

Estructura y patrón de distribución horizontal de *Bursera linanoe* en dos subprovincia bióticas en México

Structure and pattern of horizontal distribution of *Bursera linanoe* in two biotic subprovinces in Mexico

Iris Jacaranda Cruz-Larios ^a, Carlos Ramírez-Herrera ^{a*}, Juan Ignacio Valdez-Hernández ^a, Mario Valerio Velasco-García ^b, Víctor Manuel Cetina-Alcalá ^a, Jesús Jasso-Mata ^a

*Autor de correspondencia: ^aColegio de Postgraduados, Posgrado en Ciencias Forestales km 36,5 Carretera México-Texcoco, CP56230, Estado de México, México, tel.: +52 595 952 0200 y +52 557 378 6568, kmcramcolpos@gmail.com.

^bCENID-COMEF, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Delegación Coyoacán, Ciudad de México, México.

SUMMARY

The fruits of linaloe (*Bursera linanoe*) 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, therefore the objectives of this study were to evaluate the population structure and to assess their 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 (Is) and Ripley (L(t)) were calculated. In Balsasana on range < 900 m a.s.l. the density and height of non-reproductive individuals were 560 individual ha⁻¹ and 0.103 m, in > 900 m a.s.l. were 300 individuals ha⁻¹ and 1.212 m. In the subprovince Cañadiana range < 900 m a.s.l., it was 33 individual ha⁻¹ and 0.213 m, while in the range > 900 m a.s.l. it was 260 individual ha⁻¹ and 0.755 m in the lowest range. We recorded 313 reproductive individual ha⁻¹, with 6.59 m of height, 0.247 m diameter and 205 m² ha⁻¹ crown area, while in the range > 900 m a.s.l., 320 individual ha⁻¹ were recorded with 3.44 m, 0.061 m and 52 m² ha⁻¹ respectively. Based on I_s = 69.56 % and L_(t) = 62.50 %, the common horizontal distribution pattern was aggregated. The aggregate pattern dominates in Balsasana subprovince while the random pattern is present in the Cañadiana subprovince.

Keywords: categories, altitudinal ranges, population, ripley, morisita.

RESUMEN

Los frutos de lináloe (*Bursera linanoe*) se recolectan para obtener un aceite aromático y los árboles se cortan para elaborar artesanías en el sur de México. Se desconocen valores estructurales de sus poblaciones naturales, por lo que los objetivos de este estudio fueron describir la estructura poblacional y conocer el patrón de distribución horizontal. En dos subprovincias bióticas se establecieron veinticuatro unidades de muestreo (UM), en cada subprovincia se consideraron dos intervalos altitudinales. En cada UM se midieron variables dasométricas y se calcularon densidad, área de copa, índice de valor estructural (IVE), índices de Morisita (Is) y de Ripley (L(t)). En Balsasana intervalo < 900 m s.n.m. la densidad y altura de los individuos no reproductivos fue 560 individuos ha⁻¹ y 0,103 m, en > 900 m s.n.m. fueron 300 individuos ha⁻¹ y 1,212 m. En la subprovincia Cañadiana intervalo < 900 m s.n.m. fueron 33 individuos ha⁻¹ y 0,213 m, mientras que en el intervalo > 900 m s.n.m. fue de 260 individuos ha⁻¹ y 0,755 m. En Balsasana se registraron 313 individuos reproductivos ha⁻¹, con 6,59 m de altura, 0,247 m diámetro y 205 m² ha⁻¹ de cobertura de copa, mientras en el intervalo > 900 m s.n.m. se registraron 320 individuos ha⁻¹, con 3,44 m, 0,061 m y 52 m² ha⁻¹ respectivamente. Con base en I_s = 69,56 % y L (t) = 62,50 %, el patrón de distribución horizontal común fue el agregado. El patrón agrupado domina en las subprovincia Balsasana mientras que el patrón aleatorio está presente en la subprovincia Cañadiana.

Palabras clave: categorías de tamaño, intervalos altitudinales, poblaciones, ripley, morisita.

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). Los planes de manejo de la especie son pocos así como la información que describa las características con las que

cuentan las poblaciones. De forma general el estudio de 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).

El patrón de distribución espacial indica las posiciones de los árboles dentro del área que ocupa una especie en el ecosistema (Ettema y 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 (Griffith y Peres-Neto 2006). Los árboles de una especie pueden distribuirse en un patrón aleatorio, uniforme o agregados.

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 la información sobre la estructura vertical y el 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 (Velasco *et al.* 2017).

Por consiguiente en el presente estudio se plantearon los objetivos siguientes: determinar las características estructurales y patrón de distribución horizontal de *B. li-*

nanoe en dos subprovincias bióticas y en dos intervalos altitudinales. Se establecieron las siguientes hipótesis: 1) la estructura de las poblaciones de *B. linanoe* difiere entre subprovincias bióticas e intervalos altitudinales debido principalmente a las condiciones ambientales; 2) el patrón de distribución horizontal de *B. linanoe* es similar entre subprovincias bióticas e intervalos altitudinales.

MÉTODOS

Área de estudio y muestreo. Considerando la distribución natural de *B. linanoe* en México se eligieron las principales áreas donde se ha reportado la presencia de la especie. El estudio se realizó en la subprovincia biótica Balsasana en los estados de Guerrero y Morelos, y en la subprovincia biótica Cañadiana en el estado de Oaxaca. La especie crece en un intervalo altitudinal entre 600 y 1.200 m s.n.m. (Rzedowski *et al.* 2004), los intervalos que se consideraron en este estudio fueron menor a 900 m s.n.m. y mayor a 900 m s.n.m. En 2018 se establecieron doce unidades de muestreo en dos intervalos altitudinales en la subprovincia Balsasana. Otras doce unidades de muestreo se ubicaron en dos intervalos altitudinales en la subprovincia Cañadiana (figura 1 y cuadro 1).

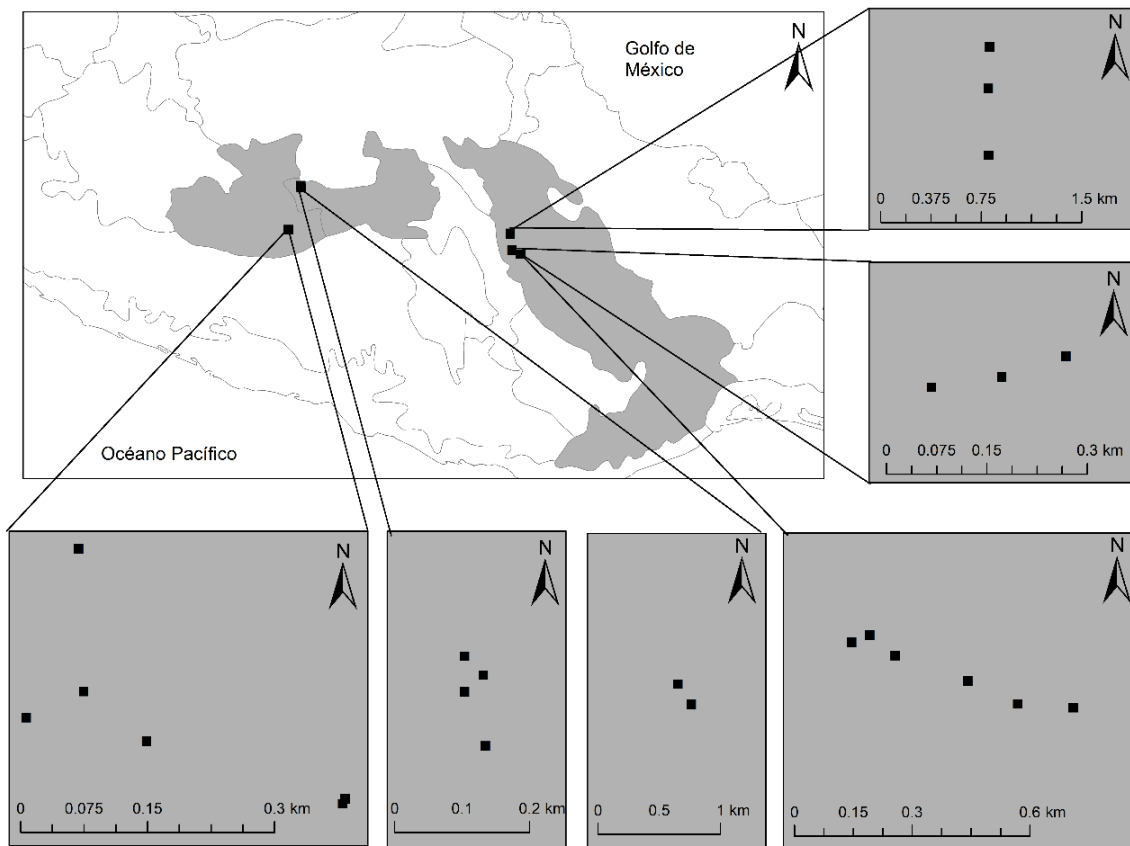


Figura 1. Localización geográfica de las unidades muestreo (■) en dos subprovincias bióticas y en dos intervalos altitudinales.
Geographical location of samplings units (■) in two biotic subprovinces and two altitudinal ranges.

Muestreo y medición de variables. El tamaño de cada una de las 24 unidades de muestreo (UM) fue 10 x 25 m (250 m²). Estas se delimitaron con distancias compensadas de acuerdo con la pendiente del terreno. En cada unidad de muestreo, se contó el número de individuos de la especie y la altura total de cada planta se midió con estadal topográfico. El diámetro normal (DN) de los individuos con altura mayor a 1,30 m se midió con cinta diamétrica. El diámetro mayor y menor de la copa se obtuvo con longímetro de 30 m. El área de copa se calculó con el diámetro promedio del diámetro mayor y menor de cada individuo con la fórmula del círculo.

Análisis de la estructura poblacional. La distribución de los datos de cada variable se verificó para comprobar los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas con las pruebas 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 con 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. Los individuos no reproductivos se ubicaron en dos categorías con base en la 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 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 de 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. El índice de valor estructural (IVE) de las categorías de tamaño se calculó con la siguiente ecuación:

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

La densidad relativa se calculó 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 calculó:

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

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:

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

donde,

Cuadro 1. Descripción de las unidades de muestreo en dos subprovincias bióticas y dos intervalos altitudinales.

Description of samples unites in two biotic subprovinces and two altitudinal ranges

Características	Balsasana		Cañadiana		Referencia
Int. altitudinal (m s.n.m.)	< 900	> 900	< 900	> 900	
Clima	Aw ₀ (g)	Aw ₀ (g)	BS ₀ w(g)	BS ₀ w(g)	García, 2004
Precip. (mm)	764,3	832,0	457,0	457,0	SMN, 2010
°T media	27,4	22,4	24,1	24,1	SMN, 2010
°T máxima	36,3	31,9	32,0	32,0	SMN, 2010
°T mínima	18,4	16,7	16,9	16,9	SMN, 2010
Tipo de suelo	RC	FH	RC	RC	García y Ortiz, 2010
Tipo de vegetación					Bosque tropical caducifolio

RC = regosol calcárico, FH = feozem háplico.

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

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 dentro de subprovincias y entre subprovincias. El porcentaje de individuos se obtuvo para cada categoría de tamaño elaborando curvas de estructura poblacional por subprovincia e intervalos altitudinales dentro de subprovincias.

Análisis del patrón de distribución horizontal. Se ubicaron todos los individuos de *Bursera linanoe* en un plano cartesiano (x, y). Cada unidad de muestreo se dividió en subunidades de 5 x 5 m, y se midió 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. El patrón de dispersión espacial se determinó con base en los índices de Morisita (Iδ y K de Ripley para cada unidad de muestreo. El índice de K de Ripley se determinó usando la transformación de L(t) de la función K(t). Las diferencias en el patrón de dispersión se determinaron con la función L(t) con simulaciones de Monte Carlo (Ripley 1977). El análisis de patrón de dispersión espacial se complementó con el índice de Morisita (Morisita 1959).

RESULTADOS

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

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

La prueba de Kruskal Wallis indicó diferencias ($P < 0,001$) entre subprovincias bióticas y entre intervalos altitudinales dentro de subprovincias para la altura de individuos no reproductivos. La altura fue 25 % superior en la subprovincia Cañadiana con respecto a la subprovincia Balsasana para estos individuos. En ambas subprovincias las mayores alturas de individuos no reproductivos se registraron en el intervalo altitudinal mayor a 900 m s.n.m (cuadro 2).

La densidad de individuos reproductivos fue 61 % mayor en la subprovincia Balsasana que en la subprovincia Cañadiana. En la subprovincia Balsasana una mayor densidad se presentó en el intervalo altitudinal mayor a 900 m s.n.m, mientras que en la subprovincia Cañadiana la mayor densidad de estos individuos se encontró en el intervalo menor a 900 m s.n.m.

La prueba de Kruskal Wallis indicó diferencias entre subprovincias para altura ($P < 0,001$) pero no para diámetro normal 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).

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

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

Comparison of means of the evaluated variables in non-reproductive individuals of *Bursera linanoe* by biotic subprovinces and altitudinal range.

Subprovincia biótica	Intervalo altitudinal (m s.n.m)	Densidad (individuos ha ⁻¹)	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 $P \leq 0,05$.

en estos tres atributos estructurales se encontraron en el intervalo altitudinal menor a 900 m s.n.m (cuadro 3).

En la subprovincia Cañadiana se encontraron diferencias 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 el intervalo altitudinal menor a 900 m s.n.m.

En la subprovincia Balsasana los mayores valores estructurales (IVE) se encontraron en las categorías 1 y 5 (altitudes menores a 900 m s.n.m), en contraste con la subprovincia Cañadiana donde los mayores valores de IVE se registraron en las categorías 4 (altitud menor a 900 m s.n.m) y 2 (altitud mayor a 900 m s.n.m) (cuadro 4).

En general, en la subprovincia Balsasana se presentó una curva tipo IV de acuerdo a Velasco *et al.* (2017), en la altitud menor a 900 m s.n.m se presentó una curva de estructura poblacional tipo II (*e.g.* Bongers *et al.* 1988), caracterizada por un mayor porcentaje de individuos en las

categorías 1 y 5. En el intervalo menor a 900 m s.n.m de la subprovincia Cañadiana, se presentó una curva tipo IIB (Velasco *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 s.n.m de ambas subprovincias, se encontraron curvas poblacionales tipo III (*e.g.* Martínez y Álvarez 1995) representadas por bajos porcentajes de individuos tanto en las categorías más pequeñas como en las más grandes (figura 3).

Patrón de distribución horizontal. En la subprovincia Balsasana el patrón de distribución agrupado se presentó en el 75 % de las UM y el porcentaje restante presentó distribución regular de acuerdo al índice de Ripley, en contraste con el índice de Morisita el 17 % de las UM presentó distribución regular y el 8 % aleatoria. Dentro de esta subprovincia en la altitud menor a 900 m s.n.m. se encontró un patrón agrupado (83 %) y regular (17 %) con el índice

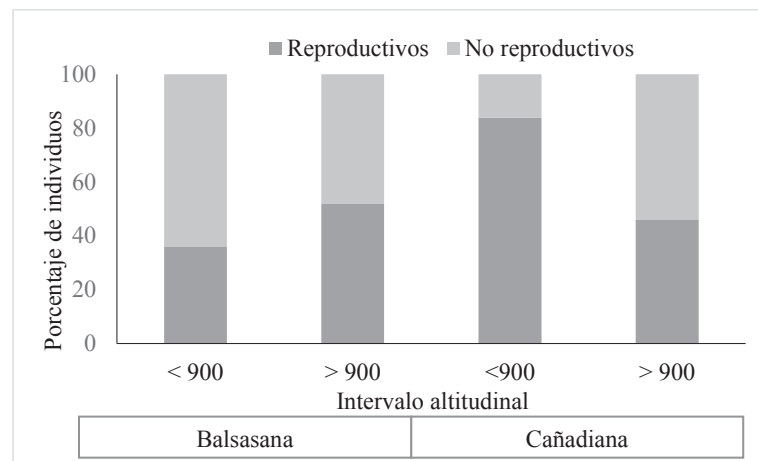


Figura 2. Porcentaje de individuos no reproductivos y reproductivos de *Bursera linanoe* en dos subprovincias bióticas e intervalo altitudinales dentro de estas.

Percent of non-reproductive and reproductive individuals in two biotic subprovinces and two altitudinal ranges.

Cuadro 3. Comparación de medias de las variables estructurales en individuos reproductivos de *Bursera linanoe* en dos subprovincias bióticas y dos intervalos altitudinales.

Comparison of means of the evaluated variables in reproductive individuals of *Bursera linanoe* in two biotic subprovinces and two altitudinal ranges.

Variable	Balsasana			Cañadiana		
	< 900	> 900	Media	< 900	> 900	Media
Densidad (ind. ha ⁻¹)	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 ² ha ⁻¹)	205 a	52 b	128 a	112 a	137 a	126 a

Medias con distinta letra en la misma fila son estadísticamente diferentes ($P \leq 0,05$).

Cuadro 4. Índice de valor estructural (IVE) de las categorías de tamaño de *Bursera linanoe* por subprovincia e intervalo altitudinal.
 Index of structure value (IVE) of the categories of the size of *Bursera linanoe* by biotic subprovinces and altitudinal range.

Categoría de tamaño [†]	Balsasana			Cañadiana		
	Altitud (m s.n.m)			Altitud (m s.n.m)		
	< 900	> 900	General	< 900	> 900	General
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	0,00	0,00	0,00
Total	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0	300,0

[†] Categorías de tamaño en altura: 1: $\leq 0,3$ m, 2: $\geq 0,3$ m < 2 m, 3: ≥ 2 m < 4 m, 4: ≥ 4 m < 6 m, 5: ≥ 6 m < 8 m, y 6: ≥ 8 m.

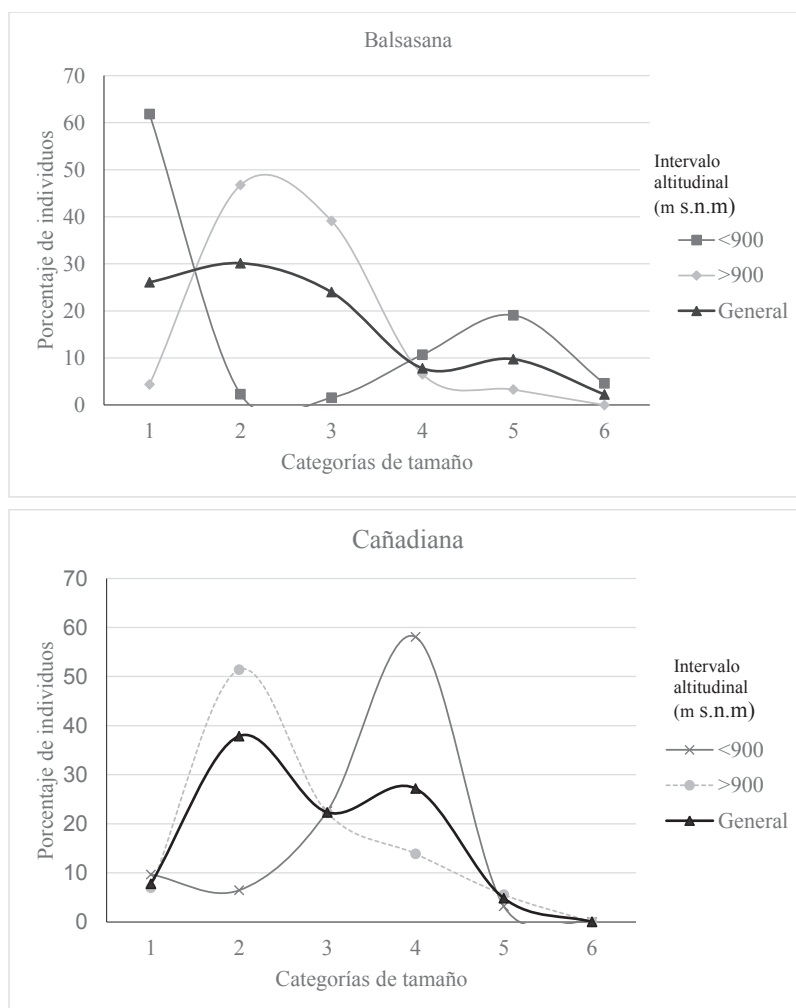


Figura 3. Curva de estructura poblacional de *Bursera linanoe* en dos subprovincias bióticas e intervalos altitudinales (categorías de tamaño en altura: 1: $\leq 0,3$ m, 2: $\geq 0,3$ m < 2 m, 3: ≥ 2 m < 4 m, 4: ≥ 4 m < 6 m, 5: ≥ 6 m < 8 m, y 6: ≥ 8 m).

Curves of population structure of *Bursera linanoe* in two biotic subprovinces and two altitudinal ranges. (Height categories: 1: $\leq 0,3$ m, 2: $\geq 0,3$ m < 2 m, 3: ≥ 2 m < 4 m, 4: ≥ 4 m < 6 m, 5: ≥ 6 m < 8 m, y 6: ≥ 8 m).

de Ripley, mientras que con índice de Morisita la mayoría de UM (66 %) presentó un patrón agrupado, seguido de regular (17 %) y aleatorio (17 %). En la altitud mayor a 900 m s.n.m., de acuerdo a los índices de Ripley y Morisita se presentó distribución agrupada (67 % y 83 %) y regular respectivamente (33 % y 17 %).

En la subprovincia Cañadiana el 50 % de las UM tienen un patrón agrupado, el 33 % aleatorio, y 17 % regular usando el índice de Ripley. Con el índice de Morisita, el 64 % presentó patrón agrupado y el restante regular. Dentro de esta subprovincia en el intervalo menor a 900 m s.n.m. se encontraron los siguientes patrones agrupado (50 % y 67 %), aleatorio (50 % y 0 %) y regular (0 % y 33 %) usando los índices de Ripley y Morisita. En el intervalo mayor a 900 m s.n.m. se encontró patrón agrupado (50 % y 60 %), regular (33 % y 40 %) y aleatorio (17 % y 0 %) con los índices anteriormente mencionados. No fue posible calcular el valor del índice de Morisita en una de las unidades de muestreo en esta subprovincia debido a que solo se presentaba un individuo de la especie (figuras 4, 5, 6 y 7).

DISCUSIÓN

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 *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. 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 (Figuerola *et al.* 2009). Sin embargo, las poblaciones pueden estar en riesgo en el intervalo altitudinal menor a 900 m s.n.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 con respecto a la Cañadiana se puede deber a condiciones ambientales favorables. 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 (García y Azócar 2004). Por otra parte, los individuos no reproductivos en

la subprovincia Balsasana en las altitudes mayores a 900 m s.n.m. presentaron mayor altura. Esto se puede deber a una mayor precipitación y tipo de suelo en este intervalo altitudinal (SMN 2010). El suelo feozem se encuentra en la altitud mayor a 900 m s.n.m., mientras que el tipo regosol calcáreo es característico en el intervalo menor a 900 m s.n.m. Las plantas pueden alcanzar un mejor desarrollo en un suelo feozem debido al mayor contenido nutrimental, materia orgánica y profundidad que el suelo regosol calcáreo (Sotelo y Ortiz 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 en la subprovincia Balsasana como se mencionó líneas arriba (SMN 2010).

En ambas subprovincias, el número de árboles reproductivos promedio fue mayor que el número que Cruz *et al.* (2009) reportan para la misma especie (42 árboles ha⁻¹). Incluso, fue mayor que el número de árboles de otras especies que crecen en el trópico seco como *Bursera simplex* Rzed. y Calderón (267 individuos) (Luna *et al.* 2018).

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 *et al.* (2009) reportan en una investigación previa. En relación a las subprovincias, la mayor altura en la subprovincia Balsasana en comparación con la Cañadiana puede ser consecuencia de diferencias en las condiciones climáticas. En relación a las altitudes, los mayores valores en altura en las altitudes menores a 900 m s.n.m. pueden estar relacionadas a que en estas condiciones el efecto del viento en los árboles es menos agresivo debido a que la velocidad y frecuencia del viento afectan menos al brote principal (Wilcke *et al.* 2008).

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 *et al.* 2009). El menor diámetro es característico del comportamiento arbustivo en zonas subtropicales (Maza *et al.* 2014). En el presente estudio, el diámetro normal de los árboles reproductivos de lináloe fue menor (0,21 m) que el valor para esta variable reportado en un estudio previo para esta especie (Cruz *et al.* 2009).

La mayor área de copa de los individuos reproductivos en la subprovincia Balsasana puede estar influenciada por el clima cálido subhúmedo que caracteriza la subprovincia Balsasana, en comparación al tipo de clima árido de la subprovincia Cañadiana (García 2004). La precipitación más abundante dentro del grupo climático cálido subhúmedo aumenta el crecimiento de la copa de los individuos al sufrir menor estrés por la mayor disponibilidad de humedad (Azócar *et al.* 1999). De acuerdo a lo anteriormente descrito, se acepta la hipótesis planteada de que la estructura de las poblaciones difiere entre subprovincias

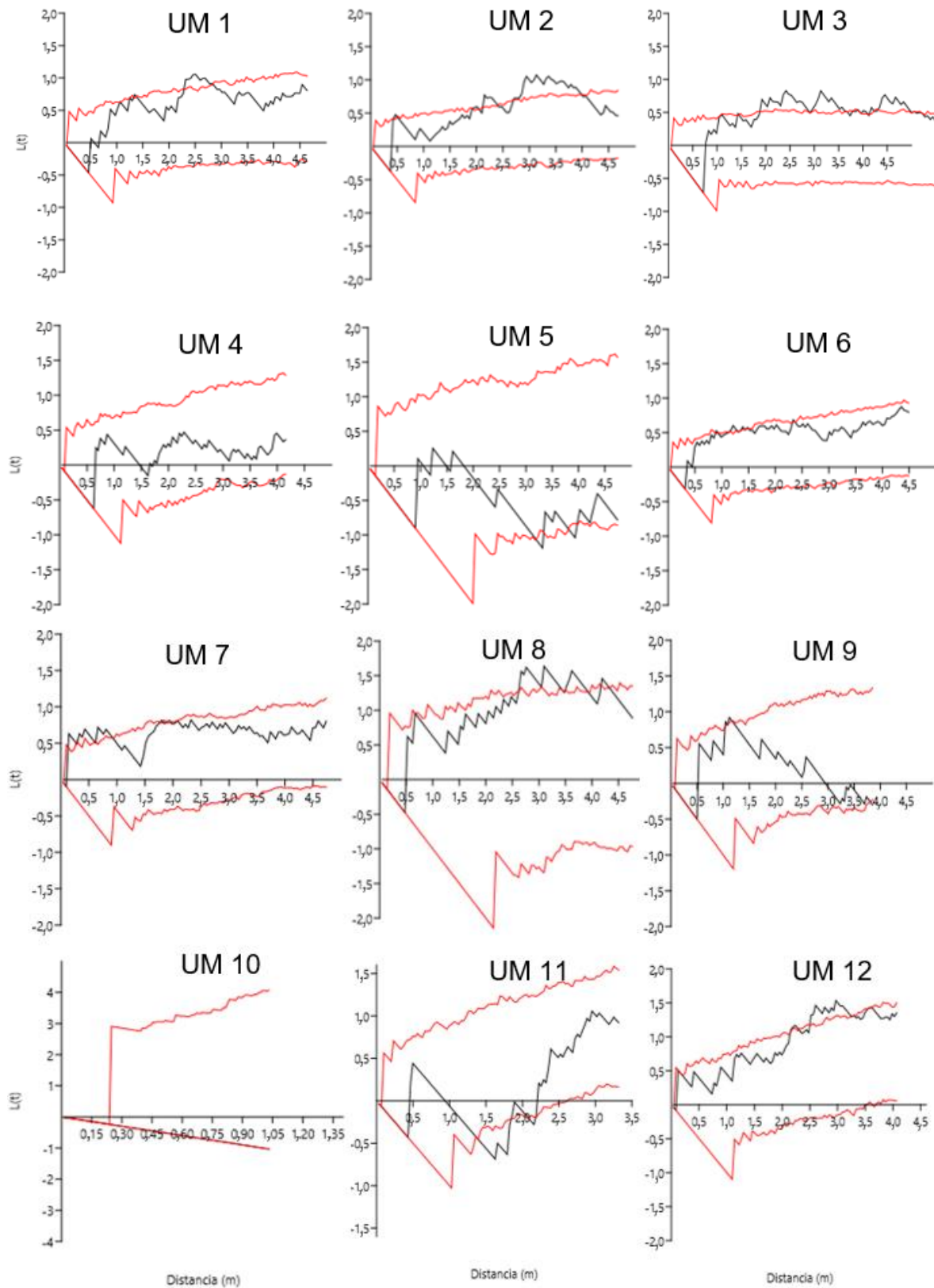


Figura 4. Valores de índice de Ripley $L(t)$ en las Unidades de Muestreo (UM) de la subprovincia Balsasana.
Ripley $L(t)$ ' index values for the sampling units (UM) of the Balsasama subprovince.

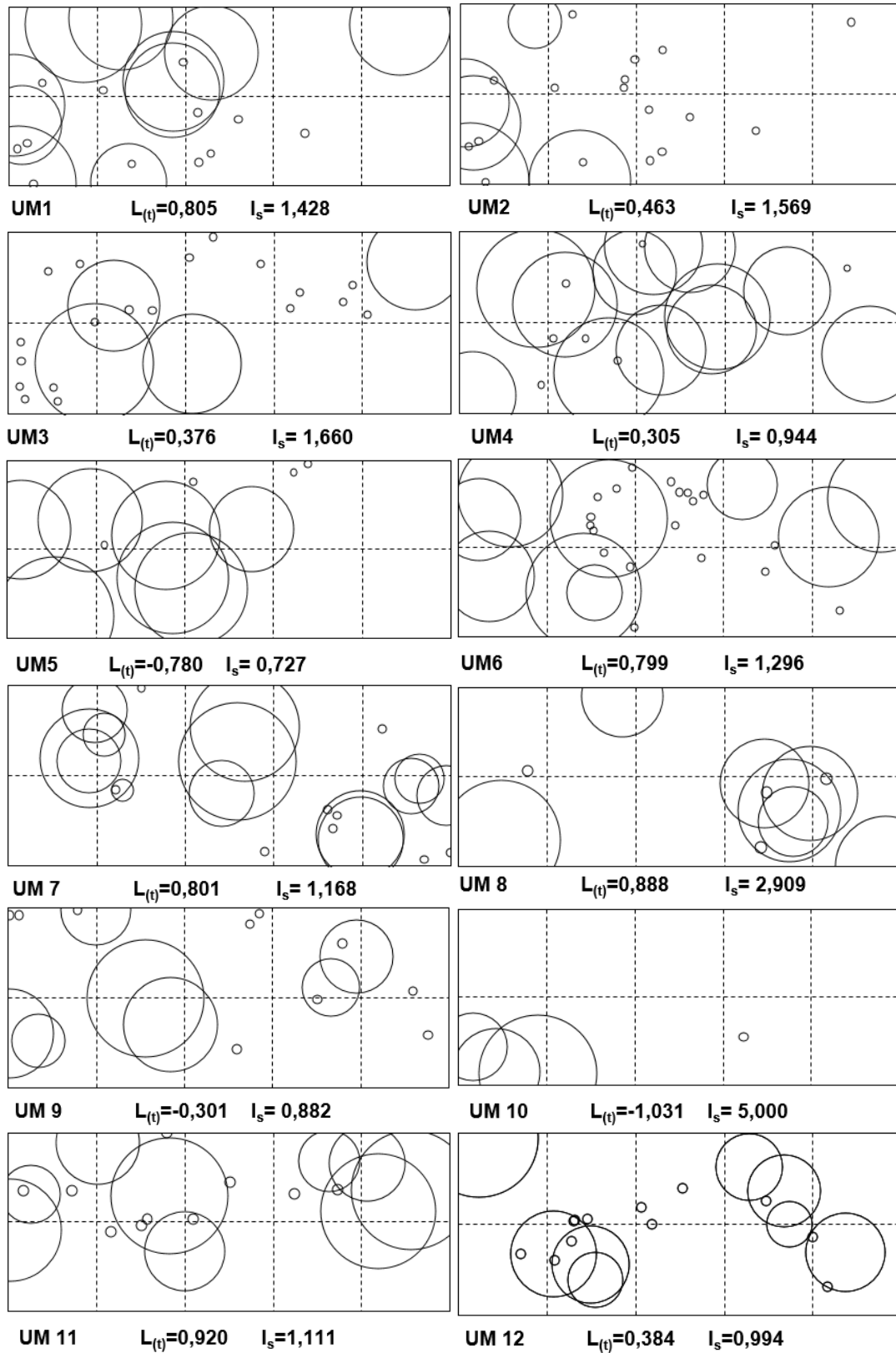


Figura 5. Diagramas de distribución horizontal de *Bursera linanoe* en la subprovincia Balsasana (UM = Unidad de Muestreo, $L(t)$ = Índice de Ripley e $I\delta$ = Índice de Morisita).

Diagrams of *Bursera linanoe*'s horizontal distribution in the Balsasana subprovince (UM = sampling unit, $L(t)$ = Ripley's Index, and $I\delta$ = Morisita's Index).

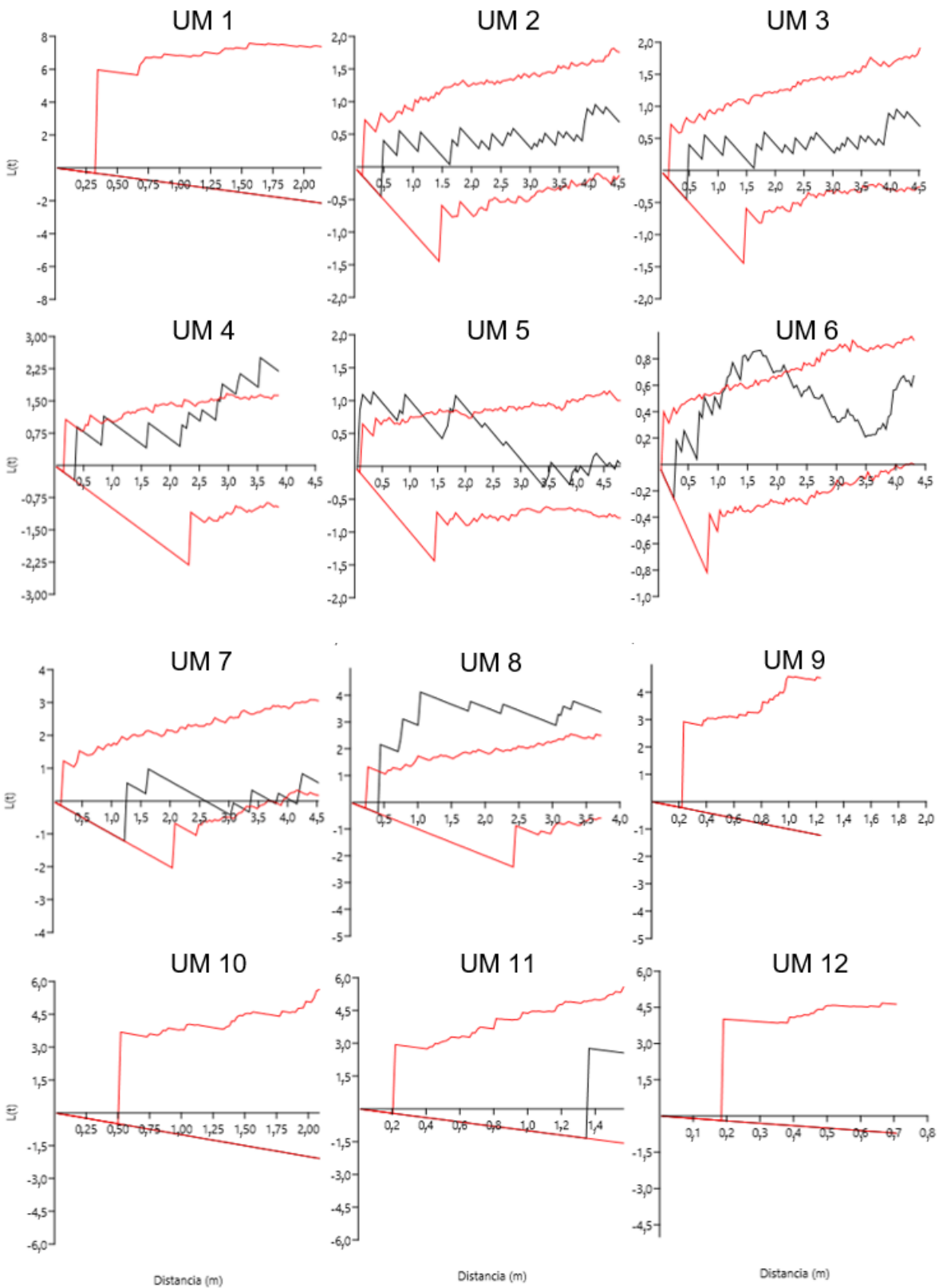


Figura 6. Valores de índice de Ripley $L(t)$ en las Unidades de Muestreo (UM) de la subprovincia Cañadiana.
Ripley $L(t)$ ' index values for the sampling units (UM) of the Cañadiana subprovince.

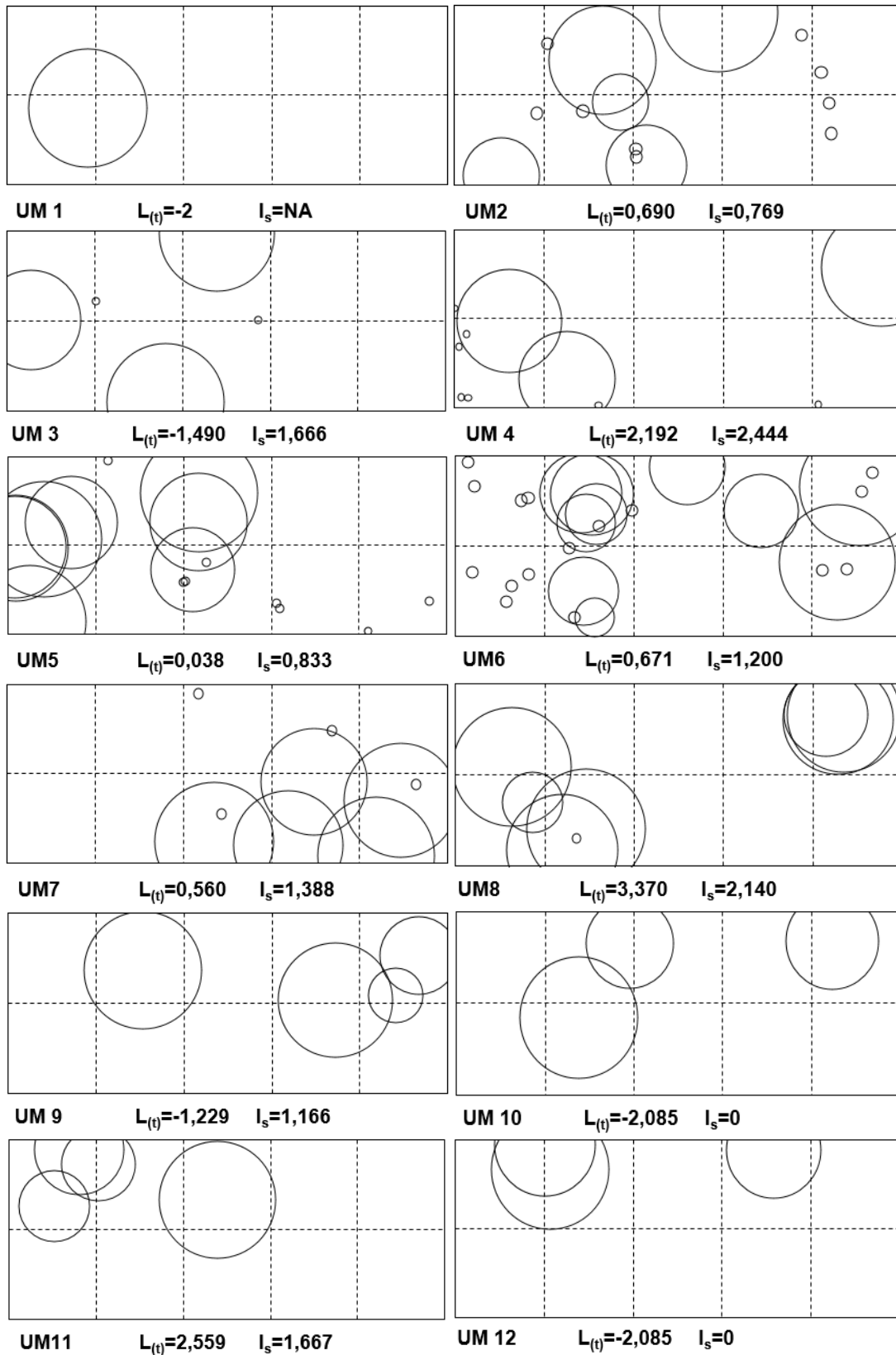


Figura 7. Diagramas de distribución horizontal de *Bursera linanoe* en la subprovincia Cañadiana (UM = Unidad de Muestreo, $L(t)$ = Índice de Ripley e I_s = Índice de Morisita).

Diagrams of *Bursera linanoe*'s horizontal distribution in the Cañadiana subprovince (UM = sampling unit, $L(t)$ = Ripley's Index, and I_s = Morisita's Index).

bióticas e intervalos altitudinales por efecto de las condiciones ambientales.

Los valores estructurales mencionados demuestran que son mayores en las poblaciones localizadas en el intervalo menor (< 900 m s.n.m.). Esto puede indicar que en el extremo altitudinal inferior de la distribución de esta especie existen las condiciones ideales para mayor crecimiento y éxito (Cruz *et al.* 2009). 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.

Entre subprovincias, las diferencias entre el IVE se puede deber al clima y a que algunas categorías de tamaño son más susceptibles 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 (Rey y Alcántara 2000). El IVE, al ser un índice estructural, permitió evaluar a los individuos por categoría de tamaño, asignándole un valor a cada estadio y poder conocer su representatividad en las diferentes condiciones. Cuando se utiliza el IVE los individuos de menor tamaño pueden ser evaluados mediante medidas no invasivas (altura y conteos).

La curva poblacional tipo II que se encontró en la subprovincia Balsasana al nivel altitudinal menor a 900 m s.n.m. indica la presencia de regeneración e individuos adultos y una ausencia de individuos jóvenes. Esta ausencia puede estar relacionada al efecto del pastoreo en la zona, dichas categorías pueden estar siendo afectadas por el ramoneo, en donde los animales alcanzan las hojas de los individuos de menor tamaño dañándolos fuertemente.

La curva tipo IIb en la altitud menor a 900 m s.n.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 baja precipitación. En la subprovincia Cañadiana se presentan condiciones más secas, donde la regeneración puede verse afectada por la falta de agua, desencadenando una alta mortalidad en la ya escasa cantidad de plántulas que han logrado germinar. Este tipo de curva poblacional se ha registrado en árboles de *Bursera simaruba* y *Dioon holmgrenii* De Luca, Sabato & Vázq. Torres (Martínez y Álvarez 1995, Velasco *et al.* 2017).

La curva poblacional tipo II que se observó en los intervalos altitudinales menor a 900 m s.n.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 y Álvarez 1995). Esta curva se documenta en *Bursera palmeri* S. Watson (Suzán *et al.* 2017).

Patrón de distribución horizontal. Se rechaza la hipótesis planteada ya que se presentaron diferentes patrones de distribución horizontal en subprovincias bióticas e intervalos altitudinales. El patrón de distribución agrupado 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 contribuyen al establecimiento de plántulas debido a la mayor disponibilidad de agua.

En algunas subprovincias se presentaron otros tipos de patrones de distribución espacial pero en menor porcentaje, esto puede deberse al índice utilizado y ser consecuencia de la densidad de los individuos en la unidad de muestreo. Es importante mencionar que las variaciones en el tipo de patrón de distribución puede estar relacionado a la construcción propia del índice de dispersión.

Es así como el patrón de distribución aleatorio observado en la subprovincia Cañadiana (índice de Ripley) puede deberse a la baja densidad de los individuos en la zona, como Linares (2005) reporta para *B. graveolens*.

CONCLUSIONES

Las subprovincias bióticas y los intervalos altitudinales donde se desarrolla el lináloe presentan poblaciones con características estructurales distintas a consecuencia de factores ambientales como la precipitación anual y el tipo de suelo. Los individuos de la subprovincia Balsasana presentaron mayores valores en altura, diámetro normal, y área de copa. La menor densidad de individuos en Cañadiana puede estar relacionada a las condiciones de aridez y suelos más pedregosos. Las categorías de tamaño intermedias pueden estar favorecidas por una mayor cantidad de humedad ambiental en las altitudes mayores a 900 m s.n.m. El patrón agrupado domina en las poblaciones estudiadas, sin embargo, otros patrones de distribución pueden presentarse en menor porcentaje de acuerdo al índice considerado.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a quienes nos ayudaron en la toma de dato en campo: Ing. Yanet Jiménez Salmerón, M.C. Areli Madai Guzman Pozos y el señor Luis Méndez Hidalgo. A las autoridades locales de los Ejidos San Juan Bautista Cuicatlán, especialmente a Romeo Adalberto Salinas González, al ejido Santa María Tecomavaca y al ejido San Juan de los Cues. Al Colegio de Postgraduados por el financiamiento para el desarrollo de la presente investigación. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada.

REFERENCIAS

- Andrés AR, D Espinosa. 2002. Morfología de plántulas de *Bursera Jacq.* ex L. (Burseraceae) y sus implicaciones filogenéticas. *Botanical Sciences* (70): 5-12. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.1652>
- Azócar A, F Rada, C García. 1999. Aspectos ecofisiológicos para la conservación de ecosistemas tropicales contras-

- tantes. *Botanical Sciences* (65): 89-94. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.1599>
- Bongers F, J Popma, J Meave, J Carabias. 1988. Structure and floristic composition of the lowland rain forest of Los Tuxtlas, Mexico. *Vegetatio* 74(1): 55-80. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00045614>
- Cruz E, V Mariles, M Gómez, F Solares, V Serrano, MA Cano, D Ayerde. 2009. Ecología y áreas potenciales de distribución del lináloe (*Bursera linanoe* (La Llave) Rzedowski, Calderón & Medina). DF, México. INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, MX) - Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. 45 p.
- Ettema CH, DA Wardle. 2002. Spatial soil ecology. *Trends in ecology & evolution* 17(4): 177-183.
- Figueroa E, F Puebla, H Godínez, J Núñez. 2009. Seed dispersal effectiveness by understory birds on *Dendropanax arboreus* in a fragmented landscape. *Biodiversity and Conservation* 18(13): 3357-3365. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10531-009-9645-z>
- Gadow KV, OS Sánchez, JG Álvarez. 2007. Estructura y crecimiento del bosque. Göttingen, Alemania. Universidad de Göttingen. 287 p.
- García E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. DF, México. Instituto de Geografía-UNAM (Universidad Autónoma de México). 90 p.
- García C, A Azócar. 2004. Ecología de la regeneración de árboles de la sabana. *Ecotropicos* 17(1-2): 1-24.
- Griffith DA, PR Peres-Neto. 2006. Spatial modeling in ecology: the flexibility of eigenfunction spatial analyses. *Ecology* 87(10): 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, 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. *Botanical Sciences* 39: 63-81. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.1175>
- Linares R. 2005. Spatial distribution patterns of trees in a seasonally dry forest in the Cerros de Amotape National Park, northwestern Peru. *Revista Peruana de Biología* 12(2): 317-326.
- Luna JJ, G Rodríguez, JR Enríquez, J Ruíz, JA García, GV Campos. 2018. Frutos y semillas de *Bursera simplex* Rzed. & Calderón en diferentes sitios y estructura arbórea. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(48): 92-114. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i48.188>
- Martínez M, E Álvarez. 1995. Ecología de poblaciones de plantas en una selva húmeda de México. *Botanical Sciences* 56: 121-153.
- Maza S, F Macedo, J Rodríguez, K Oyama, M Martínez. 2014. Variación de la estructura y composición de comunidades de árboles y arbustos entre tipos de vegetación en la Cuenca de Cuitzeo, Michoacán. *Botanical Sciences* 92(2): 243-258.
- Morisita M. 1959. Measuring of the dispersion of individuals and analysis of the distributional patterns. *Memoirs of the Faculty of Science Kyushu University Serie E* 2(4): 5-23.
- Ramírez N, MK Arroyo. 1990. Estructura Poblacional de *Copaifera pubiflora* Benth. (Leguminosae: Caesalpinioideae) en los Altos Llanos Centrales de Venezuela. *Biotropica* 22(2): 124-132.
- Rey PJ, JM Alcántara. 2000. Recruitment dynamics of a fleshy-fruited plant (*Olea europaea*): Connecting patterns of seed dispersal to seedling establishment. *Journal of Ecology* 88(4): 622-633. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2000.00472.x>
- Ripley BBD. 1977. Modelling Spatial Patterns. *Royal Statistical Society: Series B (Methodological)* 39(2): 172-192. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1977.tb01615.x>
- Rzedowski J, R Medina, G Calderón. 2004. Las especies de *Bursera* (Burseraceae) en la cuenca superior del Río Papaloapan (México). *Acta Botánica Mexicana* 66: 23-151. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm66.2004.970>
- SMN (Servicio Meteorológico Nacional, MX). 2010. Normales climatológicas de la estación, periodo 1951-2010. Comisión Nacional del Agua. Consultado 20 enero 2019. Disponible en <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado>
- Sotelo ED, CA Ortiz. 2001. Comparación de la información edafológica de INEGI, con la generada por la clasificación campesina de tierras en Oriental, Puebla México. *Terra Latinoamericana* 19(3): 211-217.
- Suzán H, OO Ponce, GX Malda, VH Cambrón, IG Carrillo. 2017. Edge effect on the population structure and the reproductive success of two *Bursera* species. *Botanical Sciences* 95(1): 9-22. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.775>
- Velasco MV, JI Valdez, C Ramírez, ML Hernández. 2017. Atributos dendrométricos, estructura poblacional y diversidad de estadios de *Dioon holmgrenii* (Cycadales: Zamiaceae). *Revista de Biología Tropical* 65(4): 1609-1624. DOI: <https://doi.org/10.15517/rbt.v65i4.26980>
- Wilcke W, Y Oelmann, A Schmitt, C Valarezo, W Zech, J Hoemeier. 2008. Soil properties and tree growth along an altitudinal transect in Ecuadorian tropical montane forest. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 171(2): 220-230. DOI: <https://doi.org/10.1002/jpln.200625210>

Recibido: 28.06.21
Aceptado: 16.06.22

