

Efecto de la gradiente altitudinal sobre la composición florística, estructura y biomasa arbórea del bosque seco andino, Loja, Ecuador

Effect of the altitudinal gradient in the floristic composition, structure and arboreal biomass of the Andean dry forest, Loja, Ecuador

Eduardo Cueva ^a, Deicy Lozano ^b, Celso Yaguana ^{b,c*}

^a Naturaleza y Cultura Internacional, Loja, Ecuador, ecuevafcsf@hotmail.com

^b Universidad Estatal Paulista (UNESP), Departamento de Ciencia Forestal, Departamento de Suelos y Recursos Ambientales, São Paulo, Brasil, caroladeicylo@hotmail.com

*Autor de correspondencia: ^c Laboratório de Ecologia e Hidrologia, São Paulo, Brasil, tel.: 55-14-996778901, anibalya@hotmail.com

SUMMARY

Dry forests are fragile ecosystems, developed in extreme climatic conditions that harbor a wealth of flora and fauna due to the influence of the Andes mountain range. This study aimed at analyzing the influence of altitude in floristic composition, structure and aboveground biomass in the Andean dry forest. Three L-shaped conglomerates were established in different altitudinal gradients from 1,750 to 2,320 m a.s.l in the Andean dry forest of Natural Reserve of Pisaca, Loja. Where, trees with DBH ≥ 10 cm were measured in the 0.36 ha plot and individuals with DBH ≥ 5 cm in nested plots of 0.40 ha. Ecological parameters were calculated, and biomass was estimated by allometric equations generated for dry tropical forests. We identified a total of 2,012 individuals, belonging to 39 species and 1 morphotype distributed in 35 genera and 23 families. The families with the highest diversity and species richness were Asteraceae, Fabaceae and Myrtaceae. The most abundant species were *Myrcianthes* sp., *Lafoensia acuminata*, *Xylosma* sp., *Mauria heterophylla* and *Vachellia macracantha*. Forest mass has a basal area of 29.48 m², wood volume of 149.51 m³ and estimated biomass of 565.44 Mg ha⁻¹. We concluded that in the Andean dry forest, when altitude increases richness, structure and biomass increase. However, in the case of diversity, there is no correlation between altitude and diversity. Therefore, altitude is a relevant topographic variable in biodiversity studies.

Key words: tree diversity, carbon, biosphere reserve, Andes, altitude.

RESUMEN

Los bosques secos andinos son ecosistemas sensibles que se desarrollan en condiciones climáticas extremas y albergan alta riqueza de flora y fauna debido a la influencia de la cordillera de Los Andes. El objetivo de esta investigación fue analizar la influencia de la altitud en la composición florística, estructura y biomasa arbórea en el bosque seco andino. Se establecieron tres conglomerados a diferente altitud desde 1.750 m a 2.320 m s.n.m en el bosque seco andino de la Reserva Natural Pisaca, Loja. Fueron medidos los árboles con DAP ≥ 10 cm en parcelas de 0,36 ha; e individuos con DAP ≥ 5 cm en parcelas anidadas de 0,04 ha. Se calcularon parámetros ecológicos y dasométricos y fue estimada la biomasa mediante una ecuación alométrica generada para bosques tropicales secos. Se registraron 2.012 individuos, pertenecientes a 39 especies y un morfotipo distribuidos en 35 géneros y 23 familias. Las familias con mayor diversidad de especies fueron Asteraceae, Fabaceae y Myrtaceae. Las especies ecológicamente importantes fueron *Myrcianthes* sp., *Lafoensia acuminata*, *Xylosma* sp., *Mauria heterophylla* y *Vachellia macracantha*. La masa forestal presentó un área basal de 29,48 m², volumen de madera de 149,51 m³ y biomasa total de 565,44 Mg ha⁻¹. Se concluyó que, en el bosque seco andino conforme se incrementa la altitud aumenta la riqueza, estructura y la biomasa. Por tanto, la altitud es una variable topográfica relevante en los estudios sobre biodiversidad.

Palabras clave: diversidad arbórea, carbono, reserva de biosfera, Andes, altitud.

INTRODUCCIÓN

La región Andina incluye ecosistemas arbolados y no arbolados bajo regímenes bioclimáticos que van de xéricos hasta pluviales (Josse *et al.* 2009). La diversidad del bos-

que andino está de la mano con un conjunto heterogéneo de paisajes y regímenes de uso de la tierra que transforman los ecosistemas andinos (Jadan *et al.* 2017). También, los bosques andinos juegan un papel clave en la provisión de servicios ecosistémicos como mantenimiento de la biodi-

versidad, acumulación de biomasa y carbono, regulación y aseguramiento de la provisión hídrica (Garavito *et al.* 2012, Girardin *et al.* 2014).

En Ecuador existen 91 ecosistemas, 45 de ellos pertenecen a la región biogeográfica de Los Andes, que incluye el bosque seco andino (MAE y FAO 2014). Aguirre y Kvist (2005) y Aguirre *et al.* (2006) denominan a este ecosistema como la vegetación de bosque seco interandino del sur. En este estudio el área de investigación se denomina bosque seco andino.

Según Josse *et al.* (2009), los bosques secos andinos se distribuyen desde 600 a 3.100 m de altitud. En la provincia de Loja (área de estudio) estos bosques se ubican desde 1.600 a 2.200 m de altitud (MAE 2013). Esta característica torna a dichos bosques del sur de Ecuador particulares en su composición florística y estructura, cuando se compara con los bosques secos del norte del país.

Como lo menciona Scatena *et al.* (2010), en los bosques andinos los patrones de diversidad varían con la elevación. Por ejemplo, la estructura y composición florística de los bosques andinos en montañas tropicales desde 1.200 a 1.500 m de elevación son similares a ecosistemas de bosques tropicales de tierras bajas. Sin embargo, en los bosques andinos en altitudes mayores tanto la diversidad y la altura del dosel disminuye, y la comunidad de epifitas y musgos aumenta en diversidad y biomasa (Scatena *et al.* 2010).

Es así que, los atributos principales de la biodiversidad en los bosques andinos son el alto nivel de recambio en el gradiente altitudinal y su importancia en relación a riqueza y endemismo, a la limitada área que estos cubren (Cuesta *et al.* 2009). Sin embargo, los patrones de vegetación que se observan típicamente a lo largo de los gradientes altitudinales, son el resultado de complejas interacciones entre factores como: elevación, grado de exposición a la radiación solar y la posición en el relieve, entre otros factores que se observan en los bosques secos andinos de Ecuador (Girardin *et al.* 2014, Jadan *et al.* 2017, Cabrera *et al.* 2019).

A pesar de la importancia biológica de estos ecosistemas, específicamente los bosques secos andinos de la provincia de Loja por sus características geográficas particulares (altitud y pendiente) son un hábitat y refugio de una alta diversidad de flora y fauna, que ha sido poco estudiada. Adicionalmente, este ecosistema soporta presiones antrópicas como: la fragmentación debido a la ampliación de la frontera agrícola y la ganadería caprina, el incremento de índice poblacional, incendios forestales, extracción intensiva de leña y madera para construcción de viviendas. Jadan *et al.* (2017) manifestaron que han generado remanentes de vegetación natural en zonas topográficas irregulares, con pendientes abruptas y diferente grado de intervención. Estas características convierten estos fragmentos en áreas prioritarias de investigación y en una región clave para la conservación local y nacional.

Según Girardin *et al.* (2014), estudios sobre la influencia de la altitud en la composición florística y

estructura han sido reportados históricamente, pero en las últimas décadas han sido descritos contundentemente bajo procedimientos técnicos y científicos, lo cual es indispensable para entender los cambios de la vegetación en el espacio y el tiempo. Por ello, la presente investigación tiene los objetivos: 1) identificar la composición florística y estructura de la vegetación en la gradiente altitudinal desde 1.750 a 2.320 m de altitud del bosque seco andino; 2) comparar la cuantificación de biomasa arbórea de este tipo de bosque conforme la altitud. Se espera que la riqueza florística y biomasa disminuya progresivamente conforme se incrementa la gradiente altitudinal del bosque seco andino, con base de estudios similares realizados en la cordillera occidental de Los Andes ecuatorianos y en bosques tropicales (Homeier *et al.* 2010, Girardin *et al.* 2014, Jadan *et al.* 2017, Cabrera *et al.* 2019).

MÉTODOS

Descripción del área de estudio. El bosque seco andino de la Reserva Natural del Cerro Pisaca (RNCP) se localiza al suroccidente de la provincia de Loja, cantón Paltas, región biogeográfica de Los Andes ecuatorianos, desde 9.548.775 a 9.551.546 latitud norte y 652.454 a 656.003 de longitud este. Abarca una superficie de 39,87 hectáreas, presenta una temperatura media anual de 18,6 °C, con precipitación media anual de 899 mm y está ubicada desde 1.560 a 2.440 m de altitud. La formación vegetal de la RNCP corresponde al bosque seco andino (MAE y FAO 2014).

Para determinar los sectores y los puntos del área de estudio se usó el mapa de cobertura vegetal de la RNCP, escala 1:11.000 y el mapa de uso del suelo del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca escala 1:50.000. La selección e instalación de las áreas de muestreo se realizó con base en la estratificación de la vegetación y gradiente altitudinal en tres zonas de estudio: alta, media y baja (figura 1).

La zona alta fluctúa desde 2.160 a 2.320 m de altitud, se caracteriza por tener fragmentos de bosque nativo con elementos florísticos de la parte andina, presenta un microclima más húmedo en comparación con las zonas media y baja. La vegetación no ha sufrido cambios en su estructura y composición florística debido al difícil acceso, con pendientes que superan el 40 %. La zona media se encuentra en un área de transición entre el bosque seco y bosque andino desde 2.040 a 2.140 m de altitud, es susceptible a los incendios forestales. Y la zona baja se encuentra desde 1.750 a 1.850 m de altitud sobre pendientes onduladas y planas, estos fragmentos de bosque presentan elementos florísticos de vegetación decidua, gran parte de la cobertura boscosa se ha perdido debido a la explotación de madera para combustible y construcción de viviendas y por el cambio de uso de la tierra de bosques a cultivos y potreros.

Las unidades de muestreo para la toma de datos en campo fueron conglomerados permanentes, que consistieron en la instalación de tres parcelas de 60 x 60 m en forma

de L, cada conglomerado fue ubicado a 200 m de distancia (figura 1) (MAE y FAO 2014). En cada parcela de 3.600 m² fueron medidos todos los individuos con DAP \geq a 10 cm utilizando cinta diamétrica y altura estimada. También se estableció una parcela anidada de 20 x 20 m para medir la regeneración natural, individuos con DAP \geq 5 cm y DAP < 10 cm. Para la identificación de los individuos fue colectado material vegetal, el cual fue comparado, especialmente con muestras botánicas de zonas adyacentes a la RNCP y los ejemplares con estructuras reproductivas en buen estado fueron depositados en el Herbario “Reinaldo Espinosa” (LOJA).

Análisis de la composición florística y estructura. La composición florística en el bosque seco andino fue separada a través de un análisis de agrupamiento según el valor de cobertura y la altitud, utilizando el método de separación de Ward y la distancia de Bray Curtis. Para esto, se realizó una matriz de similitud con la abundancia y dominancia relativa (valor de cobertura) de las especies en cada parcela. Para verificar la diferencia estadística entre las zonas fue realizado un análisis de similitud (ANOSIM) utilizando la medida de similitud de Bray-Curtis y un total de 1.000 aleatorizaciones. Además, para observar la

interrelación entre las parcelas y la composición florística de las especies según la altitud fue realizado un análisis de ordenación por el método de escalonamiento multidimensional no métrico (NMDS) y la distancia de Bray Curtis. Los valores de abundancia de especies y la altitud se ajustaron a los dos primeros ejes de la ordenación NMDS, se calculó el coeficiente de correlación cuadrado (r^2) y el valor empírico *P*-valor para el ajuste lineal. El análisis de agrupamiento fue realizado en el programa estadístico InfoStat/Profesional, versión 2011 (Di Rienzo *et al.* 2011), y el ANOSIM y la ordenación NMDS fueron realizados en el programa estadístico R con el paquete “vegan”.

En cada zona fue descrita la composición florística por las especies con mayor valor de importancia (VI), la riqueza fue analizada mediante curvas de rarefacción y la diversidad a través de los índices de Shannon y Simpson. La estructura en las zonas fue analizada por el área basal (m² ha⁻¹), densidad (número de individuos por hectárea) y distribución de individuos por clases diamétrica. Para comparar la diferencia estadística de la diversidad y estructura entre las zonas fue realizada un análisis de varianza (ANOVA), seguida de la prueba de Tukey al 5 % de significancia. Para relacionar la altitud con la riqueza y con la estructura fueron realizadas regresiones simples, los resultados fue-

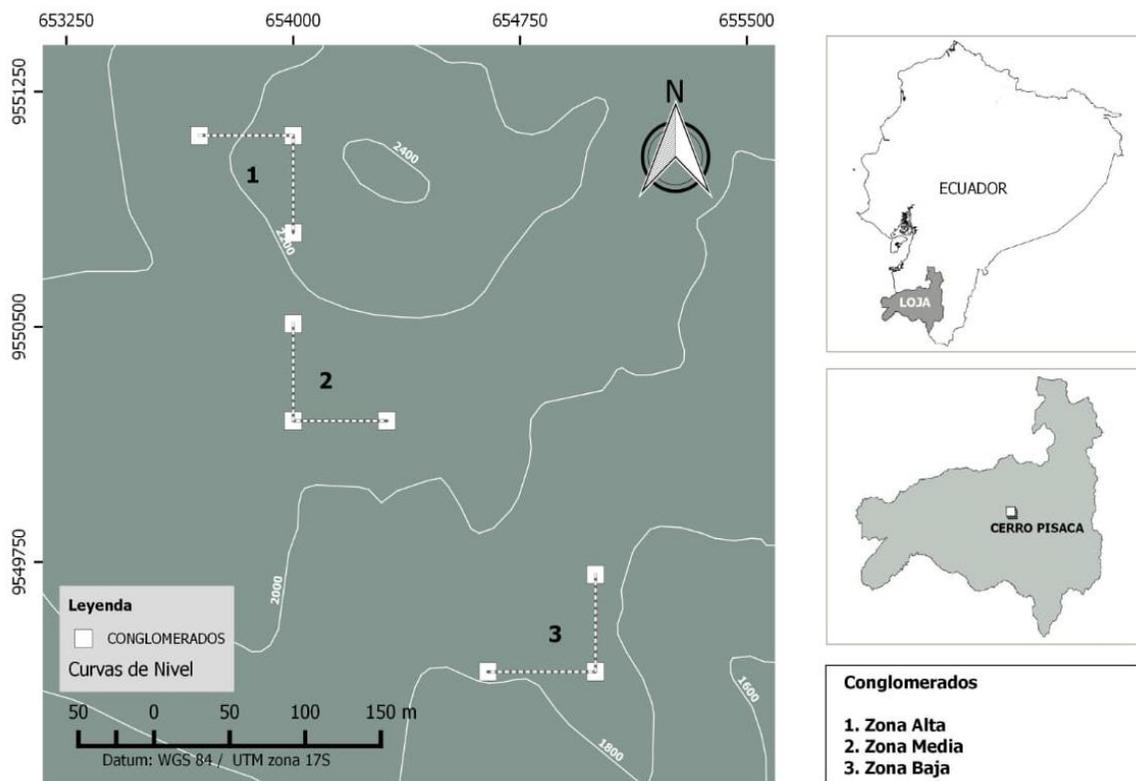


Figura 1. Ubicación del área de estudio y de los conglomerados en el bosque seco andino de la Reserva Natural Cerro Pisaca (RNCP), Loja, Ecuador.

Study area and plots in the Andean dry forest of Natural Reserve of Pisaca, Loja, Ecuador.

ron presentados en gráficos de dispersión de puntos con los coeficientes de determinación (R^2). También, se realizaron análisis de correlación de Pearson entre la altitud con la riqueza, estructura y diversidad del bosque seco andino. El ANOVA, las regresiones simples y el análisis de correlación fueron realizadas en el programa estadístico InfoStat/ Profesional, versión 2011 (Di Rienzo *et al.* 2011).

Estimación de la biomasa. La biomasa arbórea fue calculada aplicando la ecuación alométrica de Chave *et al.* (2005) [1], un método no destructivo para estimar la biomasa total de un árbol. Esta ecuación tiene como variables independientes la densidad de la madera por especie y el diámetro del árbol. Los valores de densidad de la madera fueron obtenidos de la Base de datos Global de densidad de madera Zanne *et al.* (2009).

$$B = (DM * \exp(-0,667 + 1,784 * (DAP) + 0,207 * \ln(DAP)^2 - 0,0281 * \ln(DAP)^3)) \quad [1]$$

Donde, B = Biomasa (kg). DM = Densidad de la madera ($g\ cm^{-3}$). Ln = Logaritmo natural. DAP = Diámetro a la altura del pecho (cm).

Para determinar la diferencia en la acumulación de biomasa entre las tres zonas los datos fueron sometidos a un ANOVA seguido de la prueba de Tukey al 5 % de significancia. Y para establecer la relación entre la cantidad de biomasa en las zonas del bosque seco andino fue realizado un análisis de agrupamiento (dendrogramas) aplicando el método de Ward y distancia de Bray-Curtis. Para realizar el ANOVA y el dendrograma fue usado el programa estadístico InfoStat/Profesional, versión 2011 (Di Rienzo *et al.* 2011).

RESULTADOS

Composición florística. En el bosque seco andino se contabilizaron 2.012 individuos, 1.731 individuos con $DAP \geq 10$ cm pertenecientes a 34 especies, 33 géneros, 21 familias y un morfotipo, y 281 individuos de regeneración natural distribuidos en 29 especies, 26 géneros, 19 familias y un morfotipo. Las familias con mayor número de especies arbóreas fueron: Asteraceae, Myrtaceae, Fabaceae, Bignoniaceae, Proteaceae, Rosaceae y Rubiaceae. Mientras que, el mayor número de elementos regenerantes fueron representantes de las familias Myrtaceae, Lytracae, Salicaceae, Asteraceae y Anacardiaceae. Las especies con mayor abundancia y dominancia fueron: *Myrcianthes* sp., *Lafoensia acuminata* (Ruiz *et Pav.*) DC., *Xylosma* sp., *Mauria heterophylla* Kunth, *Vachellia macracantha* (Humb. *et Bonpl.* ex Willd.) Seigler *et Ebinger*, *Fulcaldea laurifolia* (Bonpl.) Poir. y *Berberis loxensis* Benth.

El análisis de agrupamiento basado en la similitud de la composición florística por medio del valor de cobertura de

las especies separó las zonas alta, media y baja (figura 2). El análisis de similitud (ANOSIM) mostro que las zonas separadas fueron estadísticamente diferentes en términos de composición florística ($P = 0,004$).

El análisis de ordenación NMDS mostro que la composición florística de las parcelas de la zona alta y media presenta similitud de especies ubicadas a la izquierda del primer eje (figura 3). Opuestamente con mayor dispersión se ubicaron las parcelas de la zona baja, a la derecha del primer eje de la ordenación, por tanto, difiere florísticamente a las otras dos zonas. El valor de estrés del análisis NMDS fue de 4,85 %, que corresponde a una varianza explicada de 95,15 % indicando que el diagrama es adecuado para la interpretación de las zonas que explica la relación de la composición florística con la altitud. La altitud mostro significancia ($P = 0,015$) y correlación ($r^2 = 0,7712$) con los dos primeros ejes de la ordenación NMDS (NMDS1 = - 0,99087 y NMDS2 = -0,13483).

La composición florística en cada zona se describe a continuación:

- Zona alta: la densidad arbórea fue de 1.413 individuos arbóreos y arbustivos, representada por 26 especies, 24 géneros, 18 familias botánicas, una morfoespecie y un morfotipo. Las familias

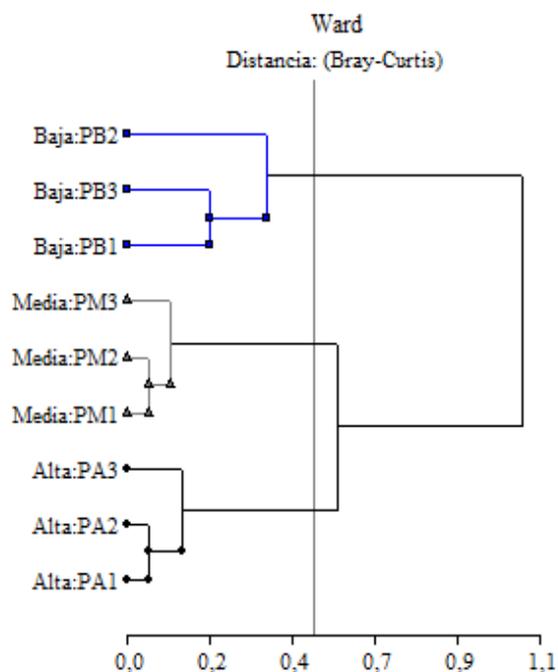


Figura 2. Dendrograma (método Ward y distancia Bray Curtis) de agrupamiento de las parcelas según el valor de cobertura de las especies y la altitud en las zonas: alta, media y baja del bosque seco andino, Loja, Ecuador.

Cluster (Ward method and Bray Curtis distance) of grouping plots according to the coverage value of species and the altitude in the zones: high, medium and low of the Andean dry forest, Loja, Ecuador.

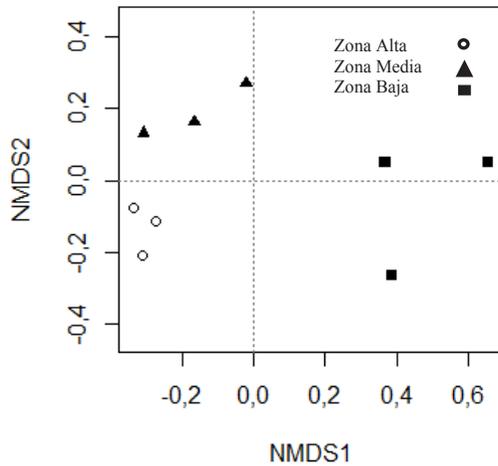


Figura 3. Diagrama de ordenación de escalonamiento multidimensional no métrico (NMDS) indicando la similitud en la composición florística de las parcelas en las zonas alta, media y baja en el bosque seco andino, Loja, Ecuador.

Non-metric multidimensional scaling analysis (NMDS) for indicating the similarity in the floristic composition in plots in the zones: high, medium and low of the Andean dry forest, Loja, Ecuador.

que presentan mayor número de especies fueron: Asteraceae y Myrtaceae con cuatro y tres especies respectivamente. Las especies con mayor valor de importancia (VI) fueron: *Myrcianthes* sp., *Xylosma* sp., *M. herophylla*, *L. acuminata* y *Myrcia fallax* (Rich.) DC., con un diámetro promedio de 12,84 cm y altura promedio de 7,82 m. Estas especies presentan tallos cubiertos de epifitas (especies indicadoras de humedad), con varias ramificaciones que empiezan antes de los 100 cm del suelo. La especie característica del estrato fue *Myrcianthes* sp., con 43,1 % de valor de importancia por su abundancia, dominancia y frecuencia (cuadro 1).

- Zona media: fueron contabilizados 495 individuos arbóreos y arbustivos, representados en 20 especies, 19 géneros, 16 familias botánicas, una morfoespecie y un morfotipo. Las familias que presentaron mayor diversidad fueron: Myrtaceae y Asteraceae con cuatro y dos especies respectivamente. Las especies con mayor valor de importancia fueron: *L. acuminata*, *Myrcianthes* sp., *Xylosma* sp., *M. herophylla* y *Roupala montana* Aubl. Estas especies en función a la abundancia, dominancia

Cuadro 1. Parámetros estructurales de las cinco especies (individuos con DAP \geq 10 cm) con el valor de importancia más alto en las zonas alta, media y baja del bosque seco andino, Loja, Ecuador.

Ecological parameters of the five species (individuals with DBH \geq 10 cm) with the highest importance value in the high, medium and low zones of the Andean dry forest, Loja, Ecuador.

| Estratos (m s.n.m.) | U-VI | Nombre científico | Densidad relativa (%) | Dominancia relativa (%) | Frecuencia relativa (%) | Valor de importancia (%) |
|-----------------------|------|---|-----------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Alto (2.160 a 2.320) | 1 | <i>Myrcianthes</i> sp. | 61,43 | 62,14 | 5,45 | 43,01 |
| | 2 | <i>Xylosma</i> sp. | 6,23 | 6,03 | 5,45 | 5,90 |
| | 3 | <i>Mauria heterophylla</i> Kunth | 4,88 | 4,62 | 5,45 | 4,99 |
| | 4 | <i>Lafoensia acuminata</i> (Ruiz et Pav.) DC. | 3,40 | 5,69 | 5,45 | 4,85 |
| | 5 | <i>Myrcia fallax</i> (Rich.) DC. | 4,18 | 4,00 | 5,45 | 4,54 |
| Medio (2.040 a 2.140) | 1 | <i>Lafoensia acuminata</i> (Ruiz et Pav.) DC. | 28,89 | 41,78 | 6,98 | 25,88 |
| | 2 | <i>Myrcianthes</i> sp. | 23,23 | 20,02 | 6,98 | 16,74 |
| | 3 | <i>Xylosma</i> sp. | 11,72 | 8,90 | 6,98 | 9,20 |
| | 4 | <i>Mauria heterophylla</i> Kunth | 6,26 | 7,39 | 6,98 | 6,88 |
| | 5 | <i>Roupala montana</i> Aubl. | 3,43 | 2,37 | 6,98 | 4,26 |
| Bajo (1.750 a 1.850) | 1 | <i>Vachellia macracantha</i> (Humb. et Bonpl. ex Willd.) Seigler et Ebinger | 19,23 | 30,47 | 10,53 | 20,08 |
| | 2 | <i>Fulcaldea laurifolia</i> (Bonpl.) Poir. | 28,85 | 14,50 | 15,79 | 19,71 |
| | 3 | Morfoespecieast. | 19,23 | 15,25 | 10,53 | 15,00 |
| | 4 | <i>Lafoensia acuminata</i> (Ruiz et Pav.) DC. | 10,58 | 15,03 | 5,26 | 10,29 |
| | 5 | <i>Duranta repens</i> L. | 6,73 | 6,28 | 5,26 | 6,09 |

U-VI: Ubicación del valor de importancia.

y frecuencia, representan el 62,96 % del valor de importancia total de las especies (cuadro 1). El promedio de diámetro fue de 13,44 cm y altura de 7,03 m en este estrato

- Zona baja: Se contabilizaron 104 individuos arbóreos y arbustivos, constituidos por 11 especies, 11 géneros, nueve familias botánicas y dos morfoespecies. Fabaceae y Asteraceae fueron las familias más diversas. Entre las especies con mayor número de individuos, dominancia y frecuencia fueron registradas *V. macracantha*, *F. laurifolia*, morfoespecie de la familia Asteraceae, *L. acuminata* y *Duranta repens* L., estas especies presentaron un diámetro promedio de 10,49 cm y altura 5,09 m. Las dos primeras especies presentaron valores altos con relación al valor de importancia con 20,08 % y 19,71 %, respectivamente (cuadro 1). Debido a los frecuentes incendios forestales la vegetación ha sido sustituida por especies espontáneas, especialmente de la familia Asteraceae, Malvaceae, Fabaceae y Poaceae.

Las curvas de acumulación de especies mostraron valores estimados para la riqueza mayores y similares significativamente ($P < 0,05$) en las zonas alta y media (figura 4). Al comparar la riqueza entre las zonas, se observó que la zona alta y baja fue diferente significativamente con respecto a la zona media (cuadro 2). La diversidad, según los índices de Shannon y Simpson fue mayor en la zona media, pero no se evidenció diferencia significativa al compararla con las zonas baja y alta (cuadro 2).

Estructura y curva de distribución diamétrica. La densidad y el área basal de la vegetación arbórea y arbustiva en el bosque seco andino fue significativamente superior en la zona alta a diferencia de las otras dos zonas que fueron iguales (figura 5A y 5B). En el estrato alto fueron conta-

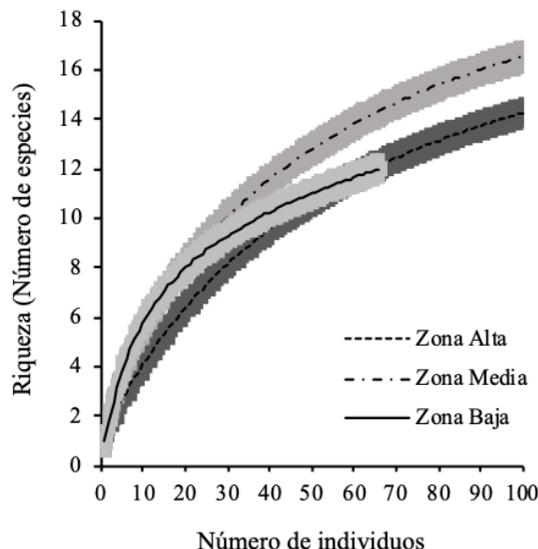


Figura 4. Curva de acumulación de especies con relación a 100 individuos registrados en las parcelas de 3.600 m² en el bosque seco andino, Loja, Ecuador.

Accumulation curve of species in relation to number of individuals registered in plots of 3600 m² in the Andean dry forest, Loja, Ecuador.

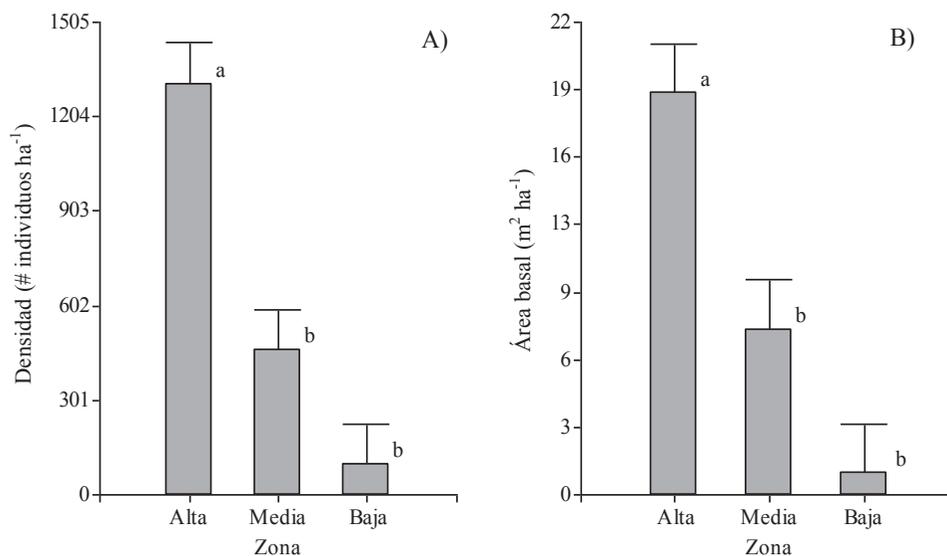


Figura 5. Promedio de la densidad (A) y área basal (B) registrados en las parcelas de 3600 m² en las zonas del bosque seco andino, Loja, Ecuador. Barras con letras iguales, en las comparaciones entre zonas, no difieren por la prueba de Tukey a 5 % de significancia.

Mean of density (A) and basal area (B) registered in plot of 3600 m² in the Andean dry forest areas, Loja, Ecuador. Bars with equal letters, in the comparisons between zones, do not differ by the Tukey test at 5 % significance.

bilizados en media 1.308 individuos por hectárea con un área basal de 18,67 m² ha⁻¹. Estrato medio fueron registrados 458 árboles con 7,67 m² ha⁻¹ de área basal. Finalmente, para el estrato bajo fueron contabilizados 96 individuos que representan un área basal de 1,02 m² ha⁻¹.

La curva de distribución diamétrica obtenida en los estratos del bosque seco andino declina conforme incrementa el tamaño y grosor de los individuos, adoptando un modelo exponencial negativo, la llamada “J invertida” característico de los bosques tropicales. Las tres zonas agruparon el mayor número de individuos en la primera clase diamétrica (5 cm a 15 cm de DAP) (figura 6). Las especies que aportaron con mayor masa forestal fueron: *Myrcianthes* sp., *L. acuminata*, *Xylosma* sp., *M. heterophylla*,

Asteraceae sp. y *M. fallax*. Así mismo, *Myrcianthes* sp., y *L. acuminata* fueron las especies que estuvieron presentes en las cuatro clases diamétricas.

La relación de la altitud con la riqueza y las variables de estructura como densidad y área basal fue positiva y significativa en el bosque seco andino (figura 7). También,

Cuadro 2. Media de riqueza e índices de diversidad de Shannon y Simpson, error estándar de la media (en paréntesis), para las tres zonas del bosque seco andino.

Mean richness and diversity index of Shannon and Simpson, standard error of the average (in parentheses), for the three zones of the Andean dry forest.

| Índice | Zona | | |
|---------|-----------------|-----------------|---------------|
| | Alta | Media | Baja |
| Riqueza | 18,00 (1,85) a* | 14,33 (1,85) ab | 6,33 (1,85) b |
| Shannon | 1,57 (0,24) a | 1,85 (0,24) a | 1,35 (0,24) a |
| Simpson | 0,61 (0,07) a | 0,75 (0,07) a | 0,66 (0,07) a |

*Medias con letras diferente en la línea son significativamente diferente ($P < 0,05$).

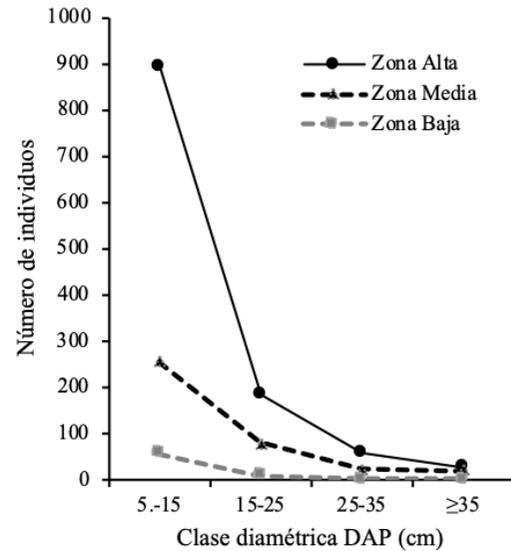


Figura 6. Curva de distribución diamétrica de los individuos con DAP ≥ 10 cm y regeneración natural en las zonas del bosque seco andino, Loja, Ecuador.

Diametric distribution curve of the individuals with DBH ≥ 10 cm and regenerating individuals in the zones of the Andean dry forest, Loja, Ecuador.

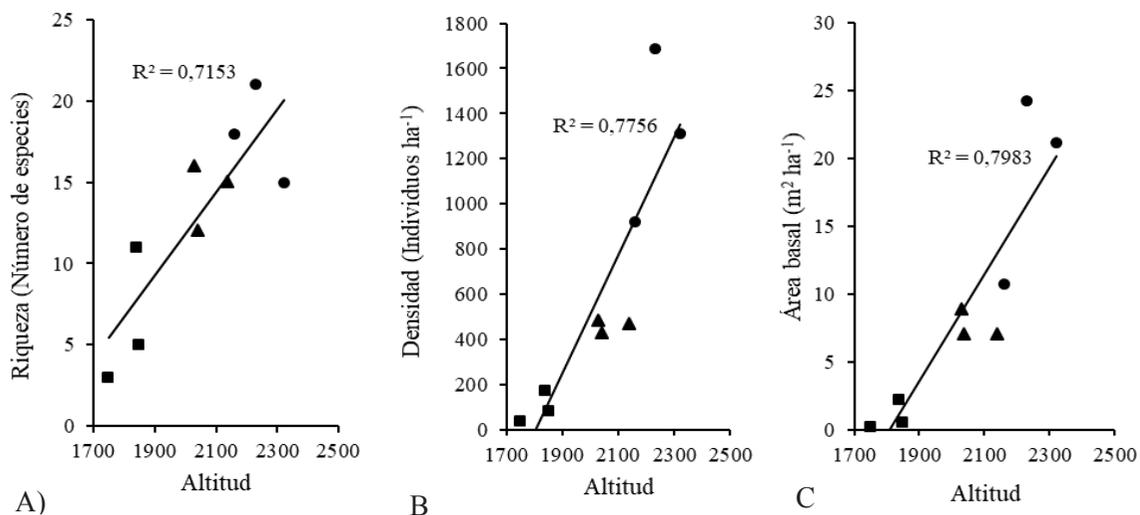


Figura 7. Relación entre la altitud con la riqueza (A), densidad (B) y área basal (C) en el bosque seco andino, Loja. Las líneas de regresión simple fueron significativas ($P < 0,05$), zona alta (círculos), zona media (triángulos) y zona baja (cuadros).

Relationship between altitude and richness (A), density (B) and basal area (C) in the Andean dry forest, Loja. The simple regression lines were significant ($P < 0.05$), high zone (circles), middle zone (triangles) and low zone (squares).

el análisis de correlación de Pearson mostró una correlación positiva y significativa entre la altitud y riqueza, altitud y las variables de estructura. Sin embargo, no se encontró correlación entre la altitud y la diversidad en el bosque seco andino analizado (cuadro 3).

Biomasa. La biomasa total en el estrato arbóreo fue estimada en 565,44 Mg ha⁻¹ en el bosque seco andino de la Reserva Natural Cerro Pisaca (cuadro 4). También, fue estimado 174,07 Mg ha⁻¹ de biomasa total en la regeneración natural (cuadro 4).

Biomasa en las zonas alta, media y baja. En el bosque seco andino, la biomasa total estimada fue diferente en las zonas alta y baja ($F = 7,99$; $P < 0,0278$) según la gradiente altitudinal como se indica en la figura 8. En la zona alta fueron registrados 1.251 árboles que acumulan en promedio 128,14 Mg ha⁻¹ de biomasa. En el estrato medio fueron registrados

409 árboles que almacenan en promedio 55,17 Mg ha⁻¹ de biomasa y en la zona baja fueron identificados 71 árboles que reservan en promedio 7,61 Mg ha⁻¹ de biomasa (figura 8).

El dendrograma de similitud de la acumulación de biomasa del bosque seco andino separó en dos grupos las parcelas, el primer grupo formado por las parcelas de la zona alta y media, y el segundo grupo formado por las parcelas de la zona baja (figura 9). La acumulación de la biomasa en las especies de la zona alta y media fueron más similares en comparación con las especies de la zona baja.

Biomasa por especie y familias en la zona alta, media y baja. En la zona alta, *Myrcianthes* sp. fue la especie que acumuló la mayor cantidad de biomasa con 254,31 Mg ha⁻¹, solo esta especie reserva el 66 % de la biomasa total estimada en esta zona. En la zona media, *L. acuminata* con 80,53 Mg ha⁻¹ y *Myrcianthes* sp. con 33,17 Mg ha⁻¹ fueron las especies que acumularon la mayor cantidad de biomasa, en conjunto estas dos especies acumulan el 68,7 % de la biomasa total de la zona media. En la zona baja, las especies *V. macracantha* y *L. acuminata* acumularon la mayor cantidad de biomasa con 6,05 y 3,27 Mg ha⁻¹, respectivamente, representando el 59,98 % de la biomasa total de la zona (cuadro 5).

Cuando se analizó la media de biomasa total por clase diamétrica en cada estrato del bosque seco andino, fueron constatados valores desde 0,18 Mg ha⁻¹ (clase I) a 3,11 Mg ha⁻¹ por especie (clase IV) para la zona alta. Valores desde 0,18 Mg ha⁻¹ (clase I) a 3,81 Mg ha⁻¹ por especie (clase IV) para la zona media y valores desde 0,12 Mg ha⁻¹ (clase I) a 1,40 Mg ha⁻¹ por especie (clase III) para la zona baja (figura 10). Para las tres zonas se verificó el incremento de biomasa con aumento del diámetro. En la zona media fue encontrada la mayor biomasa en la clase IV y la menor cantidad de biomasa fue determina en la clase I de la zona baja.

Cuadro 3. Correlación entre la altitud y variables estructura y diversidad del bosque seco andino, Loja.

Correlation between the altitude and variables structure and diversity of the Andean dry forest, Loja.

| Variables | r-Pearson | P |
|---|-----------|--------|
| Riqueza | 0,85* | 0,0041 |
| Densidad (individuos ha ⁻¹) | 0,88* | 0,0017 |
| Área basal (m ² ha ⁻¹) | 0,90* | 0,0010 |
| Shannon | 0,23 | 0,5497 |
| Simpson | -0,19 | 0,6248 |

* Correlación de Pearson significativa $P < 0,05$.

Cuadro 4. Biomasa aérea total y media estimada por zonas en el bosque seco andino, Loja, Ecuador (individuos de DAP ≥ 10 cm e individuos con 5 ≤ DAP < 10 cm).

Total and mean aboveground biomass stocks estimated by zone in the Andean dry forest, Loja, Ecuador (individuals with DBH ≥ 10 cm and individuals with 5 cm ≤ DBH < 10 cm).

| Zona (m s.n.m.) | Biomasa (Mg ha ⁻¹) | | | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|--------|-----------------|----------------|--------------|--------------|
| | Total | Media | Desvío estándar | Error estándar | Valor mínimo | Valor máximo |
| Individuos de DAP ≥ 10 cm | | | | | | |
| Alta (2.160 a 2.320) | 384,42 | 128,14 | 53,19 | 30,71 | 67,30 | 165,89 |
| Media (2.040 a 2.140) | 165,50 | 55,17 | 6,66 | 3,84 | 50,01 | 62,68 |
| Baja (1.750 a 1.850) | 15,52 | 7,76 | 7,61 | 5,38 | 2,38 | 13,15 |
| Individuos con 5 ≤ DAP < 10 cm | | | | | | |
| Alta (2.160 a 2.320) | 106,39 | 35,46 | 1,27 | 0,73 | 34,36 | 36,85 |
| Media (2.040 a 2.140) | 52,02 | 17,34 | 1,87 | 1,08 | 15,63 | 19,34 |
| Baja (1.750 a 1.850) | 15,67 | 5,22 | 3,44 | 1,98 | 1,44 | 8,16 |

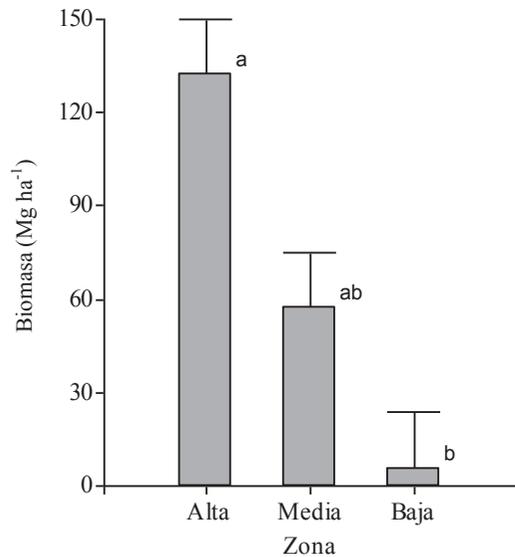


Figura 8. Acumulación de biomasa en las zonas: alta (2.160 a 2.320 m s.n.m), media (2.040 a 2.140 m s.n.m) y baja (1.750 a 1.850 m s.n.m) del bosque seco andino. Barras con letras iguales, en las comparaciones entre zonas, no difieren por la prueba de Tukey a 5 % de significancia.

Accumulation of biomass in the zones: high (2160 to 2320 m), medium (2040 to 2140 m) and low (1750 to 1850 m) of the Andean dry forest. Bars with equal letters, in the comparisons between strata, do not differ by the Tukey test at 5 % of significance.

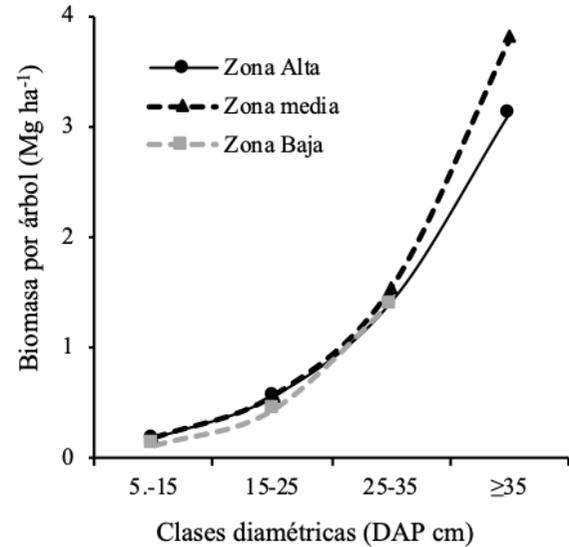


Figura 10. Biomasa aérea media por clase diamétrica de las especies muestreadas en el bosque seco andino de la Reserva Natural Cerro Pisaca, Loja, Ecuador.

Mean aboveground biomass by diametric class of the species sampled in the Andean dry forest of the Natural Reserve of Pisaca, Loja, Ecuador.

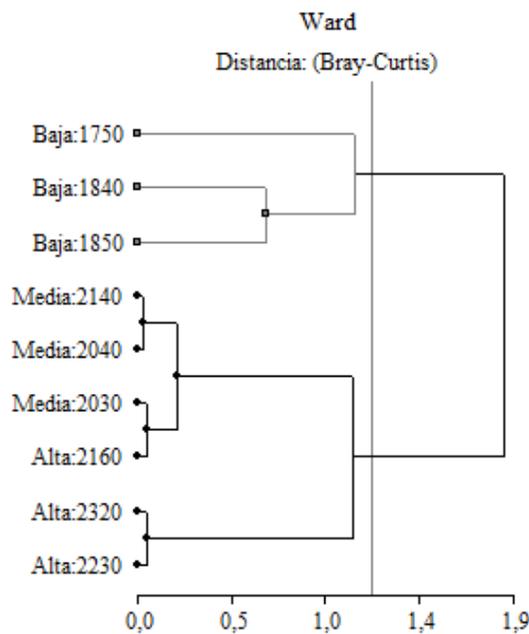


Figura 9. Dendrograma de similitud de la biomasa aérea en las parcelas según el gradiente altitudinal del bosque seco andino, aplicando el método de Ward y distancia de Bray Curtis.

Cluster of similarity of aboveground biomass in the plots according to the altitudinal gradient of the Andean dry forest, applying the method of Ward and distance of Bray Curtis.

DISCUSIÓN

Composición florística. El resultado del análisis de agrupamiento según el valor de cobertura de especies permitió evidenciar las tres zonas con base en la similitud de la composición florística en las parcelas del bosque seco andino (figura 2). Se comprobó la separación de las tres zonas de estudio según el gradiente altitudinal. Resultado que corrobora el planteamiento de Cabrera *et al.* 2019, que indican que la altitud es el primer factor jerárquico responsable de la división de grupos estructurales y florísticos en bosques montañosos andinos de la región sur de Ecuador.

También, la gráfica de escalonamiento multidimensional no métrico (figura 3) indicó una diferenciación espacial entre las zonas, en donde se evidencia mayor similitud en la composición florística entre la zona alta y media, diferenciadas de la zona baja. Este resultado demuestra que la composición florística está relacionada con el gradiente altitudinal y geomorfológico (litología y paisaje) en las montañas del bosque tropical andino como afirma Cabrera *et al.* (2019). Sin embargo, existen tres especies compartidas en las tres zonas *E. micranta*, *L. acuminata* y *M. andina*.

La formación vegetal correspondiente al bosque seco andino comparte elementos florísticos del ecosistema del sector de los valles secos como *V. macracantha*, *C. trychistandra* y del matorral seco montano como *Myrcianthes* sp., *L. acuminata*, *F. laurifolia* (MAE 2013), tal como lo muestran los resultados encontrados en la presente investigación (cuadro 1). Así mismo, en el bosque seco andino

Cuadro 5. Biomasa aérea media y total por especie en las zonas alta, media y baja del bosque seco andino de la Reserva Natural Cerro Pisaca, Loja, Ecuador.

Mean and total aboveground biomass stocks by species in the high, medium and low zones in the Andean dry forest of Natural Reserve of Pisaca, Loja, Ecuador.

| U-TB | Familia | Nombre científico | Media (Mg ha ⁻¹) | Total (Mg ha ⁻¹) | % |
|------------|-----------------|--|---------------------------------|---------------------------------|-------|
| Zona alta | | | | | |
| 1 | Myrtaceae | <i>Myrcianthes</i> sp. | 0,32 | 254,31 | 66,15 |
| 2 | Lythraceae | <i>Lafoensia acuminata</i> (Ruiz et Pav.) DC. | 0,56 | 26,86 | 6,99 |
| 3 | Saliaceae | <i>Xylosma</i> sp. | 0,25 | 20,57 | 5,35 |
| 4 | Myrtaceae | <i>Myrcia fallax</i> (Rich.) DC. | 0,52 | 14,96 | 3,89 |
| 5 | Anacardiaceae | <i>Mauria heterophylla</i> Kunth | 0,24 | 14,85 | 3,86 |
| 6 | Asteraceae | Morfoespecie | 0,29 | 11,43 | 2,97 |
| 7 | Rosaceae | <i>Prunus opaca</i> (Benth.) Walp. | 0,31 | 6,16 | 1,60 |
| 8 | Grossulariaceae | <i>Escallonia micranta</i> Mattf. | 0,97 | 5,84 | 1,52 |
| 9 | Melastomataceae | <i>Miconia lutescens</i> (Bonpl.) DC. | 0,26 | 5,78 | 1,50 |
| 10 | Berberidaceae | <i>Berberis loxensis</i> Benth. | 0,15 | 4,61 | 1,20 |
| Zona media | | | | | |
| 1 | Lythraceae | <i>Lafoensia acuminata</i> (Ruiz et Pav.) DC. | 0,63 | 80,53 | 48,66 |
| 2 | Myrtaceae | <i>Myrcianthes</i> sp. | 0,32 | 33,17 | 20,04 |
| 3 | Saliaceae | <i>Xylosma</i> sp. | 0,27 | 11,50 | 6,95 |
| 4 | Anacardiaceae | <i>Mauria heterophylla</i> Kunth | 0,37 | 10,39 | 6,28 |
| 5 | Fabaceae | <i>Vachellia macracantha</i> (Humb. et Bonpl. ex Willd.) Seigler et Ebinger | 0,31 | 4,02 | 2,43 |
| 6 | Proteaceae | <i>Roupala montana</i> Aubl. | 0,28 | 3,58 | 2,16 |
| 7 | Myrtaceae | <i>Eugenia</i> sp. | 0,26 | 3,40 | 2,05 |
| 8 | Myrtaceae | <i>Myrcianthes discolor</i> (Kunth) McVaugh | 0,28 | 3,13 | 1,89 |
| 9 | Rosaceae | <i>Prunus opaca</i> (Benth.) Walp. | 0,44 | 3,07 | 1,86 |
| 10 | Grossulariaceae | <i>Escallonia micranta</i> Mattf. | 0,49 | 2,47 | 1,49 |
| Zona baja | | | | | |
| 1 | Fabaceae | <i>Vachellia macracantha</i> (Humb. et Bonpl. ex Willd.) Seigler et Ebinger | 0,30 | 6,05 | 38,94 |
| 2 | Lythraceae | <i>Lafoensia acuminata</i> (Ruiz et Pav.) DC. | 0,30 | 3,27 | 21,04 |
| 3 | Asteraceae | Morfoespecie | 0,14 | 1,79 | 11,50 |
| 4 | Asteraceae | <i>Fulcaldea laurifolia</i> (Bonpl.) Poir. | 0,18 | 1,24 | 8,00 |
| 5 | Verbenaceae | <i>Duranta repens</i> L. | 0,12 | 0,86 | 5,54 |
| 6 | Grossulariaceae | <i>Escallonia micranta</i> Mattf. | 0,18 | 0,54 | 3,47 |
| 7 | Primulaceae | <i>Myrsine andina</i> (Mez) Pipoly | 0,16 | 0,47 | 3,06 |
| 8 | Malvaceae | <i>Ceiba trichistandra</i> (A. Gray) Bakh. | 0,40 | 0,40 | 2,59 |
| 9 | Meliaceae | <i>Trichilia</i> sp. | 0,31 | 0,31 | 2,01 |
| 10 | Proteaceae | <i>Roupala montana</i> Aubl. | 0,22 | 0,22 | 1,43 |

U-TB: Ubicación total de biomasa.

de la RNCP se registraron 18, 16 y 9 familias botánicas en las zonas alta, media y baja respectivamente, donde las familias Asteraceae, Myrtaceae y Fabaceae tienen mayor diversidad de especies, lo cual indica similitud en el patrón taxonómico de familias del bosque seco andino.

Es importante mencionar que este patrón, también es observado en los bosques secos tropicales de Sudamérica y particularmente en el sur de Ecuador donde las familias de mayor importancia son Fabaceae, Bignoniaceae, Anacardiaceae, Caricaceae, Rubiaceae, Myrtaceae, Melastomataceae, y Verbenaceae como lo reportan en sus estudios García-Villacorta (2009) y Muñoz *et al.* (2014). Los resultados obtenidos en este estudio confirman esta particularidad en la zona baja a 1.750 m de altitud cuya área es más próxima de este tipo de ecosistema. En las zonas alta y media desde 2.040 a 2.320 m de altitud las familias Myrtaceae y Asteraceae son las más abundantes, característica del bosque seco andino (MAE 2013).

Al analizar la diversidad y riqueza de especies, en el bosque seco andino se encontró que la zona alta presentó mayor riqueza en comparación a la zona baja, sin embargo, no existe diferencia estadística en cuanto a la diversidad según los índices de Shannon y Simpson en las tres zonas (cuadro 2), así como, no se evidenció correlación entre la altitud y la diversidad (cuadro 3). Estos resultados sugieren que el bosque seco andino la riqueza se incrementa conforme aumenta la altitud entre 1.700 y 2.500 m s.n.m (figura 7A), este resultado difiere con el estudio de Girardin *et al.* 2014 quien reportó que entre 1.500 y 3.500 existe una disminución en el número de individuos a nivel de familias, géneros y especies. Ante estos resultados, según Cabrera *et al.* 2019 indican que la elevación de los Andes produjo la aparición de ambientes particulares, convirtiéndose en una región única con una enorme heterogeneidad ambiental y complejos patrones de distribución de diversidad y ecosistemas, esta es una de las razones detrás de los procesos de adaptación y especiación en zonas boscosas tropicales, especialmente los que se encuentran en Los Andes tropicales.

En el bosque seco andino se registró 39 especies en total, esta riqueza es mayor que la reportada por Muñoz *et al.* (2014) en el bosque seco El Chilco y a la presentada por Josse *et al.* (2009) en un bosque seco semidecíduo y secundario en el sur oeste del Ecuador, en estos estudios registraron 21 especies en promedio. Estos estudios fueron desarrollados en bosques secos del sur de Ecuador ubicados a 350 m de altitud, y la presente investigación se desarrolló desde 1.750 a 2.320 m de altitud, este resultado indica una particularidad en este ecosistema de Loja al sur de Ecuador, que la riqueza se incrementó en la zona alta, ubicada a mayor altitud. Es interesante mencionar que en el bosque seco andino de la RNCP muestra alta riqueza de especies, esto se debe a la influencia de la formación biogeográfica de Los Andes. Según Wadsworth (2000), la alta riqueza registrada en cerros de bosques secos podría deberse a la influencia de zonas de transición (ecotono) de

bosque pluviestacional seco a montano, lo cual determina la composición florística y estructura de los ecosistemas secos andinos.

También, este contraste en la composición florística de bosques montañosos andinos ubicados en diferentes altitudes se deben a gradientes ecológicos (altitud) y geomorfológicos (litología y paisaje) (Cabrera *et al.* 2019). Sin embargo, se podrían presentar cambios locales de precipitación, humedad y velocidad del viento, que también pueden explicar la variación de diversidad y composición con un cambio de altitud cada 200 m (Siles *et al.* 2017). Lo cual fue evidenciado en la diversidad del bosque seco andino de la RNCP, donde la zona media fue el área con mayor diversidad, pero esta área no presenta diferencia estadística con respecto a la diversidad de las otras dos zonas.

Estructura diamétrica. Los resultados encontrados indican que los mayores valores de densidad y área basal fueron para la zona alta (figura 5), lo cual indica una tendencia en la estructura del bosque seco andino de Loja, que conforme se incrementa la altitud se incrementan la densidad y área basal en el bosque. Estos resultados coinciden con el estudio de Jadan *et al.* (2017) para el bosque andino de Azuay, quienes encontraron los mayores valores de área basal en la comunidad forestal ubicada a mayor altitud. No obstante, los resultados difieren con los obtenidos en otros estudios realizados en bosques andinos por Homeier *et al.* (2010), Girardin *et al.* (2014) quienes registraron los mayores valores en riqueza de especies y área basal en sitios de menores altitudes.

Al analizar la distribución de los individuos en las clases diamétrica, se evidencia que la estructura diamétrica del bosque seco andino de la RNCP, presenta una distribución en forma de “J” invertida en las tres zonas (figura 6). En las tres zonas se evidencia la concentración de individuos en las primeras clases diamétricas (5 - 15 cm de DAP) mientras que en las clases mayores (25 - \geq 35 cm de DAP) el número de individuos se reduce considerablemente. Estos resultados concuerdan con los reportados por Muñoz *et al.* (2014) para el bosque tropical seco de Loja, quienes reportaron que las primeras clases diamétricas presentan las frecuencias más altas, por ello sugieren que los bosques están en proceso de recuperación.

También, Durigan (2012) indica que este tipo de estructura es típica para un bosque que ha sido intervenido y que se encuentra en proceso de recuperación ecológica, tal como se evidenció con los resultados de la estructura diamétrica del bosque seco andino de la RNCP. Sin embargo, según Rozendaal *et al.* (2019), los bosques secundarios se recuperan notablemente rápido en la riqueza de especies, pero lentamente en la composición, los bosques secundarios tardan una mediana de cinco décadas en recuperar la riqueza de especies del bosque antiguo (recuperación del 80 % después de 20 años) y la recuperación completa de la composición de las especies lleva siglos (solo el 34 % de recuperación después de 20 años).

Cuando se analiza las especies presentes en cada clase diamétrica se observó que, en la zona alta, el género *Myrcianthes* está presente en todas las clases diamétricas. En la zona media, los géneros *Lafoensia* y *Myrcianthes* se encuentran presentes en el 85 % de las clases diamétricas, y en la zona baja, el género *Fulcaldea* se concentra en la primera clase diamétrica y el género *Ceiba* tiene representatividad únicamente en la última clase diamétrica. Este comportamiento, ausencia o presencia de las especies en las diferentes clases diamétricas tiene una estrecha relación con las características maderables y el aprovechamiento forestal de la población local, con algunas especies de valor comercial. Este suceso, comprueba el grado de intervención y selectividad de recursos maderables al cual fue sometida la vegetación del bosque seco andino de la RNCP en años anteriores. Sin embargo, el crecimiento encontrado en la estructura del bosque muestra su recuperación ante estas presiones antrópicas.

Biomasa. Los resultados encontrados en el bosque seco andino de la RNCP evidenciaron que la cantidad de biomasa en la zona alta fue mayor en comparación con la zona baja (menor altitud) (figura 8), o sea, la biomasa aumentó conforme aumentó la altitud (cuadro 4). Estos resultados difieren con los estudios de biomasa aérea en transectos de elevación tropical en Ecuador (Girardin *et al.* 2014) que sugieren que la biomasa disminuye a medida que aumenta la elevación. Este incremento de la biomasa en el bosque seco andino, en la zona alta se debe a la dominancia (área basal) de las especies.

También, a que esta área está influenciada por la cordillera de Los Andes, la cual presenta condiciones edáficas, topográficas y climáticas que influyen en la tasa de rendimiento, y dependiendo de la capacidad de respuesta que presentan las especies (Cuesta *et al.* 2009), tendrá efecto en el almacenamiento de biomasa. Comparando la reserva de biomasa del bosque seco andino de los árboles vivos con $DAP \geq 10$ cm con otros sitios de países neotropicales y con sitios en el Ecuador, se encuentra que las reservas de biomasa en bosque seco andino se encuentran por debajo del rango sugerido por el IPCC (2006) que ronda entre 200 y 410 $Mg\ ha^{-1}$, pero se asemeja a bosques secos secundarios jóvenes de Costa Rica que almacenan 102,2 $Mg\ ha^{-1}$ (Cifuentes-Jara 2008).

El análisis de similitud de la biomasa permitió separar dos grupos de especies según la acumulación de biomasa en la gradiente altitudinal del bosque seco andino de la RNCP (figura 9), el primer grupo está formado por las especies de la zona alta y media que acumulan en promedio la mayor cantidad de biomasa y el segundo grupo la zona baja que acumula la menor cantidad de biomasa. En el primer grupo la acumulación mayor de biomasa se debe a la densidad y área basal de las especies que aumento con la altitud (figura 5). Girardin *et al.* (2014) indican que la densidad aumenta significativamente con la elevación, sin embargo, no existe una tendencia en el área basal con la

elevación, en este estudio se observa una tendencia en las dos variables lo cual incide en la acumulación de biomasa.

Respecto a la biomasa por clase diamétrica, observando particularmente en las tres zona alta y media que los árboles de la última clase diamétrica acumulan la mayor cantidad de biomasa (figura 10). Ante estos resultados, Granados-Victorino *et al.* (2017) indican tres características a medida que el bosque madura, primero, la densidad de los tallos y la abundancia de las especies pioneras disminuye, segundo, se acumula mayor cantidad de biomasa (mayor diámetro de los tallos y altura del dosel) y tercero, la estructura de la vegetación alcanza mayor complejidad diamétrica y florística.

Al analizar la acumulación de biomasa por especies en las tres zonas (cuadro 5), se evidencia que las especies que acumulan la mayor cantidad de biomasa son aquellas que tienen un alto valor de importancia (VI). En la zona alta la especie que acumula la mayor cantidad de biomasa total es *Myrcianthes* sp. con 254,31 $Mg\ ha^{-1}$, la cual se destaca por su abundancia y dominancia, así mismo esta especie es la que presenta el mayor VI con 43,01 %. En la zona media *L. acuminata* es la especie que almacena la mayor cantidad de biomasa, con 80,53 $Mg\ ha^{-1}$, así como, es la especie con mayor VI con 25,88 % debido a la dominancia de la especie en esta área. En la zona baja *V. macracantha* acumulan la mayor cantidad de biomasa total con 6,05 $Mg\ ha^{-1}$, así mismo, es la especie que tienen el VI más alto 20,08 %.

Estos resultados coinciden con los estudios de biomasa realizados por Chave *et al.* (2005) y Álvarez *et al.* (2012) en bosques secos tropicales, que evidencian una alta relación entre la acumulación de biomasa y el valor de importancia de las especies. Los resultados encontrados, tanto de la relación de la biomasa con la altitud, asociadas a las características estructurales y florísticas en el bosque seco andino, evidencia una tendencia positiva con la altitud, por tanto, esta es una variable importante cuando se analiza la diversidad y biomasa de un ecosistema andino. Según, Siles *et al.* (2017) la gradiente de altitud influencia drásticamente en la composición florística, riqueza de especies, densidad de individuos, área basal y volumen de fustes, lo cual incide en la biomasa, esto fue corroborado con los resultados encontrados en el bosque seco andino. Además, Girardin *et al.* (2014) mencionan que los bosques tropicales andinos son un laboratorio ideal para comprender las interacciones entre los ecosistemas forestales y los parámetros ambientales como la elevación.

CONCLUSIONES

La composición florística y la estructura del bosque seco andino están asociadas con la altitud. Sin embargo, no hay correlación entre la altitud y diversidad. La mayor riqueza y biomasa se registra en la zona de mayor altitud, lo cual es un patrón atípico en la vegetación andina, cuando se compara con los bosques de la cordillera occidental de Los Andes ecuatorianos y de los bosques tropicales de

tierras bajas. La diversidad no presenta diferencia significativa entre las zonas, lo cual indica que no existe una asociada con la altitud. En la composición florística, la diversidad de especies de la familia Myrtaceae es otro patrón atípico que se encontró en el bosque seco andino del sur de Ecuador, debido a que el patrón típico de los bosques secos andinos es reportar a las familias Asteraceae y Fabaceae como características de estos ecosistemas. Por lo tanto, la altitud es una variable geográfica que incide en cambios significativos en la composición florística y estructura de la vegetación, lo cual influye en la acumulación de biomasa.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo de la comunidad del Pisaca por la conservación de los fragmentos boscosos de la Reserva Natural Cerro Pisaca. También, agradecemos a los técnicos del Herbario “Reinaldo Espinosa” (LOJA). Se agradece el apoyo financiero y técnico de la ONG “Naturaleza y Cultura Internacional” de Ecuador por el presupuesto anual para la investigación.

REFERENCIAS

- Álvarez E, A Duque, J Saldarriaga, K Cabrera, G de Las Salas, I del Valle, A Lema, F Moreno, L Orrego, L Rodríguez. 2012. Tree above-ground biomass allometries for carbon stocks estimation in the natural forests of Colombia. *Forest Ecology and Management* 267: 297-308. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.12.013>
- Aguirre Z, LP Kvist. 2005. Composición florística y estado de conservación de los bosques secos del sur-occidente del Ecuador. *Lyonia* 8(2): 41-67.
- Aguirre Z, LP Kvist, R Linares. 2006. Especies leñosas y formaciones vegetales en los bosques estacionalmente secos de Ecuador y Perú. *Arnaldoa* 13(2): 324-350.
- Cabrera O, Á Benítez, N Cumbicus, C Naranjo, P Ramón, F Tinitana, A Escudero. 2019. Geomorphology and Altitude Effects on the Diversity and Structure of the Vanishing Montane Forest of Southern Ecuador. *Diversity*, 11: 2-15. DOI: <https://doi.org/10.3390/d11030032>
- Cifuentes-Jara M. 2008. Aboveground biomass and ecosystem carbon pools in tropical secondary forests growing in six life zones of Costa Rica. Dissertation Doctor of Philosophy. Corvallis, United States of America. Faculty in the Environmental Sciences Graduate Program, Oregon State University. 195 p.
- Cuesta F, M Peralvo, N Valarezo. 2009. Los bosques montanos de los Andes Tropicales. Quito, Ecuador. ECOBONA. 73 p.
- Chave J, C Andalo, S Brown, MA Cairns, JQ Chambers, D Eamus, H Fölster, F Fromard, N Higuchi, T Kira, JP Lescure, BW Nelson, H Ogawa, H Puig, B Riéra, T Yamakura. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145: 87-99. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. 2011. InfoStat, versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Durigan G. 2012. Estrutura e diversidade de comunidades florestais. In Martins S. ed. *Ecologia de floresta tropicais do Brasil*. Viçosa, Minas Gerais, Brasil. UFV, p. 294-325.
- García-Villacorta R. 2009. Diversidad, composición y estructura de un hábitat altamente amenazado: los bosques estacionalmente secos de Tarapoto, Perú. *Revista Peruana de Biología* 16: 81-92.
- Garavito N, E Álvarez, S Arango Caro, A Araujo Murakami, C Blundo, TE Boza Espinoza, MA Cuadros, J Gaviria, N Gutiérrez, PM Jørgensen, B León, R López Camacho, L Malizia, BB Millán, M Moraes, S Pacheco, JM Benayas, C Reynel, M Timaná de la Flor, C Ulloa, O Vacas Cruz, AC Newton. 2012. Evaluación del estado de conservación de los bosques montanos en los Andes tropicales. *Revista Ecosistemas* 21: 148-166.
- Girardin C, W Farfan-Rios, K Garcia, KJ. Feeley, PM. Jørgensen, A Murakami, L Cayola Pérez, R Seidel, N Paniagua, AF Fuentes Claros, C Maldonado, M Silman, N Salinas, C Reynel, DA Neill, M Serrano, CJ Caballero, MA Cuadros, MJ Macía, TJ Killeen, Y Malhi. 2014. Spatial patterns of above-ground structure, biomass and composition in a network of six Andean elevation transects. *Plant Ecology & Diversity* 7: 161-171. DOI: <https://doi.org/10.1080/17550874.2013.820806>
- Granados-Victorino RL, A Sánchez-González, D Martínez-Cabrera, P Octavio-Aguilar. 2017. Estructura y composición arbórea de tres estadios sucesionales de selva mediana subperennifolia del municipio de Huautla, Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 88: 122-135. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.01.024>
- Homeier J, SW Breckle, S Günter, RT Rollenbeck, C Leuschner. 2010. Tree Diversity, Forest Structure and Productivity along Altitudinal and Topographical Gradients in a Species-Rich Ecuadorian Montane Rain Forest. *Biotropica* 42(2): 140-148. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2009.00547.x>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, JP). 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. In Eggleston HS, L Buendia, K Miwa, T Ngara, K Tanabe eds. *Agriculture, Forestry and other land use*. Hayama, Japan. Global Environmental Strategies-IGES. p. 1-83.
- Josse C, F Cuesta, G Navarro, V Barrena, E Cabrera, E Chacón-Moreno, W Ferreira, M Peralvo, J Saito, A Tovar. 2009. Ecosistemas de Los Andes del Norte y Centro. Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela. Lima, Perú. Secretaría General de la Comunidad Andina. 93 p.
- Jadan O, C Toledo, B Tepán, H Cedillo, Á Peralta, P Zea, P Castro, C Vaca, C. 2017. Comunidades forestales en bosques secundarios alto-andinos (Azuay, Ecuador). *Bosque* 38(1): 141-154. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002017000100015>
- MAE (Ministerio del Ambiente del Ecuador, EC). 2013. Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental, Subsecretaría del Patrimonio Natural. Quito, Ecuador. Subsecretaría de Patrimonio Natural, Proyecto Mapa de Vegetación. 143 p.
- MAE (Ministerio del Ambiente del Ecuador, EC), FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, IT). 2014. Resultados de la Evaluación Nacional Forestal, Subsecretaría del Patrimonio Natural. Ecu-

- dor, Quito. MAE-FAO. 316 p.
- Muñoz J, S Erazo, D Armijos. 2014. Composición florística y estructura del bosque seco de la quinta experimental “El Chilco” en el suroccidente del Ecuador. *Cedamaz* 4: 53-61.
- Rozendaal DM, F Bongers, TM Aide, E Alvarez-Dávila, N Ascarunz, P Balvanera, S Calvo-Rodriguez. 2019. Biodiversity recovery of Neotropical secondary forests. *Science Advances* 5(3): 3114. DOI: [10.1126/sciadv.aau3114](https://doi.org/10.1126/sciadv.aau3114)
- Siles P, P Talavera, F Andino Rugama, L Alaniz, W Ortiz González. 2017. Composición florística, estructura y biomasa de los bosques de pino-encino en la reserva Santa Rosa, Tisey, Estelí, Nicaragua. *Revista de Biología Tropical* 65(2): 763-775. DOI: <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v65i2.22928>
- Scatena FN, LA Bruijnzeel, LS Hamilton. 2010. Setting the stage. In Bruijnzeel LA, FN Scatena, LS Hamilton eds. *Tropical Montane cloud Forests*. Cambridge, UK. Cambridge University Press. p. 3-13.
- Wadsworth F. 2000. Los bosques primarios y su productividad. In Wadsworth F. ed. *Producción Forestal para América Tropical*. Washington, Estados Unidos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos-USDA. p. 69-76.
- Zanne AE, G Lopez-Gonzalez, DA Coomes, J Ilic, S Jansen, SL Lewis, RB Miller, NG Swenson, MC Wiemann, J Chave. 2009. Data from: Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology Letters* 12: 351-366. Dryad Digital Repository. DOI: <https://doi.org/10.5061/dryad.234>.

Recibido: 02/08/19
Aceptado: 28/10/19