



Caracterización estructural de fragmentos de *Podocarpus oleifolius* en bosques remanentes del suroccidente colombiano

Structural characterization of *Podocarpus oleifolius* fragments in remnant forests of the southwest of Colombia

Camilo José López Duymovic¹, Farid Ernesto Perdomo Hurtado¹, Adriana María Marín Vélez²
y Jorge Andrés Ramírez Correa^{*}

¹ Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Agrarias. Popayán, Colombia. camiloj@unicauca.edu.co; pfarid@unicauca.edu.co; jramirez@unicauca.edu.co

² Smirfit Westrock Colombia. Departamento de Planeación Forestal. Cali, Colombia. adriana.marin@smurfitwestrock.co

^{*} Autor de correspondencia. jramirez@unicauca.edu.co

RESUMEN

Las áreas de bosque altoandino en Colombia se han reducido considerablemente, por lo que especies ecológicamente relevantes como *Podocarpus oleifolius* presentan una disminución considerable en sus poblaciones y han sido categorizadas en estado vulnerable a la extinción (VU). Con el fin de caracterizar la demografía de tres de las únicas poblaciones remanentes de la especie en el suroccidente colombiano, se realizó un censo de las poblaciones donde se evaluó la densidad poblacional, la estructura y la distribución espacial de los tres fragmentos de bosques considerados dentro de un gradiente de intervención y en un área de potrero. La distribución espacial de las poblaciones se evaluó mediante análisis bivariados, mientras que la influencia de las variables fisiográficas sobre la distribución de las especies se evaluó mediante un análisis de componentes principales. Se encontró que la población de *P. oleifolius* presenta una estructura diamétrica unimodal en varios de los fragmentos, tiene una proporción mayor de hembras que de machos, una baja densidad poblacional y una distribución espacial en agregados. Ello señala la reducción de las posibilidades de polinización de la especie y las características fenotípicas de los individuos. Los fragmentos remanentes de la especie requieren su conservación y un manejo urgente para evitar la desaparición de esta importante especie a largo plazo.

PALABRAS CLAVE: bosque altoandino, chaquiro, distribución espacial, estructura poblacional, pino colombiano, Podocarpaceae.

ABSTRACT

The high Andean Forest areas in Colombia have been considerably reduced, causing ecologically relevant species such as *Podocarpus oleifolius* to experience a significant decrease in their populations, leading them to be categorized as vulnerable to extinction (VU). To characterize the demographics of the remaining populations of this species in southwestern Colombia, a census was conducted, assessing population density, structure, and spatial distribution across three forest fragments considered within a gradient of intervention, as well as in a pasture. The spatial distribution of populations was evaluated using bivariate analyses, while the influence of physiographic variables on species distribution was assessed through a principal component analysis. It was found that the population of *P. oleifolius* exhibits a unimodal diameter structure in several of the fragments, with a higher proportion of females than males, low population density, and spatial distribution in clusters. This indicates reduced opportunities for species pollination and phenotypic characteristics of individuals. The remaining fragments of the species require conservation and urgent management to prevent the disappearance of this important species in the long term.

KEYWORDS: high Andean Forest, chaquiro, spatial distribution, population structure, Colombian pine, Podocarpaceae.

INTRODUCCIÓN

Podocarpus oleifolius es una de las podocarpaceas de más amplia distribución en el continente americano. Dicha especie se encuentra desde el sur de México (Chiapas y Oaxaca), pasando por Guatemala, Honduras, Costa Rica, Panamá, Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú hasta Bolivia (Styles y Hughes, 1983; Torres, 1988; Cogollo et al., 2007). En Colombia, *P. oleifolius* se encuentra registrada en toda la región Andina entre 1900 m y 3800 m de altitud, incluyendo la Serranía del Perijá y la Sierra Nevada de Santa Marta (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca [CAR], 2018). Los individuos de *P. oleifolius* pueden alcanzar diámetros de hasta 2 m y alturas máximas de 40 m. Ecológicamente *P. oleifolius* es una especie de gran importancia ya que conserva los suelos y estabiliza los cauces, mientras sus frutos hacen parte de la dieta del perico paramuno (*Leptosittaca branickii*) (Marín, 1998).

La amplia distribución y la alta calidad de la madera *P. oleifolius* hicieron que esta especie en Colombia fuera intensamente explotada durante la segunda mitad del siglo XX para emplearla como materia prima en la construcción y la elaboración de postes, muebles y algunos instrumentos musicales (Cogollo et al., 2007; Vásquez, 2010; Álvarez et al., 2018). De hecho, *P. oleifolius* se encuentra catalogada actualmente en estado de amenaza VU (Vulnerable), ya que se estima que las poblaciones de esta especie se han reducido en más de 30% en las últimas tres décadas y que buena parte de los hábitats que ocupa la especie se encuentran deteriorados (Cogollo et al., 2007). En Antioquia, la densidad poblacional de *P. oleifolius* en los bosques donde se desarrolla muestran que 60% de las poblaciones tienen una baja densidad, indicando que la especie estaría resistiendo una alta presión en zonas silvestres (Gómez et al., 2016). Así, se presentan poblaciones pequeñas con baja densidad poblacional, con una distribución espacial en agregados y con una mayor proporción de hembras que de machos (Aguirre y Encarnación, 2021). La fragmentación y el aislamiento de las poblaciones de *P. oleifolius* podría desencadenar en una mayor disminución de individuos, una menor producción

de semillas fértiles, y finalmente, la disminución del potencial de adaptación evolutivo para afrontar los cambios ambientales recientes (Rivera, 2007).

Los estudios demográficos proporcionan información valiosa sobre la reproducción, crecimiento, mortalidad y reclutamiento de las plantas, lo que permite entender cómo se regeneran y cómo se adaptan a su entorno para sobrevivir a largo plazo. Por ello, la demografía permite identificar las amenazas que enfrentan las poblaciones vegetales y desarrollar estrategias de conservación efectivas (Flores, 2011). Este trabajo presenta los resultados de un censo de los aspectos demográficos de tres poblaciones de *P. oleifolius* remanentes en los bosques y potreros andinos del suroccidente colombiano, los cuales permitirán conocer el estado actual de la especie en la zona y proponer medidas de conservación que permitirán su uso para fines ornamentales (Cogollo et al., 2007) y de restauración ecológica dados los servicios ecosistémicos asociados a la especie (Montenegro et al., 2019).

OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo fue identificar los aspectos demográficos más relevantes de tres de las únicas poblaciones de *P. oleifolius* remanentes en los bosques y potreros andinos del suroccidente colombiano (departamento del Cauca) para conocer el estado actual de la especie y, con base en ello, se puedan proponer medidas para su conservación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un censo de las poblaciones donde se evaluó la densidad poblacional de la especie, la proporción de sexos, la distribución espacial de los individuos y la estructura dentro de los fragmentos considerados.

Área de estudio

El estudio se realizó en tres fragmentos con presencia de *P. oleifolius* ubicados en el suroccidente colombiano (departamento del Cauca, municipio de Sotará) (Fig. 1, Tabla 1). Los fragmentos presentaron un gradiente de intervención que

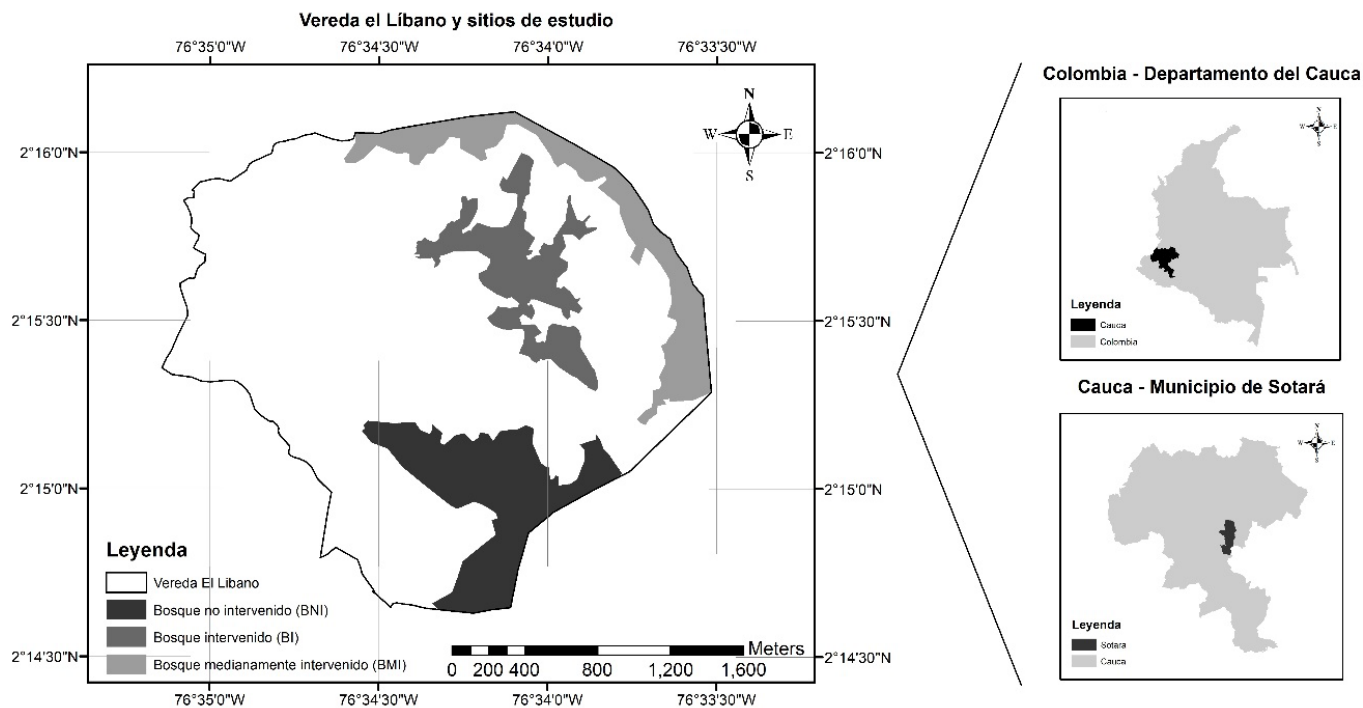


FIGURA 1. Mapa de la ubicación de los bosques y potreros que conforman el área de estudio.

TABLA 1. Detalles de los bosques y potreros que conforman el área de estudio.

Sitio	Detalles
Bosque intervenido – BI	Con evidencia de intervención. Los pobladores del área de estudio extraen madera de este sitio para construcción y leña. Posee una extensión de 36.34 hectáreas.
Bosque medianamente intervenido – BMI	Con evidencia de intervención. Los pobladores del área de estudio con poca frecuencia suelen extraer leña de este bosque. Posee una extensión de 35.36 hectáreas.
Bosque no intervenido – BNI	Sin evidencia de intervención. Los pobladores del área de estudio no ingresan a este bosque por su lejanía y sus pendientes. Posee una extensión de 51.98 hectáreas.
Potrero - PO	Con presencia de pastos y pastos con árboles aislados. Posee una extensión de 262.7 hectáreas.

va desde bosques muy poco intervenidos, pasando por bosques intervenidos, hasta potreros. El área se encuentra entre las coordenadas 2°15'10" N y 2°15'59" N y 76°34'16" W y 76°34'32" W. La zona en la que se enmarcan los tres fragmentos posee una superficie de 386.4 ha y está a una elevación entre 2900 m y 3600 m s.n.m. La precipitación

promedio de la zona es de 1887 mm anuales, mientras que las temperaturas mínima, media y máxima promedio son 10.6 °C, 14.5 °C y 18.9 °C, respectivamente (estación Paispamba, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam]). El relieve de la zona es montañoso y los suelos son moderadamente profundos y

algunas veces presentan capas cascajosas y pedregosas. La textura y características del suelo para cada uno de los fragmentos de bosque estudiados y el potrero se presentan en el anexo 1.

Características ecológicas de *Podocarpus oleifolius*

Podocarpus oleifolius D. Don ex Lamb es un árbol que alcanza diámetros de hasta 2 m y alturas de 40 m. Es una especie dioica y característica del dosel. La especie se encuentra generalmente en zonas de vida de bosque húmedo y muy húmedo montano bajo (bh-MB) (Marín, 1998). *P. oleifolius* suele crecer en pendientes mayores a 50% y en suelos casi siempre pobres y ácidos (Anexo 1).

Estructura poblacional, densidad poblacional y proporción de sexos de *P. oleifolius*

La estructura poblacional, la densidad y la proporción de sexos de los individuos de las poblaciones de *P. oleifolius* se determinaron mediante el censo de todos los individuos de la especie presentes en los bosques y potreros del área de estudio. A cada individuo con DAP mayor a 10 cm se le midió el diámetro a la altura del pecho (1.3 m, DAP) con cinta diamétrica y la altura con un clinómetro Suunto Tandem360. Cada individuo se georreferenció con GPS Garmin referencia GPSmap65.

El sexo de los individuos se estableció mediante la visualización con binoculares de los estróbilos masculinos o femeninos presentes en los árboles o en el suelo. La estructura poblacional se modeló mediante el ajuste de la distribución Weibull con el lenguaje de programación Python y los paquetes *matplotlib.pyplot* y *scipy.optimize*.

Para determinar la densidad poblacional de la especie en el área de estudio se empleó la siguiente ecuación:

$$d = \frac{n}{a} \quad (1)$$

donde:

d = densidad poblacional

n = número de individuos

a = área donde están presentes los individuos(ha)

Distribución espacial de *P. oleifolius*

La distribución espacial de las poblaciones de *P. oleifolius* se evaluó para cada uno los bosques y para toda el área de estudio (incluyendo los potreros). Los patrones se establecieron mediante análisis bivariados con 999 simulaciones Monte Carlo, empleando la función acumulativa $L(r)$ y las funciones no acumulativas $g(r)$ y $O(r)$, donde la función $g(r)$ describe la distribución de puntos en un rango dado y la $O(r)$ la densidad de puntos dentro de un anillo de radio r alrededor de un patrón espacial. Las simulaciones se realizaron mediante el software *Programita* versión 2018 (Wiegand y Moloney, 2014). Finalmente, la influencia de las variables fisiográficas sobre la distribución de las especies se evaluó mediante un análisis de componentes principales. Las variables con correlaciones superiores a 0.75 se suprimieron con el fin de evitar la correlación de las variables.

RESULTADOS

Estructura poblacional, densidad poblacional y proporción de sexos de *P. oleifolius*

La estructura diamétrica de *P. oleifolius* fue en forma de J invertida en los bosques intervenido (BI), medianamente intervenido (BMI) y no intervenido (BNI). En los sitios potrero (PO) y BNI, en especial para las hembras, se presentó un comportamiento unimodal (Fig. 2). El diámetro promedio de la población de *P. oleifolius* fue de 65.2 cm, con valores máximos de 180 cm. Las hembras de *P. oleifolius* mostraron mayores diámetros que los machos en todos los sitios a excepción del BMI, donde los machos tuvieron diámetros más grandes que las hembras (Tabla 2).

En total se registraron 223 individuos de *P. oleifolius* en el área de estudio. En el sitio PO se registró el mayor número de individuos (132), seguido del BNI (50), el BI (24) y el BMI (17). No obstante, el bosque con mayor densidad de individuos fue el BNI con 0.96 ha^{-1} , después el BI fue con 0.66 ha^{-1} , y finalmente el BMI con 0.48 ha^{-1} . Del total de individuos, se registraron 118 hembras y 105 machos (Tabla 2). La densidad de hembras fue mayor en el sitio BNI (0.57 ha^{-1}), seguida por las hembras del BI (0.49



ha⁻¹). Por otro lado, la densidad poblacional en el BMI fue mayor en los machos (0.28 ha⁻¹). En cada sitio se observó

una mayor proporción de hembras, a excepción del sitio PO, donde la proporción de sexo fue mayor en los machos.

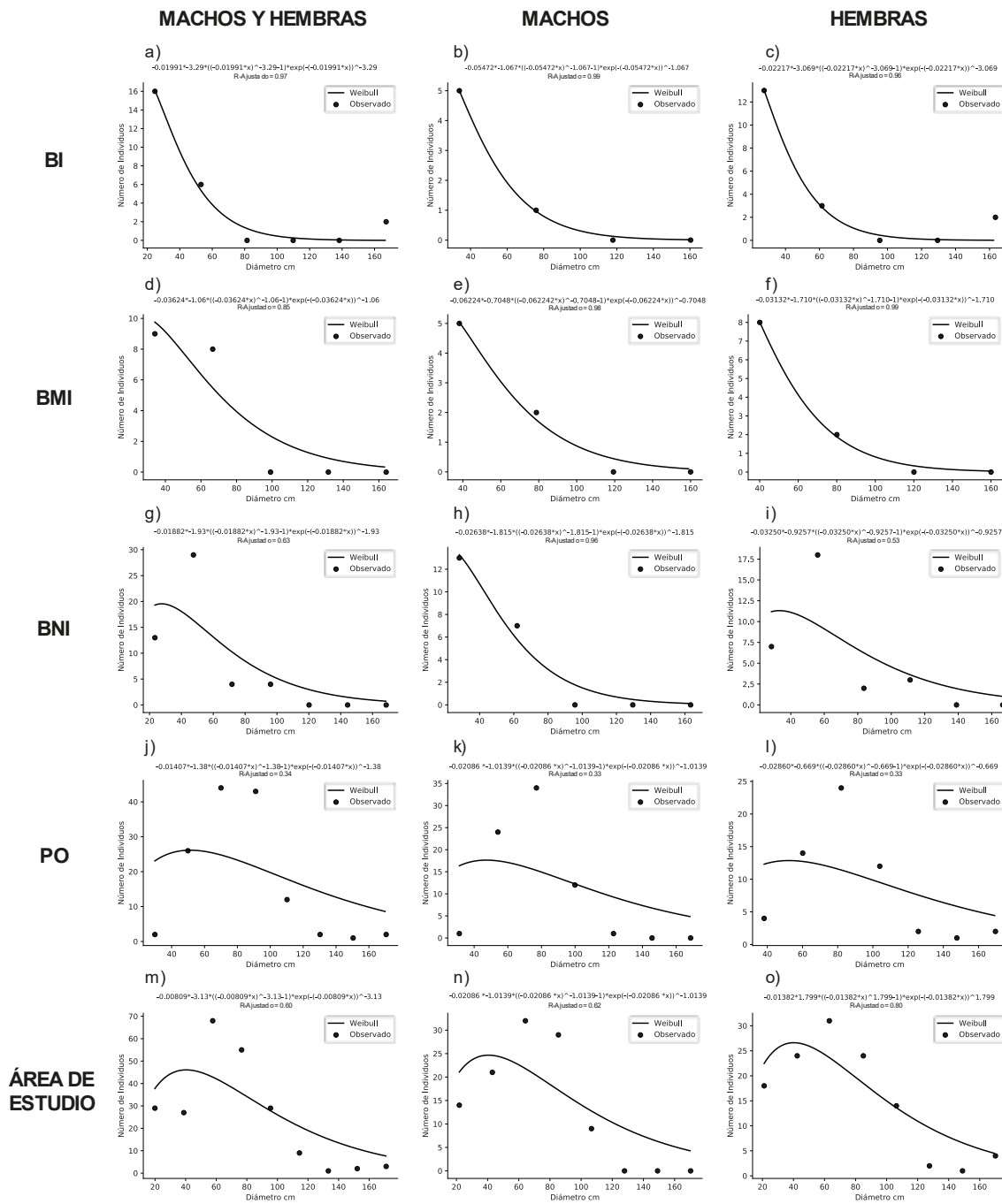


FIGURA 2. Estructura diamétrica de los individuos que conforman la población de *P. oleifolius* ubicados en el área de estudio.

BI: Bosque Intervenido, BMI: Bosque Medianamente Intervenido, BNI: Bosque No Intervenido, PO: Potrero.

TABLA 2. Proporción de sexos, densidad y diámetro (DAP) promedio de *P. oleifolius* en el área de estudio.

Sitio	Sexo	Individuos	Proporción	Densidad poblacional	DAP
			(%)	(ha ⁻¹)	(cm)
Bosque intervenido (BI)	Machos	6	25	0.16	30.22
	Hembras	18	75	0.49	41.88
	Total	24	100	0.66	38.96
Bosque medianamente intervenido (BMI)	Machos	7	41	0.28	51.45
	Hembras	10	59	0.19	46.64
	Total	17	100	0.48	48.63
Bosque no intervenido (BNI)	Machos	20	40	0.38	35.06
	Hembras	30	60	0.57	54.75
	Total	50	100	0.96	48.07
Potrero (PO)	Machos	72	54	0.33	74.30
	Hembras	60	46	0.27	83.75
	Total	132	100	0.61	78.60
Área de estudio	Machos	105	47	0.39	32.89
	Hembras	118	53	0.44	66.84
	Total	223	100	0.84	65.20

BI: Bosque Intervenido, BMI: Bosque Medianamente Intervenido, BNI: Bosque No Intervenido, PO: Potrero.

Distribución espacial de *P. oleifolius*

El modelo $g(r)$ de distribución espacial de *P. oleifolius* en el área de estudio indica que la especie se distribuye en agregados. Así, a lo largo del área de estudio las hembras y los machos se agrupan entre 0 m y 200 m y, particularmente en los bosques, entre 0 m y 120 m (Fig. 3). El modelo $L(r)$ también señala la distribución en agregados e indica que los machos y hembras están juntos en toda el área de estudio. No obstante, en los bosques BI y BMI, a partir de 300 m de distancia, las probabilidades de encontrar machos y hembras juntos disminuye. Finalmente, el modelo $O(r)$ confirmó la distribución en agregados de la especie en el área de estudio. El modelo señala que existe una agrupación

entre machos y hembras entre los 0 m y los 100 m, después se reduce, y se reagrupan nuevamente entre los 300 m y 400 m. El patrón de distribución espacial de individuos de *P. oleifolius* para los sitios considerados en el área de estudio se presentan en la figura 4. El análisis de componentes principales señala que las variables fisiográficas tienen una alta influencia en cada uno de los lugares de estudio, explicando los dos primeros componentes 78% de la variabilidad en los fragmentos estudiados (Fig. 5). En el bosque BI las variables que más influyen el sitio son potasio y cobre; en el bosque BMI, la pendiente, el magnesio y la capacidad de intercambio catiónico; mientras que en el bosque BNI, el hierro y el azufre.

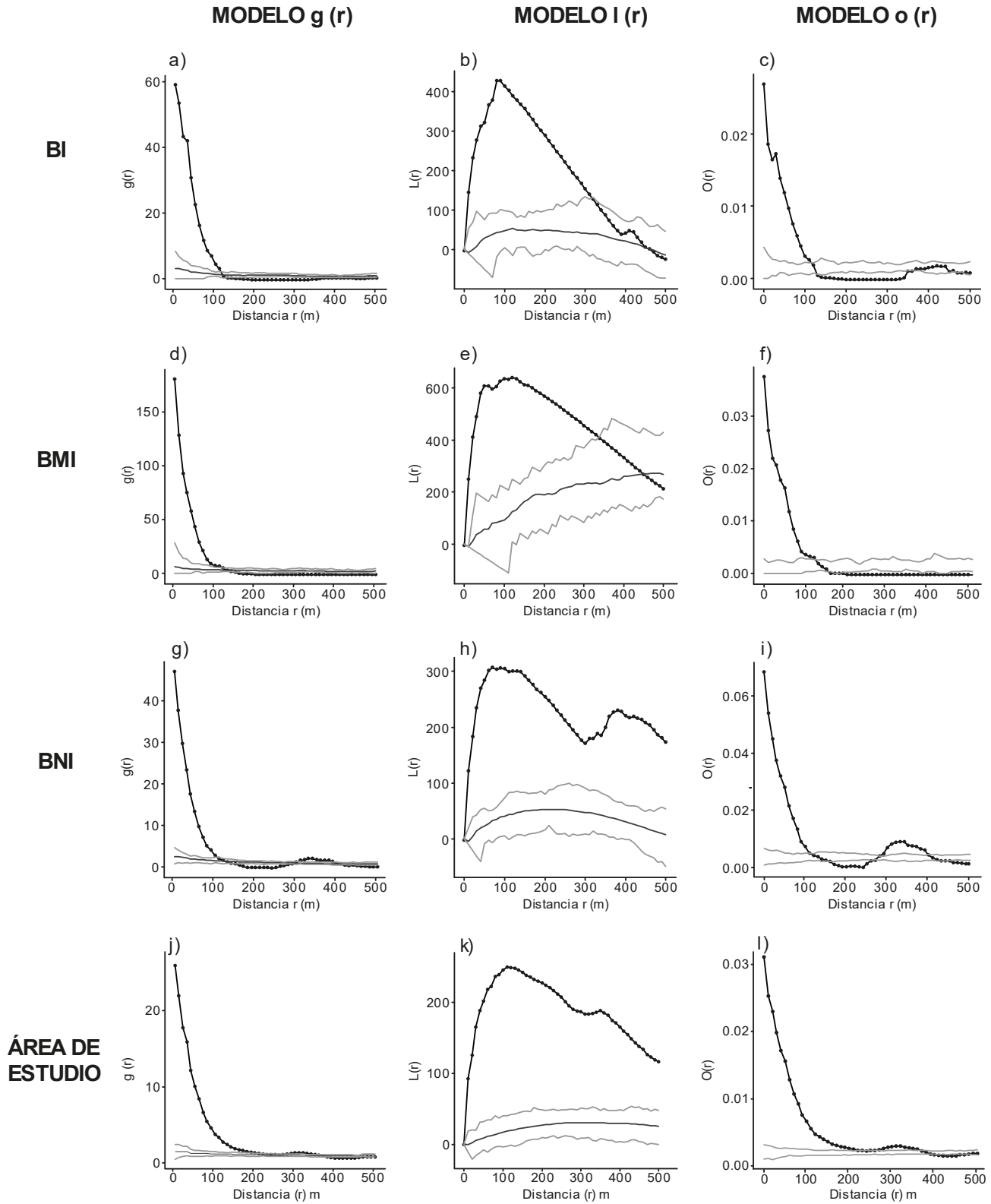


FIGURA 3. Distribución espacial de individuos de *P. oleifolius* en tres fragmentos de bosques con diferentes tipos de intervención en del área de estudio.

BNI: bosque no intervenido, BI: bosque intervenido, BMI: bosque medianamente intervenido, PO: potrero.

La línea negra con puntos corresponde al modelo, las líneas grises son los límites de confianza del modelo y la línea negra continua es la expectativa del modelo.

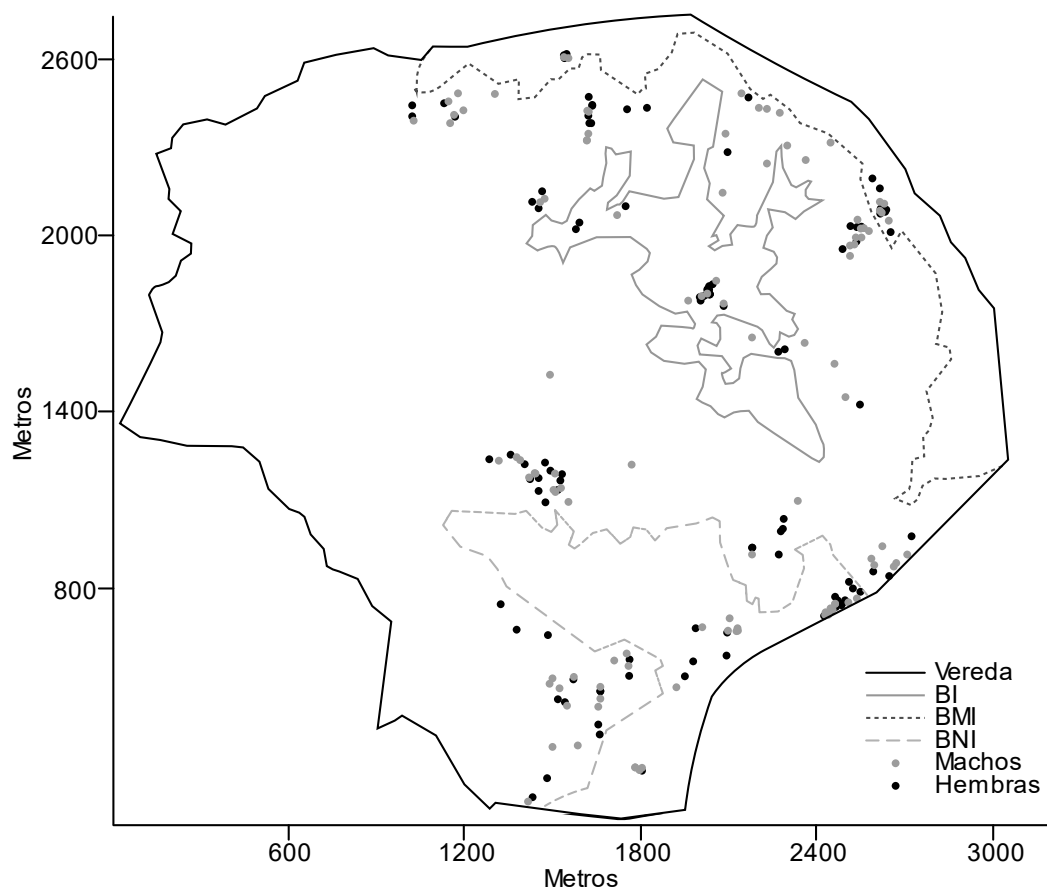


FIGURA 4. Patrón de distribución espacial de individuos de *P. oleifolius* para el área muestreada incluyendo los tres fragmentos de bosques (BI, BMI y BNI) y potreros.

BNI: bosque no intervenido, BI: bosque intervenido, BMI: bosque medianamente intervenido, PO: potrero.

DISCUSIÓN

Estructura y densidad poblacional de *P. oleifolius*

La estructura diamétrica encontrada en la mayoría de los fragmentos de *P. oleifolius* evaluados fue en J invertida (Fig. 2). En los bosques más intervenidos, BI y BMI, dicha distribución indica un mejor reclutamiento de individuos jóvenes de la población (Condit et al., 1998, Louman et al., 2001), posiblemente debido a la cosecha que reduce el número de individuos maduros y facilita el reclutamiento (Elutérito y Pérez, 2009). El PO y las hembras en el BNI presentaron una estructura diamétrica con tendencia unimodal, donde pocos individuos se ubicaron en las primeras clases diamétricas, señalando dificultades para la regeneración a futuro (Fig. 2). En el fragmento PO el

reclutamiento está limitado muy seguramente por la fuerte intervención antrópica debido a la ganadería, que no permite la regeneración de la especie. En el BNI se podría presentar una limitación del reclutamiento de individuos jóvenes, quizás por presentarse en este bosque un dosel prácticamente cerrado con una baja dinámica de claros que dificulta el establecimiento de la especie (Lamprecht, 1990; Melo et al., 2007). Dicho comportamiento ha sido observado en otros bosques de podocarpáceas, donde se evidencia la reducción del reclutamiento con la edad del bosque, reduciéndose con el tiempo el número de individuos jóvenes e incrementando el dominio de árboles grandes (Carilla y Grau, 2011). En general, las especies tolerantes a la sombra y de crecimiento lento como *P. oleifolius* pueden germinar y establecerse en doseles cerrados;

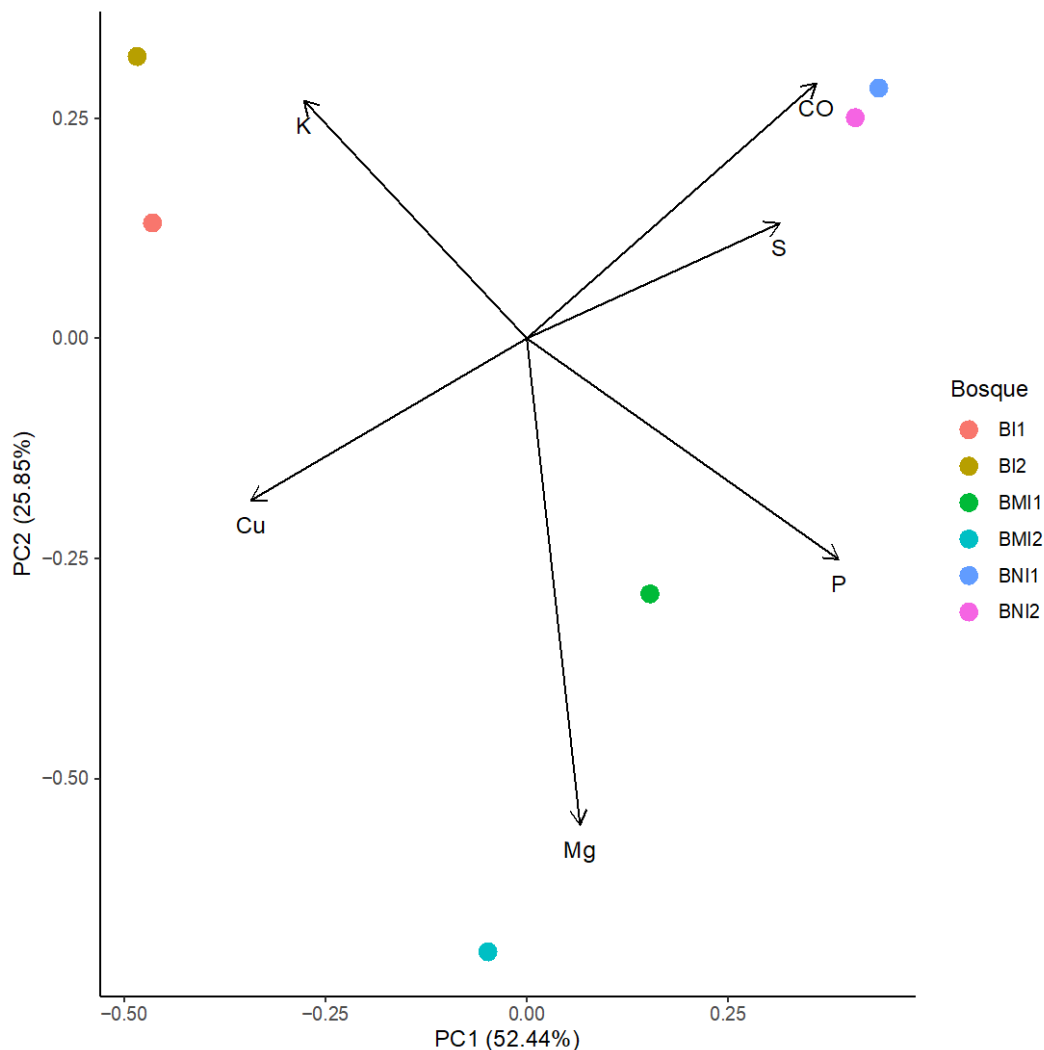


FIGURA 5. Patrón de distribución espacial de individuos de *P. oleifolius* para el área muestreada incluyendo los tres fragmentos de bosques (BI, BMI y BNI), y potreros.

CO: carbono orgánico, S: azufre, P: fósforo, Mg: magnesio, Cu: cobre, K: potasio.

sin embargo, dadas las condiciones mínimas de luz y exceso de humedad, muchos individuos podrían entrar en un proceso de suspensión y ocasionar la muerte de los individuos jóvenes (Flórez y Paz, 2019). Otra consideración tiene que ver con el tipo de bosques estudiados – fragmentos remanentes con diferentes grados de intervención – donde una de las consecuencias más comunes de la fragmentación es la alteración en la tasa de reclutamiento (Chiapero, 2019). Así, la dinámica antrópica de los bosques BMI y BI simularía, en alguna proporción,

la caída de árboles maduros dentro del bosque, necesaria para mantener el reclutamiento en las poblaciones de las podocarpaceas (Holloway, 1954; Louman et al., 2001).

En general están registradas muy bajas densidades de individuos de *P. oleifolius* (Gómez et al., 2016; Aguirre y Encarnación, 2021). En este estudio, la densidad poblacional también fue baja, con promedio de menos de un individuo por hectárea. El bosque BNI fue el sitio donde se encontró el mayor número de individuos (0.96 ind ha⁻¹), posiblemente debido al estado de conservación del

fragmento por la dificultad para la extracción de la madera de la especie en dicho lugar. La baja densidad de individuos de la especie en los otros fragmentos estudiados probablemente se debe a la cosecha continua de la especie y a los procesos de fragmentación sufridos por los bosques en la zona andina colombiana, como efectivamente sucedió en los bosques BI y BMI. Aparentemente, en los fragmentos BI y BMI la cosecha continua genera claros que llevan a una distribución en *J* invertida de la especie en el bosque, pero un pobre establecimiento. Este es un comportamiento común en las podocarpáceas, ya que por su lento crecimiento posterior a los disturbios son reemplazadas por especies de rápido crecimiento (Gutiérrez et al., 2008). El cambio en las propiedades del suelo, dado el manejo, también podría influir en la presencia a largo plazo de la especie; los fragmentos BI y BMI tienen bajos contenidos de carbono orgánico y azufre que podrían indicar la baja presencia de la especie (Fig. 5, Anexo 1), lo que concuerda con lo encontrado por Vidal (2004) para *Podocarpus guatemalensis* a través del cambio en las propiedades del suelo en un gradiente altitudinal.

La baja densidad de *P. oleifolius* tiene implicaciones sobre la dinámica de la especie, ya que, al aumentar la distancia entre individuos masculinos y femeninos, y en especial en una especie dioica como esta, disminuye la probabilidad de ocurrencia de la polinización. Así, dado que la polinización es por el viento, la distancia que el polen tiene el potencial de atravesar es inferior a la distancia entre individuos (Marín, 1998). A largo plazo, dadas sus limitaciones, la especie podría presentar un proceso de reducción y extinción, contrario a especies características de estados sucesionales tempranos con altos números de individuos (Bowman et al., 2002; Tischendorf et al., 2005). Dada la baja densidad de individuos de *P. oleifolius* en los fragmentos considerados, resulta fundamental determinar el tamaño de población mínima viable, entendida como aquella población que efectivamente se reproduce incorporando variación genética a la siguiente generación (Shaffer, 1981). Este concepto debe ser clave en el mantenimiento y recuperación de especies de coníferas (González et al., 2021). En términos generales se manejan

los números 50/500 (Franklin, 1980); así, para una población marginal o dispersa se deberían tener al menos 50 individuos reproductores o con semilla, y preferiblemente 500 cuando el objetivo es conservar una especie a través de una amplia distribución. No obstante, dichos valores podrían incluso quedarse cortos y ser requeridas mayores cantidades de individuos para mantener la variabilidad genética y la supervivencia de la población a largo plazo (Lande, 1995).

Proporción y características por sexo de los individuos de *P. oleifolius*

Es frecuente encontrar que la proporción entre sexos en las poblaciones de la mayoría de las especies sea relativamente similar (Allen y Antos, 1993; Carroll y Mulcahy, 1993). Los resultados obtenidos para *P. oleifolius* muestran una mayor proporción de hembras que de machos en los fragmentos evaluados, proporción que se incrementa a medida que los fragmentos son más intervenidos (60% - 70% en los fragmentos de bosque) (Tabla 2). La mayor proporción de hembras en podocarpáceas ha sido registrada en bosques de la especie en Ecuador (Aguirre y Encarnación, 2021). Se considera que la alta proporción de hembras en especies dioicas – como *P. oleifolius* – podría ser una estrategia de la especie que favorece su reproducción (Gómez et al., 2009). Otra razón para la alta proporción de hembras, especialmente a medida que hay mayor intervención en los fragmentos, es el hecho que los machos pudieron haber sido preferiblemente extraídos por sus mejores características fenotípicas – y por ende dasométricas – que las hembras, ello ya que asignan menos recursos en la reproducción y pueden invertirlos en crecimiento (Obeso, 2020; Massei et al., 2006; Montesinos, 2007; Iszkulo et al., 2009). No obstante, este comportamiento no fue encontrado en los PO, donde la proporcionalidad de machos fue mayor (54% de machos contra 46% de hembras), posiblemente debido a la degradación que ha sufrido el sitio a través de los años.

Los resultados obtenidos señalan que la corta selectiva para madera aserrable de los mejores árboles de *P. oleifolius* está ocasionando que las hembras remanentes presenten



menores tamaños como sucede en el fragmento más intervenido (bosque BMI), conllevando el deterioro paulatino de las características de la especie (Vinceti et al., 2004). Posiblemente, la corta selectiva de los árboles tiene un primer efecto negativo sobre el censo poblacional y luego, los individuos de estas poblaciones reducidas empiezan a entrecruzarse entre sí generando una reducción en la variabilidad genética. Ello implica la prioridad de definir estrategias efectivas de conservación tanto *in situ* como *ex situ* para la especie, que incluyan estudios de diversidad genética, la identificación de áreas prioritarias de conservación, y la selección de poblaciones como fuentes de semilla para su uso en la restauración (Corea, 2012; Arzate et al., 2016; Leshner et al., 2018; Bocanegra et al., 2019; Ruiz et al., 2021).

Distribución espacial de *P. oleifolius*

Es común que las especies de sucesión tardía, y especialmente dioicas, se distribuyan en agregados por su baja producción de semillas, la dispersión cercana, la preferencia de hábitats respecto a la topografía y por la disponibilidad de nutrientes (Davies et al., 2005; Seidler y Plotkin, 2006). En este trabajo se encontró un patrón de distribución en agregados en todos los fragmentos estudiados de *P. oleifolius* (Fig. 3 y Fig. 4) y similar a lo encontrado en otros fragmentos de la especie ubicados al sur del Ecuador (Aguirre y Encarnación, 2021). El mecanismo de dispersión de semillas de *P. oleifolius* es por aves y gravedad (Gómez, 2008), lo cual favorece la agrupación de individuos dado que la dispersión por avifauna tiende a caer en un radio relativamente estrecho (40 m y 50 m) y por gravedad entre 1 m y 5 m alrededor del árbol madre (Guariguata y Ostertag, 2002). Este tipo de agrupación de los individuos de la especie podría ser una estrategia de polinización para mantener los machos y las hembras juntos en un radio que por lo general no supera los 120 m en los bosques (Fig. 3 y Fig. 4), y así no superar los límites de la polinización de individuos (Bierzuchudek y Eckhart, 1988). Al respecto, se encontró que en *Podocarpus falcatus*, en Sudáfrica, una distancia entre individuos mayor de 70 m es limitante para efectos de polinización y producción de semillas (Midgley,

1989). Otro factor que podría conllevar a la agrupación de individuos es la preferencia de la especie por suelos pobres y con altas pendientes (Marín, 1998), como lo muestra la zonificación de los fragmentos de bosque según las características de los suelos (Fig. 5, Anexo 1).

CONCLUSIONES

La conservación de la diversidad genética es esencial para la adaptación de las poblaciones a los cambios ambientales y el mantenimiento de las poblaciones para posibles usos futuros. Este estudio, realizado en fragmentos de bosque remanentes en la zona andina colombiana con poblaciones de *P. oleifolius*, muestra que la extracción selectiva de individuos de esta especie está concentrándola en fragmentos pequeños con baja densidad de individuos y un amplio espaciamiento entre ellos, disminuyendo las posibilidades de polinización y reduciendo las características fenotípicas de los individuos. Los pocos fragmentos remanentes de bosque con presencia de la especie del suroccidente colombiano son de especial importancia para la conservación de *P. oleifolius*, y requieren del establecimiento de labores de manejo urgente para evitar la desaparición de esta importante especie a largo plazo.

REFERENCIAS

- Aguirre, Z., & Encarnación, A. (2021). Evaluación de parámetros poblacionales y regeneración natural de *Podocarpus oleifolius* D. Don (Podocarpaceae) en dos relictos boscosos del sur del Ecuador. *Arnaldoa*, 28(1), 199-206. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.281.28112>
- Allen, G., & Antos, J. (1993). Sex ratio variation in the dioecious shrub *Oemleria cerasiformis*. *The American Naturalist*, 141(4), 537-553. <https://doi.org/10.1086/285490>
- Álvarez, J. C., Ospina-Zapata, D., Rojas, W., & Quijano, M. A. (2018). Effect of the intensive exploitation and forest fragmentation in the genetic structure of *P. oleifolius* in the Colombian Central Andes. *Revista Bionatura*, 3(3), 649-685. <https://doi.org/10.21931/RB/2018.03.03.4>
- Arzate, A., Gutiérrez, G., & Heredia, R. (2016). *Diversidad genética de dos especies de coníferas en el nevado de Toluca: Una alternativa de conservación*. Universidad Autónoma del Estado de México.

- Bierzychudek, P., & Eckhart, V. (1998). Spatial Segregation of the Sexes of Dioecious Plants. *The American Naturalist*, 132(1), 34-43. <https://doi.org/10.1086/284836>
- Bocanegra, K., Thomas, E., Guillemín, M., Alcazar, C., Moscoso, L. G., Gonzalez, M., & 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://dx.doi.org/10.15446/caldasia.v41n1.71327>
- Bowman, J., Jaeger, J. A., & Fahrig, L. (2002). Dispersal distance of mammals is proportional to home range size. *Ecology*, 83(7), 2049-2055. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2002\)083\[2049:DDOMIP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[2049:DDOMIP]2.0.CO;2)
- Carilla, J., & Grau, R. (2011). Tendencias sucesionales de los bosques montanos subtropicales del noroeste argentino. *Bosque*, 32(2), 97-111. <http://doi.org/10.4067/S0717-92002011000200001>
- Carroll, S., & Mulcahy, D. (1993). Progeny sex ratio in dioecious *Silene latifolia* (Caryophyllaceae). *American Journal of Botany*, 80(5), 551-556. <https://doi.org/10.2307/2445371>
- Chiapero, A. (2019). *Dinámica reproductiva y flujo de genes de Lithraea molleoides (Anacardiaceae) en bosques fragmentados del Chaco Serrano* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Córdoba].
- Cogollo, A., Velásquez, C., Toro, L., & García, N. (2007). Las podocarpáceas. En N. García (Ed.), *Libro Rojo de Plantas de Colombia. Vol. 5: Las magnoliáceas, las miristicáceas, y las podocarpáceas. Serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia* (pp. 193-224). Instituto Alexander von Humboldt – CORANTIOQUIA – Jardín Botánico Joaquín Antonio Uribe de Medellín – Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia – Ministerio de medio ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Condit, R., Sukumar, S., & Hubbell, R. (1998). Predicting population trends from size distributions: a direct test in a tropical tree community. *The American Naturalist*, 152(4), 495-509. <https://doi.org/10.1086/286186>
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca [CAR] (2018). *Plan de conservación y manejo de Podocarpus oleifolius d. Don ex Lamb (pino colombiano) en la jurisdicción CAR*. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca.
- Corea, E. (2012). Conservación y reproducción ex situ de especies forestales en peligro de extinción en Costa Rica. *Revista Mensual sobre la Actualidad Ambiental*, 229(4), 23-28.
- Davies, M., Curran, C., Tietmeyer, A., & Miller, A. (2005). Dynamic tree aggregation patterns in a species-poor temperate woodland disturbed by fire. *Journal of Vegetation Science*, 16(2), 167-174. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2005.tb02352.x>
- Elutérigo, A., & Pérez, D. (2009). Transplanting Tree Ferns to Promote Their Conservation in Mexico. *American Fern Journal*, 99(4), 279-291.
- Flórez, M., & Paz, L. (2019). Estructura poblacional y patrón espacial de *Brosimum alicastrum* en el bosque seco de la región Caribe de Colombia. *Caldasia*, 41(1), 152-164. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v41n1.71307>
- Flores, N. (2011). Ecología de Poblaciones y comunidades. En A. I. Domic (Ed.), *Biodiversidad y conservación: una guía informativa* (pp. 26-43). Asociación para la Biología de la Conservación.
- Franklin, L. R. (1980). Evolutionary change in small populations. En M. E. Soule, & B. A. Wilcox (Eds.), *Conservation Biology - An evolutionary-ecological perspective* (pp. 135-149). Sinauer Associates.
- Gómez, M. L. (2008). *Estudio fenológico de 25 especies forestales en la jurisdicción de Corantioquia*. Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia.
- Gómez, M. L., López, S., & Pérez, M. (2009). ¿Qué tan distintas son las hembras de los machos?: diferencias de asignación de recursos al crecimiento en el arbusto dioico *Atriplex polycarpa* Torr. (Caryophyllales: Amaranthaceae). *Lacandonia*, 3(1), 35-42.
- Gómez, C., Rodríguez, S., Quijano, M., & Tobón, M. (2016). Programa integral de conservación y recuperación para las especies *Podocarpus oleifolius*, *Godoya antioquiensis* y *Cariniana pyriformis* en áreas de bosque montano bajo y bosque húmedo tropical del oriente antioqueño. En M. Quijano (Ed.), *Flora del Oriente Antioqueño: Biodiversidad, ecología y estrategias de conservación* (pp. 139-152). Fondo Editorial Universidad Católica de Oriente.
- González, A., Delgado, P., Molina, A., Flores, C., Vargas, J. P., & García, J. (2021). Diversidad genética en poblaciones de *Pinus remota* (Pinaceae) del Noreste de México: evidencias de declinamiento demográfico histórico. *Acta Botanica Mexicana*, (128), e1890. <https://doi.org/10.21829/abm128.2021.1890>
- Guariguata, M. R., & Ostertag, R. (2002). Sucesión secundaria. En M. R. Guariguata, & G. H. Kattan (Eds.), *Ecología y conservación de bosques neotropicales* (pp. 591-623). Editorial tecnológica.
- Gutiérrez, A., Aravena, J., Carrasco, N., Christie, D., Fuentes, M., & Armesto, J. (2008). Gap-phase dynamics and coexistence of a long-lived pioneer and shade-tolerant tree species in the canopy of an old-growth coastal temperate rain forest of Chiló Island, Chile. *Journal of Biogeography*, 35(9), 1674-1687. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2699.2008.01908.x>
- Holloway, J. T. (1954). Forest and climate in the South Island of New Zealand. *Transactions and Proceedings of the Royal Society of New Zealand*, 82, 329-410.



- Iszkulo, G., Jasińska, A. K., Giertych, M., & Boratyński, A. (2009). Do secondary sexual dimorphism and female intolerance to drought influence the sex ratio and extinction risk of *Taxus baccata*? *Plant Ecology*, 200(2), 229-240. <https://doi.org/10.1007/s11258-008-9447-5>
- Lamprecht, H. (1990). *Silvicultura en los trópicos: Los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas, posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido*. GTZ, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit.
- Lande, R. (1995). Mutation and conservation. *Conservation Biology*, 9(4), 782-792. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1995.09040782.x>
- Leshner, J., Martínez, J., Orduña, P., & Hernández, A. (2018). Diversidad genética del cedro rojo (*Cedrela odorata*) en el estado de Tabasco, México. *Bosque*, 39(3), 411-417. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002018000300411>
- Louman, B., Quirós, D., & Nilsson, M. (2001). *Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Massei, G., Watkins, R., & Hartley, S. (2006). Sex-related growth and secondary compounds in *Juniperus oxycedrus macrocarpa*. *Acta Ecológica*, 29(2), 135-140. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2005.08.004>
- Marín, A. (1998). *Ecología y silvicultura de las podocarpaceas andinas de Colombia*. Smurfit Kappa Cartón de Colombia.
- Melo L., F. P., Lemire, D., & Tabarelli, M. (2007). Extirpation of large-seeded seedlings from the edge of a large Brazilian Atlantic Forest fragment. *Ecoscience*, 14(1), 124-129. [https://doi.org/10.2980/1195-6860\(2007\)14\[124:EOLSFT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2980/1195-6860(2007)14[124:EOLSFT]2.0.CO;2)
- Midgley, J. (1989). Pollen dispersal distances for a conifer canopy species in the Knysna forest. *South African Journal of Botany*, 55(6), 662-663. [https://doi.org/10.1016/S0254-6299\(16\)31137-1](https://doi.org/10.1016/S0254-6299(16)31137-1)
- Montenegro, S. A., Delgado, F., Pantoja, Y. P., Calderon, J. J., & Noguera-Urbano, E. A. (2019). Especies emblemáticas para la conservación de ecosistemas en el departamento de Nariño, Colombia. *Ecosistemas*, 28(3), 174-184. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1750>
- Montesinos, D. (2007). *Juniperus thurifera*: una especie dioica, vecera y relicta. *Ecosistemas*, 16(3), 172-185. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/465>
- Obeso, J. (2020). The cost of reproduction in plants. *New Phytologist*, 155(3), 321-348. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2002.00477.x>
- Rivera, R. (2007). *Estudio de la diversidad genética y su distribución espacial en poblaciones de Podocarpus oleifolius D. Don de los departamentos de Antioquia, Cundinamarca y Boyacá* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia].
- Ruiz, L., López, M., Lorenzo, C., García, M., & Ramirez, N. (2021). Variación genética de cuatro especies de árboles tropicales de la reserva de la biósfera Selva El Ocote, Chiapas, México. *Acta Botánica Mexicana*, (128), e1847. <https://doi.org/10.21829/abm128.2021.1847>
- Seidler, T. G., & Plotkin, J. B. (2006). Seed dispersal and spatial pattern in tropical trees. *Plos Biology*, 4(11), e344. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0040344>
- Shaffer, M. L. (1981). Minimum population sizes for species conservation. *BioScience*, 31(2), 131-134. <https://doi.org/10.2307/1308256>
- Styles, B. T., & Hughes, C. E. (1983). Studies of variation in Central American pines III. Notes on the taxonomy and nomenclature of the pines and related gymnosperms in Honduras and adjacent Latin American republics. *Brenesia*, 21, 269-291.
- Tischendorf, L., Grez, A., Zaviero, T., & Fahrig, L. (2005). Mechanisms affecting population density in fragmented habitat. *Ecology and Society*, 10(1), 7. <http://www.ecologyandsociety.org/vol10/iss1/art7/>
- Torres, J. H. (1988). Podocarpaceae. En P. Pinto, & G. Lozano (Eds.), *Flora de Colombia* (pp. 1-75). Universidad Nacional de Colombia.
- Vásquez, A. (2010). *Anatomía de la madera las podocarpaceas colombianas* [Tesis de doctorado, Universidad de Córdoba].
- Vidal, C. (2004). Distribución geográfica y caracterización de hábitat de seis especies arbóreas en el corredor biológico San Juan la Selva, Costa Rica [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza - CATIE].
- Vinceti, B., Amaral, W., & Meilleur, B. (2004). *Desafíos de la ordenación de los recursos genéticos silvícolas para contribuir a la subsistencia: Ejemplos de Argentina y Brasil*. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos.
- Wiegand, T., & Moloney, K. (2014). *Handbook of Spatial point-pattern Analysis in Ecology*. CRC Press.

Manuscrito recibido el 09 de octubre de 2023

Aceptado el 12 de mayo de 2024

Publicado el 05 de septiembre de 2024

Este documento se debe citar como:

López Duymovic, C. J., Perdomo Hurtado, F. E., Marín Vélez, A. M., & Ramírez Correa, J. A. (2024). Caracterización estructural de fragmentos de *Podocarpus oleifolius* en bosques remanentes del suroccidente colombiano. *Madera y Bosques*, 30(2), e3022642. <https://doi.org/10.21829/myb.2024.3022642>



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercialCompartirIgual 4.0 Internacional.

ANEXO 1. Características físicas y químicas de los suelos en los bosques que conforman el área de estudio.

Sitio	Textura	pH	Pendiente	C.O.	CIC	K	Ca	Mg	P	S	B	Fe	Cu
			%			meq/100g			mg/kg				
Bosque Intervenido – BI	FArA	5.16	57	3.80	3.51	0.02	1.49	0.57	3.76	6.79	0.25	101.60	2.47
Bosque Medianamente Intervenido – BMI	F	5.26	66	4.22	6.74	0.01	4.60	1.17	8.47	12.67	0.33	87.25	2.1
Bosque No Intervenido – BNI	FA	4.05	59	9.30	5.22	0.04	0.78	0.58	9.29	12.83	0.54	363.00	1.2

Valores promedio de dos análisis de suelo por sitio. Análisis realizados por el laboratorio Campo. C.O. carbono orgánico. CIC: capacidad de intercambio catiónico.