P. V. A. (2014). Evidence for ecological divergence across a mosaic of soil types in an Amazonian tropical tree: *Protium subserratum* (Burseraceae). *Molecular Ecology*, 23(10), 2543–2558. <https://doi.org/10.1111/mec.12746>
- Montañez, V., R.A., Escudero V., C.Y., y M.A. Duque J. 2010. Patrones de distribución espacial de especies arbóreas en Bosques de Alta Montaña del Departamento de Antioquia, Colombia. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín* 63: 5629–5638.



- Morisita, M. 1959. Measuring of the dispersion of individuals and analysis of the distributional patterns. *Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ. Serie E* 2: 5–23.
- Morrone, J. J. 2005. Toward a synthesis of Mexican biogeography. *Revista mexicana de biodiversidad*, 76(2), 207-252.
- Morrone -Gómez, C., y Velázquez-Montes, E. 1999. El bosque tropical caducifolio de la vertiente sur de la Sierra de Nanchititla, Estado de México: la composición y la afinidad geográfica de su flora. *Acta Botanica Mexicana*, (46), 29-55.
- Nei, M. (1978). Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals. *Genetics*, 89(3), 583–590.
- Oosterhoorn, M., and M. Kappelle. 2000. Vegetation structure and composition along an interior-edge-exterior gradient in a Costa Rican montane cloud forest. *For. Ecol.* 126: 291–307. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00101-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00101-2)
- Pandey, A. N. & Singh, J. S. 1985. Mechanism of ecosystem recovery: A case study from Kumaun Himalaya. *Recreation and Revegetation Research* 3(4): 271–292.
- Pauls, S. U., Nowak, C., Bálint, M., & Pfenninger, M. (2013). The impact of global climate change on genetic diversity within populations and species. *Molecular Ecology*, 22(4), 925–946. <https://doi.org/10.1111/mec.12152>
- Pennington, R. T., Lavin, M., & Oliveira-Filho, A. 2009. Woody plant diversity, evolution, and ecology in the tropics: perspectives from seasonally dry tropical forests. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40, 437-457.
- Peters, C.M. 1994. Sustainable harvest of non-timber plant resources in tropical moist forest: an ecological primer. Washington, U.S.A. Biodiversity Support Program.
- Pielou, E. C. 1966. Shannon's Formula as a Measure of Specific Diversity: Its Use and Misuse. *The American Naturalist*, 100(914), 463–465.
- Pineda-García, F., Arredondo-Amezcuca, L., y Ibarra-Manríquez, G. 2007. Riqueza y diversidad de especies leñosas del bosque tropical caducifolio El Tarimo, Cuenca del Balsas, Guerrero. *Revista mexicana de biodiversidad*, 78(1), 129-139.
- Plotkin, J. B., M.D. Potts, N. Leslie, N. Manokaran, J. LaFrankie, and P.S. Ashton. 2000. Species-area curves, spatial aggregation, and habitat specialization in tropical forests. *J. Theor. Biol.* 207: 81-99.
- Pokhriyal, P., Uniyal, P., Chauhan, D.S. & Todaria, N. P. 2010. Regeneration status of tree species in forest of Phakot and Pathri Rao watersheds in Garhwal Himalaya. *Current Science*, 98: 171–174.
- Porth, I., & El-Kassaby, Y. A. (2014). Assessment of the genetic diversity in forest tree populations using molecular markers. *Diversity*, 6(2), 283–295. <https://doi.org/10.3390/d6020283>

- Pritchard, J. K., Stephens, M., Rosenberg, N. A., & Donnelly, P. (2000). Association mapping in structured populations. *American Journal of Human Genetics*, 67(1), 170–181. <https://doi.org/10.1086/302959>
- Quintero-Melecio, E., Rico, Y., Lira-Noriega, A., & González-Rodríguez, A. (2021). Molecular evidence and ecological niche modeling reveal an extensive hybrid zone among three *Bursera* species (section *Bullockia*). *PLoS ONE*, 16(11), 1–23. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260382>
- Ramírez-Flores, V.A., L. Aranda-Delgado, y V. Rico-Gray. 2018. La resiliencia del bosque seco tropical: un seguro de vida para su conservación. CONABIO. *Biodiversitas*, 137:12-16.
- Ramírez-Lozano, R. G., Domínguez-Gómez, T. G., González-Rodríguez, H., Cantú-Silva, I., Gómez-Meza, M. V., Sarquís-Ramírez, J. I., y Jurado, E. 2013. Composición y diversidad de la vegetación en cuatro sitios del noreste de México. *Madera y Bosques*, 19(2), 59-72.
- Ramirez, N., y M.K. Arroyo. 1990. Estructura Poblacional de *Copaifera pubiflora* Benth. (Leguminosae: Caesalpinioideae) en los Altos Llanos Centrales de Venezuela. *Biotropica* 22: 124–132.
- Rao, R. R., & Murti, S. K. 1990. North-East India-a major centre for plant diversity in India. *Indian Journal of Forestry*, 13(3), 214-222.
- Rehfeldt, G. E. 2006. A spline model of climate for the western United States. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-165. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 21 p., 165.
- Rey, P.J., and J.M. Alcántara. 2000. Recruitment dynamics of a fleshy-fruited plant (*Olea europaea*): Connecting patterns of seed dispersal to seedling establishment. *J. Ecology* 88: 622–633. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2000.00472.x>
- Richter, M, 2008. Tropical Mountain forests – distribution and general features. In: Gradstein, S.R., Homeier, J. and Gansert, D. (eds.). The tropical Mountain Forest – Patterns and Processes in a Biodiversity Hotspot. Göttingen Centre for Biodiversity and Ecology. *The Biodiversity and Ecology Series*, 7-24 pp.
- Rimieri, P. (2017). La diversidad genética y la variabilidad genética: Dos conceptos diferentes asociados al germoplasma y al mejoramiento genético vegetal. *Journal of Basic and Applied Genetics*, XXVIII(2), 7–13.
- Ripley, B.B.D. 1977. Modelling Spatial Patterns. *J. R. Stat. Soc. Series B Methodological* 39: 172–192. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1977.tb01615.x>
- Rivas-Arancibia, S. P., Bello-Cervantes, E., Carrillo-Ruiz, H., Andrés-Hernández, A. R., Figueroa-Castro, D. M., & Guzmán-Jiménez, S. (2015). Variaciones de la comunidad de visitantes florales de *Bursera copallifera* (Burseraceae) a lo largo de un gradiente de perturbación antropogénica. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86(1),

178–187. <https://doi.org/10.7550/rmb.44620>

- Rocha-Loredo, A. G., Ramírez-Marcial, N., & González-Espinosa, M. (2010). Riqueza y diversidad de árboles del bosque tropical caducifolio en la Depresión Central de Chiapas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, (87), 89-103.
- Rousset, F. (1997). Genetic differentiation and estimation of gene flow from F-statistics under isolation by distance. *Genetics Society of America*, 145(4), 1219–1228. <https://doi.org/10.1177/000992287301200933>
- Ruedas, M., T. Valverde, and J.A. Zavala-Hurtado. 2006. Analysis of the factors that affect the distribution and abundance of three *Neobuxbaumia* species (Cactaceae) that differ in their degree of rarity. *Acta Oecol.* 29: 155–164. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actao.2005.09.002>
- Ruiz-Aquino, F., J.I. Valdez-Hernández, A. Romero-Manzanares, F. Manzano-Méndez and M.E. Fuentes-López. 2015. Spatial distribution of two oak species and ecological attributes of pine-oak woodlands from Ixtlán de Juárez, Oaxaca. *Rev. Chapingo ser. Cienc. or. ambient* 21(1): 67-80. DOI: <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2014.05.023>
- Ruprecht, H., A. Dhar, B. Aigner, G. Oitzinger, R. Klumpp, and H. Vacik. 2010. Structural diversity of English yew (*Taxus baccata* L.) populations. *European J. For. Res.* 129: 189-198.
- Rzedowski, J., & Kruse, H. 1979. Algunas tendencias evolutivas en *Bursera* (Burseraceae). *Taxon*, 28(1-3), 103-116.
- Rzedowski, J. 1991. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta botánica mexicana*, (14), 3-21.
- Rzedowski J., R. Medina, y G. Calderón-de Rzedowski. 2004. Las especies de *Bursera* (Burseraceae) en la cuenca superior del Río Papaloapan (México). *Acta Bot. Mex.* : 23-151. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm66.2004.970>
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 504 p.
- Rzedowski, J., Lemos, R. M., y de Rzedowski, G. C. 2004. Inventario del conocimiento taxonómico, así como de la diversidad y del endemismo regionales de las especies mexicanas de *Bursera* (Burseraceae). *Acta Botanica Mexicana*, (70), 85-111.
- Rzedowski, J., y Calderón-de Rzedowski, G. 2013. Datos para la apreciación de la flora fanerogámica del bosque tropical caducifolio de México. *Acta botánica mexicana*, (102), 1-23.
- Saghai-Marooif, M. A., Soliman, K. M., Jorgensen, R. A., & Allard, R. W. (1984). Ribosomal DNA spacer-length polymorphisms in barley: mendelian inheritance, chromosomal location, and population dynamics. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 81(24), 8014–8018. <https://doi.org/10.1073/pnas.81.24.8014>

- Sánchez-Azofeifa, G. A., Quesada, M., Rodríguez, J. P., Nassar, J. M., Stoner, K. E., Castillo, A., Garvin, T., Zent, E., Calvo-Alvarado, J. C., Kalacska, M. E. R., Fajardo, L., Gamon, J. A. & Cuevas-Reyes, P. 2005. Research priorities for Neotropical dry forests 1. *Biotropica*, 37(4), 477-485.
- Sánchez-Hernández, M. Á., Fierros-González, A. M., Velázquez-Martínez, A., Santos-Posadas, H. M. D. L., Aldrete, A., y Cortés-Díaz, E. 2018. Estructura, riqueza y diversidad de especies de árboles en un bosque tropical caducifolio de Morelos. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(46), 131-156.
- Sánchez-Gutiérrez, F., J.I. Valdez-Hernández, P. Hernández-de la Rosa, y L.A. Beltrán-Rodríguez. 2019. Distribución y correlación espacial de especies arbóreas por gradiente altitudinal en la Selva Lacandona, Chiapas. *Rev. Mex. Ciencias For.* 10: 74-99. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i54.590>
- Sahu, S. C., Suresh, H., & Ravindranath, N. 2016. Forest Structure, Composition and Above Ground Biomass of Tree Community in Tropical Dry Forests of Eastern Ghats, India. *Notulae Scientia Biologicae*, 8(1), 125-133.
- Sánchez-Mejía, Z. M. 2007. Composición florística y estructura de la comunidad vegetal del límite del desierto de Sonora y la selva baja caducifolia (Noroeste de México). *Revista latinoamericana de recursos naturales*, 3(1), 74-83.
- SEMARNAT, 2013. Inventario Estatal Forestal y de Suelos – Morelos. Colección de Inventarios Estatales Forestales y de Suelos 2013-2014. SEMARNAT-CONAFOR. 120 p.
- Sikdar, B., Bhattacharya, M., Mukherjee, A., Banerjee, A., Ghosh, E., Ghosh, B., & Roy, S. C. (2010). Genetic diversity in important members of Cucurbitaceae using isozyme, RAPD and ISSR markers. *Biologia Plantarum*, 54(1), 135–140. <https://doi.org/10.1007/s10535-010-0021-3>
- Silva-Aparicio, M., Castro-Ramírez, A. E., Castillo-Campos, G., y Perales Rivera, H. 2018. Estructura de la vegetación leñosa en tres áreas con Selva Baja Caducifolia en el Istmo-Costa de Oaxaca, México. *Revista de Biología Tropical*, 66(2), 863-879.
- Simpson, E. H. 1949. Measurement of Diversity. *Nature*, 163(4148), 688.
- Smith, T., & Wayne, R. K. (1996). *Molecular Genetic Approches in Conservation* (T. Smith & R. K. Wayne, Eds.). New York: Oxford University Press.
- Somarriba, E. 1999. Diversidad Shannon. *Agroforestería en las Américas*, 6(23), 72-74
- Sotelo-Ruiz, E.D., y C.A. Ortiz-Solorio 2001. Comparación de la información edafológica de INEGI, con la generada por la clasificación campesina de tierras en Oriental, Puebla México. *Terra Latinoamericana* 19: 211–217.
- Sosa, V., & De-Nova, J. 2012. Endemic angiosperm lineages in Mexico: hotspots for conservation. *Acta botánica mexicana*, (100), 293-315.

- Suzán-Azpíri H., Ponce-González O.O., Malda-Barrera G.X., Cambrón-Sandoval V.H., and I.G. Carrillo-Angeles. 2017. Edge effect on the population structure and the reproductive success of two *Bursera* species. *Bot. Sci.* 95: 9–22. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.775>
- Thomas, E., Morillo, A., Gutiérrez, J., Alcázar Caicedo, C., Moscoso Higueta, L. G., Becerra López-Lavalle, L. A., & González, M. A. (2021). Genetic diversity of *Astronium graveolens* Jacq. in Colombian seasonally dry tropical forest: support for the dry forest refugia hypothesis? *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 53, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2021.125642>
- Todou, G., Benoit, L., Achoundong, G., & Akoa, A. (2013). *Genetic diversity of Dacryodes buettneri* (Engl.) H. J. Lam (Burseraceae), a timber tree in Central Africa. *107*(2), 163–177. <https://doi.org/10.12895/jaeid.20132.122>
- Toledo, A., & Bozada, L. (2002). *El delta del río Balsas. Medio ambiente, pesquerías y sociedad.*
- Trejo, I. 2015. Bosques tropicales secos. *Okara*, 9(2), 261-274.
- Trejo, I., & Dirzo, R. 2000. Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in Mexico. *Biological conservation*, 94(2), 133-142.
- Tokeshi, M. 1993. Species abundance patterns and community structure. *Advances in ecological research*, 24, 111-186.
- Toledo, V. 1985. *Ecología y autosuficiencia alimentaria.* Siglo XXI editores.
- Toledo-Aceves, T., Purata-Velarde, S., & Peters, C. M. 2009. Regeneration of commercial tree species in a logged forest in the Selva Maya, Mexico. *Forest Ecology and Management*, 258(11), 2481-2489.
- Torres-Acosta, J. F. J., González-Pech, P. G., Ortiz-Ocampo, G. I., Rodríguez-Vivas, I., TunGarrido, J., Ventura-Cordero, J., Castañeda-Ramírez, G. S., Hernández-Bolio, G.I, Sandoval-Castro, C. A., Chan-Pérez, J. I., Ortega-Pacheco, A. 2016. Revalorizando el uso de la selva baja caducifolia para la producción de rumiantes. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 19(1), 73-80.
- Trejo, I. 2010. Las selvas secas del Pacífico mexicano. *In: Ceballos, G., Martínez, L., García, A., Espinoza, E., Bezaury, J., y Dirzo, R. (Eds.), Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del pacífico de México.* 594 p.
- Valencia-Ávalos, S., Cruz-Durán, R., Martínez-Gordillo, M., & Jiménez-Ramírez, J. 2011. La flora del municipio de Atenango del Río, estado de Guerrero, México. *Polibotánica*, (32), 9-39.
- Valiente-Banuet, A., Casas, A., Alcántara, A., Dávila, P., Flores-Hernández, N., del Coro Arizmendi, M., Luis V., J. y Ortega, R., J. 2000. La vegetación del valle de Tehuacán-Cuicatlán. *Botanical Sciences*, (67), 25-74.

- Velasco-García, M.V., J.I. Valdez-Hernández, C. Ramírez-Herrera, M. L. Hernández-Hernández, J. López-Upton, L. López-Mata y H. López-Sánchez. 2016. Estructura, heterogeneidad de estadios y patrón de dispersión espacial de *Dioon holmgrenii* (Zamiaceae). *Bot. sci* 94: 75-87. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.258>Villaseñor J. L., Maeda P., Rosell J.A., Ortiz E. 2007. Plant families as predictors of plant biodiversity in Mexico. *Diversity and Distributions Journal*, 13(6), 871-876.
- Velasco-García, M.V., J.I. Valdez-Hernández, C. Ramírez-Herrera, y M. Hernández-Hernández. 2017. Atributos dendrométricos, estructura poblacional y diversidad de estadios de *Dioon holmgrenii* (Cycadales: Zamiaceae). *Rev. Biol. Trop.* 65: 1609–1624. DOI: <https://doi.org/10.15517/rbt.v65i4.26980>Vieira, D. L., & Scariot, A. 2006. Principles of natural regeneration of tropical dry forests for restoration. *Restoration ecology*, 14(1), 11-20.
- Weeks, A., & Tye, A. (2009). Phylogeography of palo santo trees (*Bursera graveolens* and *Bursera malacophylla*; Burseraceae) in the Galápagos archipelago. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161(4), 396–410. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2009.01008.x>
- Weeks, A., Zapata, F., Pell, S. K., Daly, D. C., Mitchell, J. D., & Fine, P. V. 2014. To move or to evolve: contrasting patterns of intercontinental connectivity and climatic niche evolution in “Terebinthaceae” (Anacardiaceae and Burseraceae). *Frontiers in Genetics*, (5), 409.
- Wernberg, T., Coleman, M. A., Bennett, S., Thomsen, M. S., Tuya, F., & Kelaher, B. P. (2018). Genetic diversity and kelp forest vulnerability to climatic stress. *Scientific Reports*, 8(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20009-9>
- Wilcke, W., Y. Oelmann, A. Schmitt, C. Valarezo, W. Zech, and J. Homeier. 2008. Soil properties and tree growth along an altitudinal transect in Ecuadorian tropical montane forest. *J. Plant. Nutr. Soil Sci.* 171: 220–230. DOI: <https://doi.org/10.1002/jpln.200625210>
- Wright, S.J., H.C. Muller, R. Condit, and S.P. Hubbell. 2003. Gap-dependent recruitment, realized vital rates, and size distributions of tropical trees. *Ecology* 84: 3174–3185.
- Yong-Fei, B., Li, L. H., Wang, Q. B., Zhang, L. X., Zhang, Y., & Chen, Z. Z. 2000. Changes in plant species diversity and productivity along gradients of precipitation and elevation in the Xilin River Basin, Inner Mongolia. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 24(6), 667.
- Zacarías-Eslava, L. E., Cornejo-Tenorio, G., Cortés-Flores, J., González-Castañeda, N., & Ibarra-Manríquez, G. 2011. Composición, estructura y diversidad del cerro El Águila, Michoacán, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 82(3), 854-869.
- Zamora-Crescencio, P., García-Gil, G., Flores-Guido, J. S., & Ortiz, J. J. 2008. Estructura y composición florística de la selva mediana subcaducifolia en el sur del estado de Yucatán, México. *Polibotánica*, (26), 39-66.

Zepeda-Gómez, C. Z., y Velázquez-Montes, E. V. 1999. El bosque tropical caducifolio de la vertiente sur de la Sierra de Nanchititla, Estado de México: la composición y la afinidad geográfica de su flora. *Acta Botanica Mexicana*, (46), 29-55.