



ESTRUCTURA POBLACIONAL Y DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL ROBLE NEGRO (*Colombobalanus excelsa*) EN FRAGMENTOS DE BOSQUE ANDINO COLOMBIANO

Natalia Aguirre Acosta & Jorge Eduardo Botero Echeverri

Artículo recibido el 15 de febrero de 2015, aprobado para publicación el 20 de mayo de 2015.

Resumen

Los bosques andinos en Colombia son reconocidos por su alta biodiversidad y endemismo, sin embargo, han experimentado un severo proceso de extinción y fragmentación debido a procesos antrópicos. Como resultado de esto, muchas especies vulnerables han sido particularmente afectadas. Este es el caso del roble negro (*Colombobalanus excelsa*), que es una especie endémica y poco estudiada de los Andes colombianos, cuya distribución está restringida a cuatro localidades en el país, entre las cuales se encuentra el sector suroriental del departamento del Huila. Con el fin de estudiar las poblaciones de roble negro en la Serranía de Peñas Blancas (Huila), en 2006 evaluamos su estructura etaria y distribución espacial en cuatro parcelas de 50 x 20 m en cada uno de los cuatro fragmentos de bosque. Se registraron 1.228 individuos de roble negro entre adultos y juveniles. Se pudo confirmar que la mayoría de los individuos se encuentran en las primeras clases diamétricas, lo cual sugiere que las poblaciones de roble negro se encuentran en una fase de recuperación después de una fuerte intervención antrópica, sus poblaciones presentaron un patrón de distribución agregado debido al proceso de extracción de madera. El conocimiento del actual estado de los bosques de roble negro, puede contribuir para el diseño de efectivos planes de conservación de la especie en Colombia.

Palabras clave: Especie endémica, árbol vulnerable, conservación, disturbio antrópico, distribución restringida.

POPULATION STRUCTURE AND SPATIAL DISTRIBUTION OF BLACK OAK (*Colombobalanus excelsa*) IN A FRAGMENTED ANDEAN FOREST

Abstract

The Colombian Andean forests are recognized by their rich biodiversity with a high degree of endemism, however they have undergone a severe process of fragmentation due to anthropic factors. As a result, many vulnerable species have been especially affected. That is the case of the Black Oak (*Colombobalanus excelsa*), a Colombian endemism poorly studied species with a restricted distribution to only four localities in the country, one of which is the Southeastern corner of Huila department. To examine Black Oak populations in Serranía Peñas Blancas (Huila), in 2006 we studied the age structure and spatial distribution of Black Oaks in four plots of 50 x 20 m. We found a total of 1.228 adults and juveniles Black Oak individuals. This would indicate that Black Oak populations in all four fragments are undergoing a phase of recuperation after a strong human intervention. Black Oaks populations showed an aggregated spatial distribution, due to the wood extraction in this area. Understanding the present status of Black Oak forests will contribute to the design of effective conservation plans for the species in Colombia.

Key words: Endemic species, vulnerable tree, conservation, anthropic disturbance, restricted distribution

Introducción

Los bosques andinos son sitios reconocidos como hotspots de biodiversidad por su alto grado de endemismo y alta riqueza de especies (Orme *et al.*, 2005). Sin embargo, estos han sido fuertemente sometidos a presiones antrópicas como la deforestación, la ampliación de la frontera agrícola, el desarrollo urbanístico y la extracción o saqueo de madera, lo que ha conllevado a una pérdida del 73% de su cobertura original desde 1980 hasta el 2006 (Cavelier & Etter, 1993., Etter *et al.*, 2006). Generalmente estos cambios en la cobertura arbórea, van acompañados de un proceso de

fragmentación, cuya principal consecuencia es la formación de parches de bosque de diferentes tamaños aislados entre sí, dando como resultado una alteración de la estructura, distribución y funcionamiento de las comunidades vegetales, además de reducción de los tamaños poblaciones de las plantas nativas (Saunders, *et al.*, 1991., Fahrig, 2003., Etter, *et al.*, 2006).

Esta fragmentación del bosque, puede afectar de manera particular poblaciones de especies endémicas con distribuciones restringidas y sistemas reproductivos complejos. Este es el caso del roble negro *Colombobalanus excelsa* (Nixon & Crepet, 1989), una especie endémica de

los bosques andinos colombianos que presenta un sistema sexual monoico, con inflorescencias unisexuales, baja tasa de germinación y bajo reclutamiento de nuevos individuos (Cárdenas & Salinas. 2006, Palacio-Mejía & Fernández-M. 2006., Parra-Aldana, *et al.*, 2011). Su distribución ha quedado restringida a solo cuatro localidades, situadas entre 1.400 y 2.200 m.s.n.m en las tres cordilleras andinas. Particularmente, en esta altitud donde se encuentra el roble negro, los cambios en la cobertura original del bosque se han modificado principalmente para el establecimiento de café y otros cultivos como actividad económica, y en los últimos años la pérdida de bosque en estos sitios, se ha relacionado con la ganadería extensiva y al crecimiento urbano (Etter *et al.*, 2006, Forero, 2010).

El estudio de la estructura poblacional y la distribución espacial del roble negro en poblaciones aisladas y sometidas a presión antrópica, ubicadas en una matriz del paisaje dominada por cafetales, como es el caso de las poblaciones en los fragmentos de bosque del suroriente del Huila, nos permite conocer la viabilidad de estas poblaciones bajo el estrés generado por los diferentes disturbios antrópicos actuales, concretamente la tala selectiva y la fragmentación de bosque. Además, el conocimiento de los patrones ecológicos y los procesos por los cuales las poblaciones de estos fragmentos han sido y son modificadas, sirven para tomar decisiones apropiadas para buscar la conservación de esta especie, y más específicamente la conservación y recuperación de estos fragmentos de bosque de alta importancia biológica y económica para la región.

El objetivo de este estudio se centró en evaluar la estructura poblacional y la distribución espacial de las poblaciones en cuatro fragmentos de bosque situados en la Serranía de Peñas Blancas-Huila, distribución más sur de la especie, con la finalidad de aportar conocimiento de su dinámica ecológica. Actualmente el roble negro está catalogado como vulnerable a la extinción en estado silvestre, debido a la fragmentación de bosque y al saqueo selectivo de su madera (Cárdenas & Salinas, 2006., Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). Según Devia & Arenas (1995) y Calderón (2001), la vulnerabilidad de esta especie está asociada particularmente a que es un árbol emergente del bosque, con características que lo hacen propicio para ser utilizado como materia prima por los aserradores locales, ya que puede alcanzar una altura entre 20 y 40 m, con copa globosa y fuste recto, de más de un metro de diámetro a la altura del pecho y una madera de alta dureza (Parra-Aldana *et al.*, 2011). Es por esto que esperamos encontrar poblaciones aisladas, en fase de recuperación, además de encontrar distribuciones no aleatorias de los

individuos en cada fragmento de bosque, debido a la tala selectiva que ha tenido la especie en estos sitios, además del proceso de fragmentación de bosque, que se ha dado en el sur oriente del Huila.

Materiales y métodos

El área de estudio se ubica en la zona más sur de distribución de la especie. los cuatro fragmentos de bosque estudiados La Palma, La Marimba, Alto Santa Bárbara y Alto Bellavista, se ubican en la parte más alta de la Serranía de Peñas Blancas, en el extremo sur oriental del departamento del Huila (Cuadro 1, Figura 1), entre 1.630 y 1.900 m y comprenden zonas de montaña con pendientes marcadas. Esta es una región altamente intervenida por el hombre, en donde la fragmentación de los bosques es debida principalmente al uso de los suelos para cultivo de café y ganadería. La temperatura promedio de la región varía entre 16 y 20 °C, la precipitación presenta un pico máximo de lluvias en el mes de julio de 235 mm y uno mínimo en el mes de enero

Cuadro 1. Georreferenciación de los cuatro fragmentos de bosque y sus tamaños en hectáreas.

Fragmento de Bosque	Coordenadas	Grado de Intervención	Tamaño Ha
Alto Bellavista	01°48'09,2``N 75°59'16,4``W	Media	100
La Palma	01°49'49,6``N 75°58'37,4``W	Alta	80
Alto Santa Bárbara	01°52'33,6``N 75°56'9,1``W	Alta	200
La Marimba	01°46'4,6``N 75°59'33,4``W	Media	400

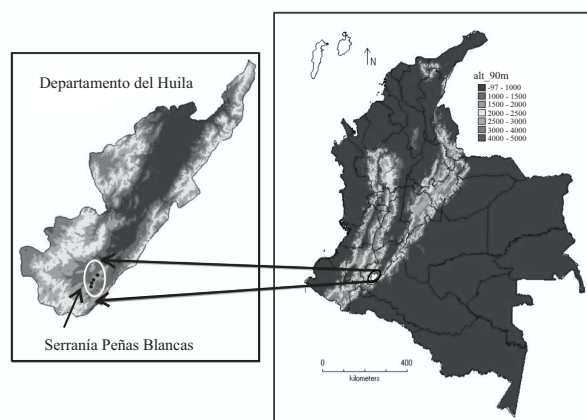


Figura 1. Ubicación espacial de los cuatro fragmentos de bosque: de Sur a Norte son: La Marimba, Alto Bellavista, La Palma y Alto Santa Bárbara, en la Serranía Peñas Blancas, departamento del Huila-Colombia. Programa Diva Gis (Hijmas *et al.* 2005).

de 63 mm (Eslava *et al.*, 1986). Las condiciones ecológicas de los sitios de estudio según el sistema de clasificación de Cleef *et al.* (1984) son las de un bosque sub-andino. El fragmento de bosque alto Bellavista, recibe protección por parte del grupo de caficultores del Grupo Asociativo San Isidro, así mismo el fragmento de bosque La Marimba recibe protección por parte de la comunidad de la zona aledaña, ambos fragmentos de bosque tienen menor intervención antrópica en relación a los otros fragmentos de bosque.

Muestreo

Estructura poblacional: en cada fragmento de bosque se delimitaron cuatro parcelas de 50 x 20 m (1.000 m², Urrego & González 2000, Vallejo *et al.*, 2005) durante el año 2006, con un área total medida de 4.000 m² (0,4 has). En cada parcela, se midieron todos los individuos de roble negro sin discriminar su diámetro a la altura del pecho (DAP). Se clasificaron como: plántulas a los individuos con una altura $\leq 1,3$ m, a los cuáles no se les midió DAP, sino únicamente su altura. Juveniles a los individuos con un DAP $\leq 9,9$ cm, adultos a los individuos con DAP ≥ 10 cm (Caldato *et al.*, 2002). Dentro de cada fragmento de bosque, las parcelas fueron ubicadas aleatoriamente con la finalidad de obtener la mayor variabilidad local posible. Estas cuatro parcelas por fragmento de bosque, luego fueron sumadas a una unidad de análisis, con la finalidad de obtener la estructura etaria por remanente de bosque y no por parcela, debido a que nuestro interés particular era comparar los diferentes fragmentos de bosque; quedando así un área total evaluada por fragmento de bosque de 4.000 m² (0,4 has).

Distribución espacial: para determinar la distribución espacial del roble negro en cada parcela de 1000 m², cada individuo fue ubicado en un plano cartesiano, donde X indicaba una distancia de 0 a 20 m y Y de 0 a 50 m (Alder & Synnot 1992, Vallejo *et al.*, 2005). Como se menciona anteriormente, estas cuatro parcelas por fragmento de bosque, fueron sumadas a una unidad de análisis, quedando así un área total evaluada por fragmento de bosque de 4000 m² (0,4 has), donde X indica una distancia de 0 a 40 m y Y una distancia de 0 a 100 m.

Análisis de datos

Estructura etaria: por medio del programa Infostat versión 2012 (INFOSTAT, 2004), se obtuvieron modelos probabilísticos de distribución de frecuencias diamétricas de todos los individuos en cada uno de los cuatro remanentes de bosque. Para poder incluir en los análisis los individuos a los que no se les midió el DAP

(plántulas), se transformaron los datos sumando uno a cada diámetro (DAP + 1), dividiendo el total de individuos en ocho clases diamétricas. Por último, para la obtención de los modelos, se utilizaron frecuencias relativas. La frecuencia relativa el cociente entre la frecuencia absoluta y el tamaño de la muestra.

Para determinar el ajuste del mejor modelo teórico de distribución de frecuencias diamétricas, se realizó la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov (Johnson *et al.*, 1995). Por último, se comparó la densidad de individuos por hectárea y el DAP promedio de cada fragmento por medio de la prueba χ^2 (Zar, 1999). La proporción de individuos por clase diamétrica se comparó por medio de una prueba Wilcoxon no paramétrica (Zar, 1999).

Distribución espacial: con las coordenadas obtenidas para cada individuo dentro de cada parcela se analizó si los individuos presentaban un patrón de distribución espacial aleatorio o no. Se aplicó la metodología de análisis espacial por índices de distancia, SADIE (Spatial analysis by distance Indices) por sus siglas en inglés (Perry, 1995). Con esta metodología cada individuo recibió una posición espacial a través de sus coordenadas cartesianas (X, Y) y estos se analizaron a través del índice de agregación I_a (Perry, 1995). Donde, valores de $I_a > 1$ indican distribución agregada, $I_a < 1$ indican distribución uniforme, y $I_a = 1$ indican distribución aleatoria (Perry *et al.*, 1996., Perry, 1998). Estos análisis fueron desarrollados con el programa SADIEShell versión 2 (Perry *et al.*, 1996., Conrad *et al.*, 2006).

Resultados

Estructura poblacional

Fueron censados 1.228 individuos en los cuatro fragmentos de bosque en un total de 1,6 has (0,4 has por sitio de muestreo o fragmento de bosque). Encontrándose 105 individuos en Alto Bellavista, 399 en la Palma, 505 en Alto Santa Bárbara y 218 en La Marimba. Al llevar esta densidad de individuos por hectárea, la densidad varió entre 262,5 ha en Alto Bellavista, 997,5 ha en la Palma, 1,265 ha en Alto Santa Bárbara y 545 ha en La Marimba, encontrándose diferencias significativas entre los fragmentos de bosque ($\chi^2 = 788,19$., gl.3 $p < 0,001$). Así mismo el DAP promedio por fragmento varió entre 15,22 y 39,27, lo que también evidencia diferencias significativas entre fragmentos de bosque ($\chi^2 = 15,35$., gl.3 $p < 0,005$) (Cuadro 2).

En total, los individuos de cada fragmento de bosque se

Cuadro 2. Individuos totales medidos en cada fragmento de bosque.

Fragmento de Bosque	ind totales	ind Ha	DAP prom
Alto Bellavista	105,00	262,50	39,27
La Palma	399,00	997,50	15,22
Alto Santa Bárbara	506,00	1,27	17,14
La Marimba	218,00	545,00	22,10

Ha: hectárea, DAP: diámetro a la altura del pecho promedio para cada fragmento de bosque.

dividieron en ocho clases diamétricas (Cuadro 3). En esta división, podemos observar que la mayor proporción de individuos en general en los cuatro fragmentos de bosque, se encuentra en las tres primeras clases diamétricas, como ejemplo, Alto Bellavista presentó en su primera clase diamétrica 59% del total de los individuos censados, Alto Santa Bárbara 80%, La Palma 87% y La Marimba 70% respectivamente (Cuadro 3). Cuando comparamos entre fragmentos de bosque esta proporción de individuos en cada clase diamétricas, pudimos observar que no se evidencian diferencias significativas ($W=6,027$. $p=0,1$), indicando que, aunque hay una variación en cantidad de individuos encontrados entre fragmentos de bosque, esta proporción no difiere entre cada clase diamétrica.

Modelos probabilísticos y estructura etaria: para cada uno de los fragmentos de bosque se obtuvo un modelo de distribución de frecuencias diamétricas (Cuadro 4, Figura 2). Estos modelos tuvieron dos tipos de ajustes para los cuatro fragmentos de bosque estudiados, así el modelo probabilístico de distribución de frecuencias diamétricas con mayor ajuste fue el Gama, para los fragmentos de bosque Bellavista, La Palma y La Marimba; y el modelo Weibull, para el fragmento de bosque, Alto Santa Bárbara (Figura 2). Los modelos Gamma y Weibull que se ajustaron a cada fragmento, sugieren que los bosques pertenecen a rodales multietáneos. Estos modelos representan distribuciones exponenciales inversas o J invertida, lo que concuerda con las estructuras poblacionales encontradas en cada fragmento de bosque (Cuadro 3), las cuales presentan una mayor cantidad de individuos en los primeros estadios de vida o clases etarias.

Distribución espacial del roble negro en cada remanente de bosque

Estas distribuciones espaciales fueron obtenidas para cada uno de los fragmentos de bosque. Todos los fragmentos presentaron distribuciones espaciales agregadas $Ia > 1$ aunque con diferentes valores de significancia, así: Alto Bellavista ($Ia= 1,483$. $p= 0,0493$) y La Marimba ($Ia= 1,875$. $p= 0,0035$) presentaron una distribución agregada estadísticamente significativa y,

La Palma ($Ia= 10,974$., $p= 0,0002$) y Alto Santa Bárbara ($Ia= 10,857$., $p= 0,0002$) presentaron una distribución agregada altamente significativa. Para ejemplificar mejor los resultados de Ia , graficamos cada individuo con sus respectivas coordenadas en un plano cartesiano para cada fragmento de bosque (Figura 3).

Discusión

Existe una gran variación en la densidad de individuos por hectárea para cada uno de los fragmentos de bosque.

Cuadro 3. Densidades de los individuos de roble negro para los cuatro fragmentos de bosque intervenido.

Alto Bellavista			
Clases diamétricas	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Individuos por Ha
1-35,88	62	0,59	155,00
35,88-70,75	20	0,19	50,00
70,75-105,63	13	0,12	32,50
105,63-140,5	8	0,08	20,00
140,5-175,38	2	0,02	5,00
175,38-210,25	0	0,00	0,00
210,25-245,13	0	0,00	0,00
245,13-280	0	0,00	0,00
Total	105	1	262,50
Alto Santa Bárbara			
1-25,75	406	0,80	1015,00
25,75-50,5	62	0,12	155,00
50,5-75,25	28	0,06	70,00
75,25-99,99	5	0,01	12,50
99,99-124,74	4	0,01	10,00
124,74-149,49	0	0,00	0,00
149,49-174,24	0	0,00	0,00
174,24-198,99	1	0,00E+00	2,50
Total	506	1	1265,00
La Palma			
1-34,82	348	0,87	870,00
34,82-68,64	35	0,09	87,50
68,64-102,46	9	0,02	22,50
102,46-136,28	4	0,01	10,00
136,28-170,1	0	0	0,00
170,1-203,92	1	2,50E-03	2,50
203,92-237,74	0	0	0,00
237,74-271,56	2	0,01	5,00
Total	399	1	997,50
La Marimba			
1-23,2	153	0,70	382,50
23,2-45,4	28	0,13	70,00
45,4-67,61	10	0,05	25,00
67,61-89,81	13	0,06	32,50
89,81-112,01	5	0,02	12,50
112,01-134,21	4	0,02	10,00
134,21-156,41	4	0,02	10,00
156,41-178,62	1	4,60E-03	2,50
Total	218	1	545,00

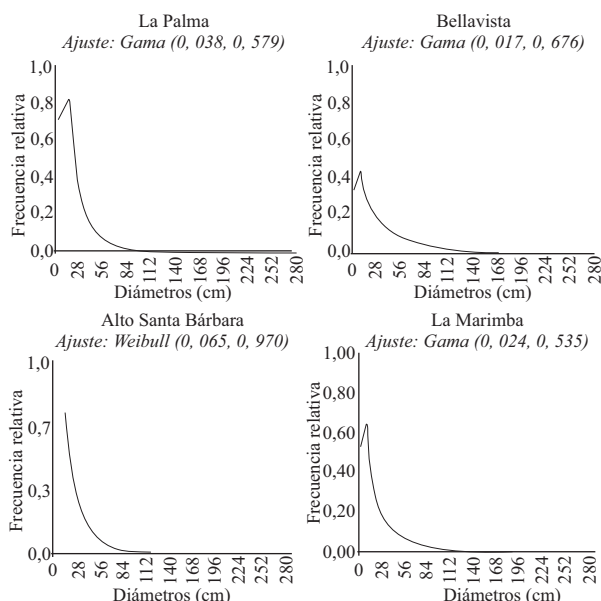


Figura 2. Modelos probabilísticos de distribución de frecuencias diamétricas en individuos de Roble Negro, para los cuatro fragmentos de bosque intervenido.

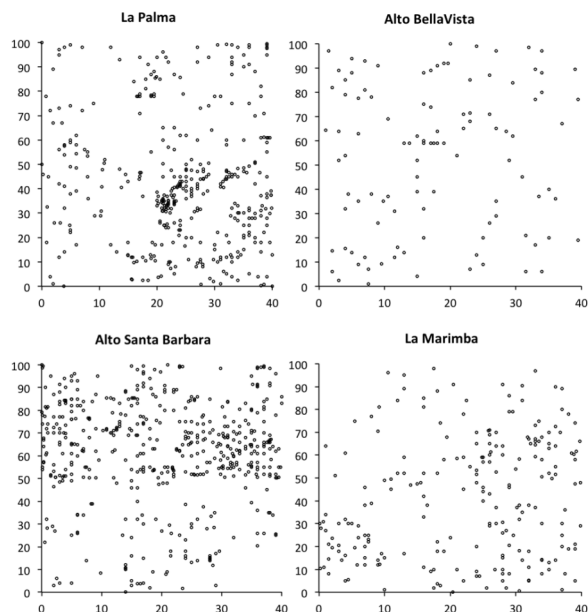


Figura 3. Distribución espacial de individuos de roble negro en los cuatro fragmentos de bosque.

Cuadro 4. Ecuaciones de los modelos probabilísticos de distribución de frecuencias diamétricas obtenidos para cada fragmento de bosque a partir del programa Infostat versión 2012.

Fragmento	Función	Ecuación	Valor P	α
Alto Bellavista	Gamma	$f(x,\alpha,r)=\frac{0,676}{\Gamma(0,017)}((0,676)(105))^{0,017-1}e^{-(0,676)(105)}$	0,84	0,01
La Palma	Gamma	$f(x,\alpha,r)=\frac{0,579}{\Gamma(0,038)}((0,579)(399))^{0,038-1}e^{-(0,579)(399)}$	0,84	0,01
Alto Santa Bárbara	Weibull	$f(c,\alpha,k)=1-e^{-(506/0,970)c^{0,065}}$	0,94	0,01
La Marimba	Gamma	$f(x,\alpha,r)=\frac{0,535}{\Gamma(0,024)}((0,535)(218))^{0,024-1}e^{-(0,535)(218)}$	0,84	0,01

Parámetros evaluados en Función Gamma: forma $r > 0$, escala $\alpha > 0$ y en Función Weibull: forma $k > 0$, escala $\alpha > 0$.

Esta gran variación podría ser el resultado de diferentes procesos de regeneración y establecimiento después de diferentes intensidades de tala o saqueo de madera. Por ejemplo, en el fragmento de bosque de Alto bellavista, el cual es protegido por la comunidad local y tuvo una menor intensidad de saqueo, la densidad fue de 262,5 ind/ha, en contraste con el fragmento de bosque de Alto Santa Bárbara donde la densidad fue de 1.265 ind/ha siendo el fragmento de bosque más intervenido. Estos resultados coinciden con lo encontrado en otros estudios realizados sobre la misma especie y en bosques cercanos a nuestros sitios de estudio. Por ejemplo, Parra-Aldana, *et al.*, (2011), en poblaciones muy intervenidas encontraron una densidad de 430 ind/ha y Dávila *et al.*, (2012) encontraron una densidad de 281,7 ind/ha en poblaciones menos intervenidas que se encuentran en el Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos.

En general el mayor porcentaje de individuos en todos los fragmentos de bosque se encuentra en las primeras clases diamétricas (Parra-Aldana *et al.*, 2011., Dávila *et al.*, 2012., Moreno, 2014) y este porcentaje es proporcional a la densidad de individuos por hectárea, por ejemplo, Alto Bellavista tiene el 59% del total de los individuos en la primera clase diamétrica y Alto Santa Bárbara tiene el 80%. Estos resultados indican, que estos bosques en general se encuentran en una fase de recuperación después de una fuerte intervención antrópica de diferentes intensidades en cada fragmento de bosque. Encontrar un alto porcentaje de individuos en la primera clase diamétrica, indica que puede estarse facilitando el establecimiento de plántulas en los cuatro fragmentos de bosque, y que este establecimiento es mayor en bosques más saqueados o talados. Probablemente existe mayor establecimiento debido a que el roble negro es una especie heliófita en sus primeros estadios de desarrollo,

osea, plántulas y árboles jóvenes necesitan de luz directa para su crecimiento y desarrollo (Nixon & Crepet 1989, Parra-Aldana *et al.*, 2011). Por otra parte, haber encontrado una alta densidad de individuos en la primera clase diamétrica en los cuatro fragmentos de bosque, nos permite sugerir que existe una reserva de individuos jóvenes que más adelante podrían reemplazar a los árboles de mayor tamaño que vayan desapareciendo (Villa *et al.*, 2005), ya sea por muerte natural o por extracción selectiva. Asimismo, la alta reserva de individuos en las primeras clases diamétricas, nos indica que de cierta forma la explotación selectiva de bosques de roble ha sido una herramienta eficaz para promover su regeneración natural (Guariguata & Saenz 2002., Guerrero *et al.*, 2010).

Sin embargo, estas conclusiones deben tomarse con precaución, ya que en este trabajo no evaluamos como varía el porcentaje de establecimiento y viabilidad de semillas en nuestros sitios de estudio, lo cual si ha sido reportado en otros trabajos desarrollados sobre la especie. Por ejemplo, Parra-Aldana *et al.*, (2011) encontraron un bajo establecimiento y una baja viabilidad de las semillas de la especie y Moreno (2014), encontró que la baja viabilidad de las semillas estaba asociado a una alta depredación de estas en el banco de semillas. Otros trabajos también han mencionado la dificultad en regeneración de diferentes especies de robles (Gonzales *et al.* 1995., Pulido, 2002), establecieron que la falta de reclutamiento conduce a la disminución a largo plazo de las poblaciones naturales (Sork *et al.* 2002).

Los modelos de distribución de frecuencias diamétricas, los cuales incluyen la cantidad de individuos por clases de tamaños o clases diamétricas dentro de una población, son buenos predictores del estado actual de poblaciones con algún grado de amenaza, como lo es el roble negro. En este trabajo, en los tres fragmentos de bosque se ajustaron modelos de distribución de frecuencias diamétricas Gamma y para el fragmento de bosque Alto Santa Bárbara, que presentó mayor disturbio antrópico, se ajustó un modelo Weibull. En general estos modelos representan poblaciones con distribuciones en J invertida, que indican que se trata de poblaciones disetáneas con estructuras de tamaños aparentemente balanceadas, en las cuales existe una mayor cantidad de individuos en las categorías diamétricas menores. Que solo una población presentara un modelo de distribución de frecuencias diamétricas diferente, puede deberse a la distribución de individuos por categorías de tamaños o clases etarias encontrados. Es evidente, que la población del fragmento de bosque Alto Santa Bárbara (bosque más

intervenido antrópicamente), presentó mayor cantidad de individuos totales (N=506) y mayor porcentaje de individuos en las primeras clases diamétricas (80% de individuos en la primera clase diamétrica), en relación a los otros tres bosques fragmentados, que hizo que la curva del modelo tuviera una pendiente mucho más pronunciada.

La distribución espacial fue agregada ($Ia > 1$) para cada uno de los cuatro fragmentos de bosque, siendo altamente significativa para La palma y Alto Santa Bárbara. La distribución espacial podría estar relacionada a la densidad de individuos encontrados en las primeras clases diamétricas y esta alta densidad en las primeras clases, a su vez puede estar relacionado a un alto establecimiento de plántulas en zonas de clareo después de un proceso de tala selectiva de individuos adultos de gran porte. La tala selectiva se practicó intensivamente en la zona de estudio en los años 80.

En general, podemos concluir que encontrar una estructura etaria que corresponde con poblaciones en J invertida y con distribuciones espaciales agregadas, que a su vez se ajustan a modelos de distribución diamétrica Gamma y Weibull; son poblaciones que se encuentran en fase de recuperación después de una fuerte intervención antrópica. Esta intervención ha afectado de manera más drástica a las poblaciones de los fragmentos La Palma y Alto Santa Bárbara y en menor medida a las poblaciones de los fragmentos Alto Bellavista y La Marimba. Sin embargo, esta intervención antrópica ha permitido que exista un establecimiento de plántulas en zonas de clareo, que de no existir probablemente la estructura etaria correspondería a poblaciones con mayor cantidad de individuos adultos, poblaciones clímax donde el establecimiento tiende a ser mínimo por la estructura de edades de los individuos (Crewley, 2003).

Finalmente, una de las consecuencias más agresivas de la fragmentación es la disminución del tamaño poblacional y los procesos que estos conllevan como son la endogamia y la disminución del tamaño poblacional efectivo. Esta especie, aunque presenta una gran cantidad de plántulas y juveniles que aseguran su permanencia en el tiempo, también presenta baja diversidad genética (Aguirre-Acosta, *et al.*, 2013, Palacio-Mejía & Fernández. 2006), lo que podría ocasionar una progresiva disminución de la capacidad reproductiva de la especie (Swaine, *et al.*, 1987.; Parra-Aldana *et al.*, 2011) y a su vez, una extinción a largo plazo. Es por esto, que el conocimiento que se pueda generar en cuanto a la dinámica poblacional del roble negro en cada una de las localidades donde aún existe, sirve como insumo para

generar planes de manejo y conservación en conjunto con las comunidades locales.

Agradecimientos

Agradecemos las observaciones realizados por dos revisores anónimos, a Jorge Paiba y Juan David Corrales por su ayuda en la toma de datos en campo y a las comunidades cafeteras por todo el apoyo logístico en los sitios de muestreo. Este trabajo estuvo enmarcado dentro del proyecto: Valoración de los servicios ambientales de la biodiversidad en zonas cafeteras (BDC 0304) programa Biología de la Conservación del Centro Nacional de Investigación en Café, CENICAFE. N.A-A desarrolló este trabajo como estudiante de pregrado de la Universidad de Caldas, actualmente es becaria doctoral por CONICET y estudiante de la UNC-Córdoba, Argentina; JEB-E es investigador de la disciplina de Recursos Naturales y Conservación de CENICAFE

Literatura citada

Aguirre-Acosta, N.; Palacio-Mejía, J. D.; Barrios-Leal, D. J. & Botero Echeverri, J. E. 2013. Diversity and Genetic Structure of the Monotypic Genus *Colombobalanus* (Fagaceae) in Southeast of Colombian Andeans. *Caldasia* 35(1): 123-133.

Alder, D. & Synnott, T.J. 1992. Permanent sample plot techniques for mixed tropical forests. *Tropical Forestry Papers*, Oxford Forestry Institute. 25, 124 pp.

Caldato, S. L.; Vera, N. & Mac, D. P. 2002. Estructura poblacional de *Ocotea puberula* en un bosque secundario y primario de la selva mixta misionera. *Ciencia forestal*, Santa María 13(1): 25-32.

Calderón, E. 2001. Plantas colombianas en peligro, extintas o en duda. Instituto Alexander Von Humboldt. Bogotá: Colombia.

Cárdenas, L. D. & Salinas, N. 2006. Libro rojo de plantas de Colombia. Especies maderables amenazadas, parte 1. Sinchi, Instituto Amazónico de investigaciones biológicas y Ministerio de medio ambiente, vivienda y desarrollo territorial. 169 pp.

Cavelier, J. & Etter, A. 1993. Deforestation of Montane Forest in Colombia as a Result of Illegal Plantations of Opium. IN: *Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forest*. Edited by Churchill, S., Balslev, H., Forero, E. & Luteyn J. The New York Botanical Garden, 1993. 541-549 pp.

Cleef, A. M.; Rangel, O-Ch.; Van Der Hammen, T. & Jaramillo, M. 1984. La vegetación de las selvas del transecto Buritaca. En: T. van der Hammen & P.M. Ruiz, Eds. *La Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia), transecto Buritaca-La Cumbre. Studies on Tropical Andean Ecosystems*, 2:267-406. Berlin-Stuttgart: J. Cramer.

Conrad, K. F.; Perry, J.N.; Woiwoid, I.P. & Alexander, C.J. 2006. Large-scale temporal changes in spatial pattern during declines of abundance and occupancy in a common moth. *Journal of Insect Conservation* 10: 53-64.

Crawley, M. 2003. *Plant Ecology*. Second Edition. 717 pp.

Dávila, E. D.; Alvis, J. F. & Ospina, R. 2012. Distribución espacial, estructura y volumen de los bosques de Roble negro (*Colombobalanus excelsa* (Lozano, Hern. Cam. & Henao) Nixon & Crepet) en el Parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos. *Colombia Forestal* 15(2): 207-2014.

Devia-C, C. A. & Arenas, H. S. 1995. Evaluación del estatus ecosistémico y de manejo de los bosques de fagáceas (*Quercus humboldtii* y *Trigonobalanus excelsus*) en el norte de la Cordillera Oriental (Cundinamarca, Santander y Boyacá). Capítulo 3. En: *Desarrollo sostenible en los Andes de Colombia (provincias del norte, Gutiérrez y Valderrama)* Boyacá Colombia. IDEADE. Pontificia Universidad Javeriana, Unión Europea.

Elzinga, C. L.; Salzer, D. W.; Willoughby, W.J. & Gibbs, J. P. 2001. *Monitoring plant and animal populations*. Blackwell Science, London. 360 pp.

Eslava, A.; López, A. & Olaya, G. 1986. Contribución al conocimiento del régimen térmico y pluviométrico de Colombia. *Colombia Geográfica* 12(2).

Etter, A.; Mcalpine, C.; Wilson, K.; Phinn, S. & Possingham, H. 2006. Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 114: 369-386.

Fahrig, L. 2003. Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. *Annual Review Ecology Evolution and Systematics* 34: 487-515.

Forero, J. 2010. “Colombian Family Farmers” Adaptations to New Conditions in the World Coffee Market. *Latin American Perspectives* 37: 93.

- González, M.; Ochoa, S.; Ramírez, N. & Quintana, P. 1995.** Current land use trends and conservation of old growth forest habitats in the highland of Chiapas, Mexico. pp. 190-198. In: Wilson M.H and Sader S.A. (eds). Conservation of neotropical migratory birds in Mexico. Maine Agriculture and Forest Experiment Station, Miscellaneous Publication 727 Orono, Maine.
- Guariguata, M. & Saenz, G. 2002.** Post-logging acorn production and oak regeneration in a tropical montane forest, Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 167(1-3): 285-293.
- Guerrero, B.; Paz, S. & Parrado, A. 2010.** Efectos de la intervención antrópica en la distribución de las semillas y plántulas de roble (*Quercus humboldtii* Bonpl., Fagaceae), en la cordillera oriental colombiana. *Colombia Forestal* 13(1): 163-180.
- Hijmans, J.; Guarino, L.; Bussink, C.; Mathur, P.; Cruz, M.; Barrentes, I. & Rojas, E. 2005.** DIVA-GIS: A geographic information system for the analysis of species distribution data. Versión 5.2.
- INFOSTAT. 2004.** Manual del Usuario. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Primera Edición, versión 2004, Editorial Brujas Argentina. 318 p.
- Johnson, L.; Kotz, S. & Balakrishnan, N. 1995.** Continuous Univariate Distributions. Volume 1. Second Edition. John Wiley & Sons, Inc. 756
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2010.** Resolución 383 de febrero de 2010. Por la cual se declaran las especies silvestres que se encuentran amenazadas en el territorio nacional y se toman otras determinaciones. Diario oficial No. 47635 de 26 de febrero de 2010.
- Nixon, C. & Crepet, W. 1989.** *Trigonobalanus* (Fagaceae): Taxonomic Status and Phylogenetic Relationships. *American Journal of Botany* 76(6): 828-841.
- Moreno, J. S. 2014.** Estructura poblacional del roble negro (*Colombobalanus excels*) en el Valle del Cauca, una herramienta para la formulación de una estrategia para su conservación. Tesis de pregrado. Universidad Icesi. 55 pp.
- Orme, L.; Davies, G.; Burgues, M.; Eingenbrod, F.; Pickup, N.; Olson, A.; Webster, J.; Ding, S.; Rasmussen, C.; Ridgely, S.; Stattersfield, J.; Bennett, M.; Blackburn, M.; Gaston, J. & Owens, F. 2005.** Global hotspots of species richness are not congruent with endemism or threat. *Nature* 436: 1016-1019.
- Palacio-Mejía, D. & Fernández-M, F. 2006.** Estado de la investigación en genética de la conservación de los robles (Fagaceae) en Colombia. En: Memorias del I Simposio Internacional de Robles y Ecosistemas Asociados. Solano, C y N. Vargas (editoras). Bogotá: Fundación Natura-Pontificia Universidad Javeriana. 291 pp.
- Parra-Aldana, A.; Diez-Gómez, C. & Moreno-Hurtado, H. 2011.** Regeneración Natural del Roble negro (*Colombobalanus excelsa*, Fagaceae) en dos Poblaciones de la Cordillera de los Andes, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 64(2): 6175-6180.
- Perry, J. N. 1995.** Spatial analysis by distance indices. *Journal of Animal Ecology* 64: 303-314.
- Perry, N.; Bell, D.; Smith, H. & Woiwoid, P. 1996.** SADIE: software to measure and model spatial pattern. *Aspects of Applied Biology* 46: 95-102.
- Perry, J. N. 1998.** Measures of spatial pattern for counts. *Ecology* 79: 1008-1017.
- Pulido, J. F. 2002.** Biología reproductiva y conservación: el caso de la regeneración de bosques templados y subtropicales de robles (*Quercus* spp.). *Revista Chilena de Historia Natural* 75: 5-15.
- Saunders, A.; Hobbs, J. & Margules, R. 1991.** Biological Consequences of Ecosystem. A Review. *Conservation Biology* 5(1): 18-32.
- Silvertown, J. W. 1987.** Introduction to plant population ecology. Longman Scientific & Technical, Essex, England. 229 pp.
- Sork, V.L.; Davis, F.W.; Smouse, P.E.; Apsit, V.J.; Dyer, R.J.; Fernandez, J.F. & Kuhn, B. 2002.** Pollen movement in declining populations of California Valley oak, *Quercus lobata*: where have all the fathers gone? *Molecular Ecology* 11(9): 1657-1668.
- Swaine, M.D.; Lieberman, D. & Putz, F.E. 1987.** The dynamics of tree populations in tropical forest: a review. *Journal of Tropical Ecology* 3(4): 359-366.
- Urrego, S.H. & Gonzáles, A.C. 2000.** Estudios

ecológicos en el área de influencia del proyecto hidroeléctrico Porce II. Empresas públicas de Medellín. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. 232 pp.

Vallejo, J.M.I.; Londoño-V, A.C.; López-C, R.; Galeano-G.; Álvarez-D, E. & Devia A, W. 2005. Establecimiento de parcelas permanentes en bosques de Colombia, Instituto de Investigación en recursos biológicos Alexander Von Humboldt. Bogotá D.C., Colombia. (Serie: Métodos para estudios ecológicos a largo plazo; No.1). 310 pp.

Villa G. A, M. & Ramírez Q, J. F. 2005. Caracterización diamétrica de las especies maderables en bosques primarios del cerro Murrucucú. Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias, sede Medellín. 93 pp.

Zar, J. H. 1999. Biostatistical Analysis. Fourth edition, New Jersey: Prentice Hall Inc. 938 pp.

Natalia Aguirre-Acosta

Bióloga, Universidad de Caldas Unicaldas, Ph.D. en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Córdoba.

Jorge Eduardo Botero-Echeverri

Agricultural Engineering, National College of Agricultural Engineering. Ph.D. Wildlife Ecology And Zoology, University of Wisconsin Madison.