



Article scientific

Morphological functional traits of forest species in highland hill forests

Fred Daniel Minaya Candia ^a, Edilberto Díaz Quintana ^a, Cleide Santos Flores ^a, Jenri Ruiz Gonzales ^a and Alexander Mesías Morales ^a

^a Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú

ITEM INFORMATION

Published: 2023-12-26
Accepted: 2023-12-22
Received: 2023-10-02

Keywords:

Adaptive
Maximum height
Conservative
Wood density
Diameter

ABSTRACT

The research aimed to identify the functional characteristics of forest species in low and high hillside forests of Tingo María – Huánuco, classifying them according to their adaptive and conservative strategies. To achieve this goal, 23.02 hectares were assessed, using 28 samples of 0.05 hectares each. The methodological approach adopted was hypothetical-deductive, non-experimental, cross-sectional, and correlational. Measurements of diameter at breast height (DBH) were taken for trees with DBH \geq 10 cm, categorized by adaptive and conservative strategies, and crown indices and shapes were determined. The results revealed that DBH varies between 10-20 cm in both low and high hillsides. The majority of tree heights were found in the middle tree stratum (5-24.9 m). In low hillsides, the adaptive strategy prevailed (61.71%), while in high hillsides, the conservative strategy dominated (59.01%). There were inverse and low-magnitude correlations in high hillsides. The maximum height is concentrated in the middle stratum, reaching 85.76% in high hillsides. It is concluded that the high hillside forest exhibited superior functional characteristics.

Rasgos funcionales morfológicos de especies forestales en bosques de colina de selva alta

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo identificar las características funcionales de especies forestales en bosques de colina baja y alta de Tingo María – Huánuco, clasificándolas según su estrategia adaptativa y conservativa. Para lograr este propósito, se evaluaron 23,02 hectáreas, utilizando 28 muestras de 0,05 hectáreas cada una. El enfoque metodológico adoptado fue hipotético-deductivo, no experimental, transversal y correlacional. Se realizaron mediciones del diámetro a la altura del pecho (DAP) en árboles con un DAP \geq 10 cm, se categorizó según la estrategia adaptativa y conservativa, y se determinaron índices y formas de copa. Los resultados obtenidos revelan que el DAP varía entre 10-20 cm tanto en colina baja como en alta. La mayor proporción de alturas de los árboles se encontró en el estrato arbóreo medio (5-24,9 m). En colina baja, prevalece la estrategia adaptativa (61,71 %) y en colina alta la estrategia conservativa (59,01 %). En colinas altas hubo correlaciones inversas y de baja magnitud. La altura máxima se concentra en el estrato medio, alcanzando un 85,76 % en colina alta. Se concluye que, mejores características funcionales presentaron el bosque de colina alta.

Palabras clave:

Adaptativa
Altura máxima
Conservativa
Densidad de la madera
Diámetro



<https://doi.org/10.47422/GreenHorizon.v2i2.23>



INTRODUCCIÓN

Los bosques del mundo cubren más del 30 % de la superficie terrestre y albergan especies vegetales y animales (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2020). Por lo que albergan casi toda la diversidad terrestre del planeta, haciendo que el manejo y conservación de esta alta diversidad biológica dependa de cómo utilizamos e interactuamos con los bosques. Esta alta diversidad, hace que sea complicado de manejar adecuadamente las especies forestales de los bosques, debido a que cada una cuenta con rasgos funcionales diferentes, cumpliendo estas funciones en el ecosistema, tales como la regulación, provisión, etc.

Las especies forestales exhiben características muy particulares, como se observa en el caso de cinco especies mediterráneas de *Quercus*, donde se ha identificado un elevado grado de diversidad funcional. Este fenómeno explica en gran medida su distribución diferenciada en varios hábitats del sur de España (De la Riva et al., 2014). Dichas características funcionales están estrechamente vinculadas al crecimiento de las plantas, la resistencia a la sequía, las propiedades de los residuos, la descomposición y la liberación de nutrientes (López, 2015).

Se han observado valores diferentes de atributos funcionales entre grupos (Galindo et al., 2020), lo cual podría constituir un mecanismo para hacer frente al cambio climático. Según Camacho et al. (2020), existe un equilibrio entre la longitud y el espesor de la fibra que contribuye a aumentar la capacidad de carga humana, lo que convierte esta última característica en relevante para la densidad de la madera.

En el contexto actual de cambio climático global, es muy importante estudiar las propiedades funcionales de los árboles porque ayuda a comprender la capacidad de los árboles para adaptarse a los cambios ambientales, ya que sus propiedades están estrechamente relacionadas con el medio ambiente, así como, diversos procesos biológicos, ambientales y fisiológicos.

La importancia del estudio de los rasgos funcionales en los ecosistemas tropicales se relaciona principalmente con la posibilidad de analizar la respuesta de las especies a los cambios ambientales y explicar ecológicamente su relación con el ambiente en el que se desarrollan, en este contexto, los gradientes altitudinales tropicales (colinas bajas y altas) son un laboratorio natural para estudiar el comportamiento de las especies y su adaptación al cambio climático.

También se sabe por algunas referencias que las especies arbóreas con una alta densidad básica de madera son más resistentes al riesgo de sequía e incendios forestales y acumulan más carbono en su estructura, por lo que es muy importante estudiar el comportamiento de estas especies en diferentes alturas, gradientes, divididos por tipo de bosque (colina baja y alta). Asimismo, el diámetro del tronco, la altura total y el diámetro de la copa están directamente relacionados, por lo que es importante conocer estos índices por grupos de especies para propuestas de mitigación del cambio climático en nuestra región, donde la información es muy escasa.

Como se mencionó anteriormente, se han realizado pocos estudios de rasgos funcionales en el ámbito de Tingo María, y comprender estas relaciones es sumamente importante para combatir los efectos del cambio climático. Con base en esas afirmaciones.

El estudio busca constituirse en una herramienta de gestión para procesos de restauración de ecosistemas forestales, así como para el manejo forestal sostenible, frente a la mitigación y adaptación al cambio climático que viene afrontando el Perú en los últimos años. Dicha información será de vital importancia para los tomadores de decisiones, así como también para profesionales independientes, técnicos, entre otros interesados en el desarrollo forestal sostenible.

Bajo las consideraciones expuestas, se contrastó diferentes grados de relación en los rasgos funcionales con las estrategias adaptativas y conservativas en los bosques del BRUNAS en colina baja y alta en Tingo María. El objetivo planteado fue de evaluar los rasgos funcionales del diámetro, altura y copa de especies forestales según estrategia adaptativa y conservativa en los bosques de colina baja y alta de Tingo María – Huánuco.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de ejecución

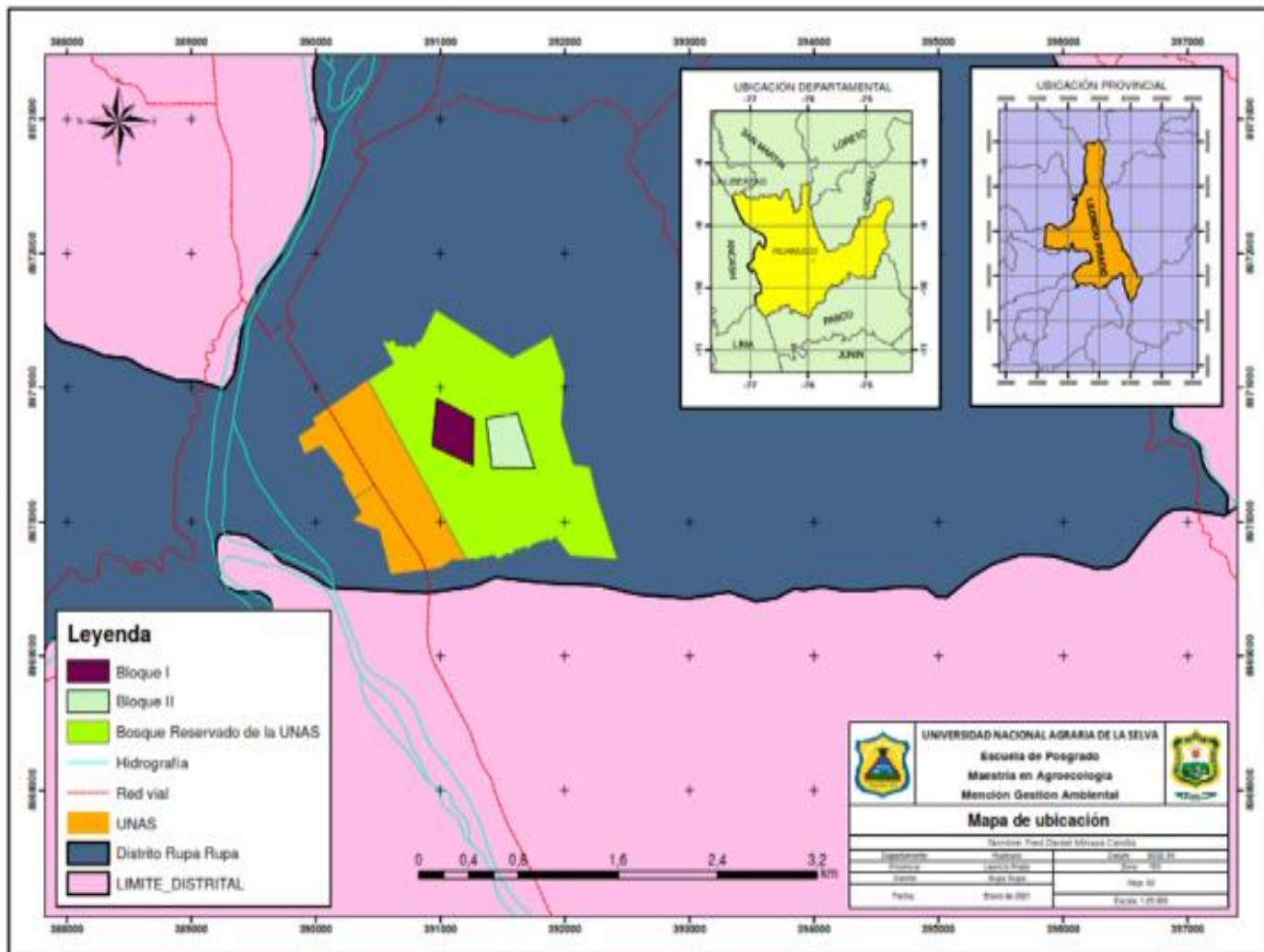
Este estudio se desarrolló en el BRUNAS, sobre zonas como colinas bajas y altas que cubren un área de 23,02 hectáreas, para acceder a la investigación, se ingresa al campus universitario, seguidamente se recorre los caminos frente a la granja de Zootecnia o frente al Silvicultor para llegar a cada una de las unidades muestrales.

Ubicación geográfica y política

Para la ubicación se utilizaron coordenadas UTM con el datum WGS 84, para cada una de las unidades muestrales, así como para la elaboración de los mapas respectivos (vértice 1 del bloque 1: 391 268 E y 8 970 771 N, y el vértice 1 del bloque 2: 391 367 E y 8 970 772 N). Políticamente, este estudio se ubica en la localidad de Tingo María, Rupa Rupa-Leoncio Prado-Huánuco.

Figura 1

Mapa de ubicación de los bloques



Metodología

Se basó en una investigación deductiva e hipotética, aplicada, descriptivo– correlacional y no experimental transversal, teóricamente sustentado en Mejía (2005), Hernández et al. (2006), Arias (2012), Valderrama (2013) y Arias y Covinos (2021). Utilizándose para las evaluaciones la observación científica y fichas de campo.

Como población se tuvo 217 ha del BRUNAS, de las cuales se utilizaron dos parcelas (bloques convencionales), siendo la primera de 11,34 ha ubicada en colinas bajas y la segunda de 11,68 ha en colinas altas, sumando un total de 23,02 ha evaluadas de este bosque tropical, considerando a todos los árboles con $DAP \geq 10$ cm a lo largo del área de cada unidad de muestreo en cada parcela. Asimismo, cada unidad de muestreo (UM) cubría un área de 0,05 ha (500 m²).

La muestra fue representativa de la población y se obtuvo mediante la fórmula clásica de población infinita. El cálculo dio como resultado 12,71 unidades de muestrales por bloque, pero cuando estas unidades se distribuyeron en el SIG, se obtuvo 14 bloques.

Se decidió por un muestreo sistemático, siendo el error de muestreo 23 % y la confianza del 95 % de probabilidad. La distribución de las UM se calculó con un espaciamiento de cuadrícula de 90 m x 90 m según la fórmula de Dauber

(1995). La UM tuvo forma circular y cubrió un área de 0,05 ha; cuyo radio fue de 12,62 m siendo su distribución sistemática donde el primer punto se ubicó al azar.

Desarrollo de la investigación

Estuvo constituida por la preparación (planificación de campo), exploración del terreno, distribución y delimitación de las UM, la recopilación de información bibliográfica y la recopilación de datos de campo.

Para obtener las medidas del árbol, se consideró utilizar el método indirecto de estimación de la altura total. El diámetro del fuste se midió a todos los árboles con $DAP \geq 10$ cm con una cinta diamétrica a 1,30 m de altura. Se utilizó las variables de rasgo funcional (diámetro, altura máxima, altura y diámetro de copa, densidad básica) y estrategia adaptativa y conservativa.

Rasgo funcional diámetro del árbol. Las mediciones de todos los árboles ≥ 10 cm de DAP fueron agrupados luego en clases diamétricas de 10 cm siguiendo lo descrito por Aguirre et al. (2019): 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40-50 cm, 50-60 cm, 60-70 cm, 70-80 cm y > 80 centímetros.

Rasgo funcional altura máxima de los árboles. La altura máxima se determinó con un clinómetro siguiendo el protocolo propuesto por Chave (2005) y para las clases funcionales de la altura total Finnegan et al. (1999): Inferior ($\leq 4,9$ m), medio (5-24,9 m), superior (25-34,9 m) y emergente (> 35 m).

Rasgo funcional diámetro de copa. Para este rasgo, se usó las de base de datos publicada (Chave et al., 2005; Zanne et al., 2009 y Baker et al., 2004). Y para agrupar en estrategias de supervivencia funcional se usó lo citado por Cardoza (2011) que propuso clasificar las especies forestales que presentan una DBM superior a $0,54 \text{ g/cm}^3$ como estrategias de especies “conservativas” y menor a $0,54 \text{ g/cm}^3$ categorizado bajo la estrategia “adaptativa”.

Característica funcional del diámetro de copa. En cada uno de los individuos se midió el diámetro de copa tomando en cuenta dos direcciones Norte-Sur y Este-Oeste, para los cuales se trazaron líneas perpendiculares con una wincha tomando en cuenta la proyección de copa. Para calcular el diámetro de copa se utilizó el promedio de las longitudes de las dos direcciones (Norte-Sur y Este-Oeste).

Rasgo funcional altura de copa. La primera lectura del clinómetro fue para determinar la altura máxima (Hmax) y la segunda lectura para determinar la altura de inserción de copa o altura de copa, desde donde inicia la primera rama de la copa (AIC).

Configuración del dosel. Las relaciones morfométricas para las variables índice de copa y forma de copa se estimaron según lo sugerido por Arias (2005). La forma de copa de los árboles evaluados se clasificó en base a lo propuesto por Synnott (1979).

$$\text{Índice de copa} = \frac{\text{Altura de copa}}{\text{Diámetro de copa}}$$

$$\text{índice forma de copa} = \frac{\text{Diámetro de copa}}{\text{Altura de copa}}$$

Los códigos empleados para la configuración del dosel basados en la forma de copa fueron: Perfecta o círculo completo (1), buena o círculo irregular (2), tolerable o medio completo (3), pobre o menos de medio círculo (4), muy pobre, solo una o pocas ramas (5) y vivo sin copa (6).

Método de análisis de datos. Después de la recopilación de datos utilizando los métodos y el diseño descritos, se definieron y procesaron los criterios para la ubicación de la base de datos con el programa Infostat (software gratuito). Se utilizó el estadístico "r" de inferencia de Pearson y Spearman, cuando correspondía, para probar las hipótesis, con un nivel de confianza de que la correlación sea verdadera del 95 %.

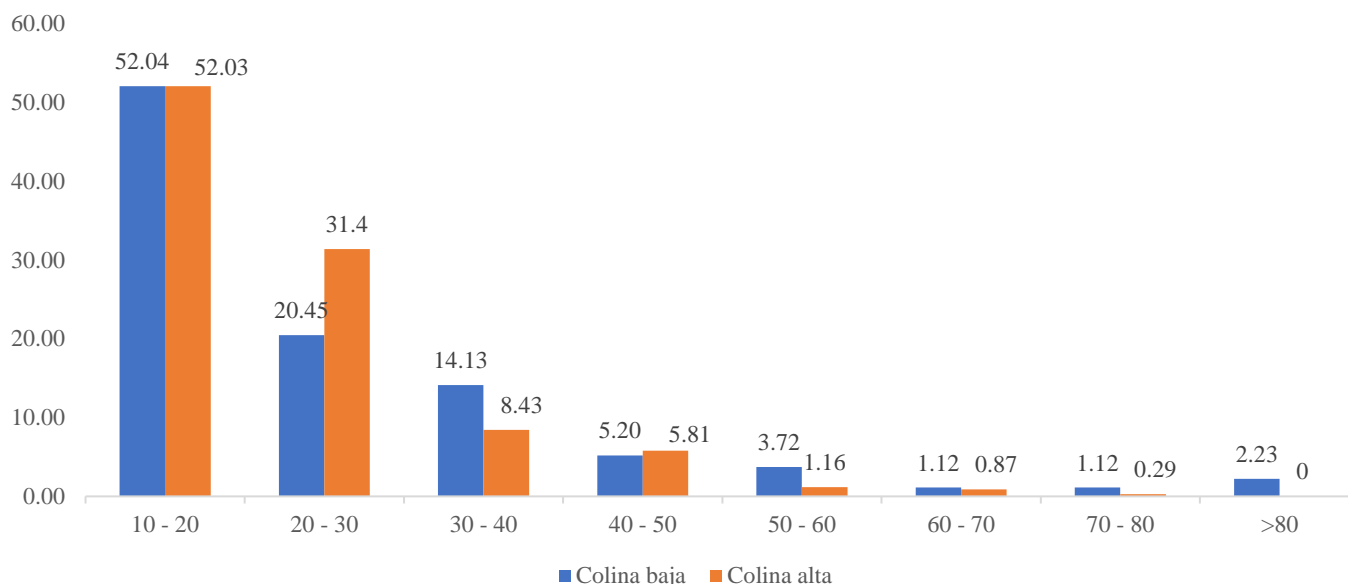
RESULTADOS

Rasgo funcional diámetro, en las especies forestales de colinas bajas y altas

Se identificaron 269 árboles en la colina baja, pertenecientes a 18 familias y abarcando 39 especies distintas. De acuerdo con la estrategia funcional basada en el diámetro a la altura del pecho (DAP), se observó que el 52,04 % de los árboles presentaba diámetros comprendidos entre 10 y 20 cm. Este porcentaje fue seguido por diámetros de 20 a 30 cm, con un 31,40 %, y de 30 a 40 cm, con un 8,43 %. Se apreció una disminución gradual a medida que aumentaba el DAP (Figura 2). El patrón observado en la colina alta fue similar. Se registró un total de 344 árboles, pertenecientes a 49 especies y distribuidos en 23 familias.

Figura 2

Porcentaje por clase diamétrica de los árboles de colina baja y alta

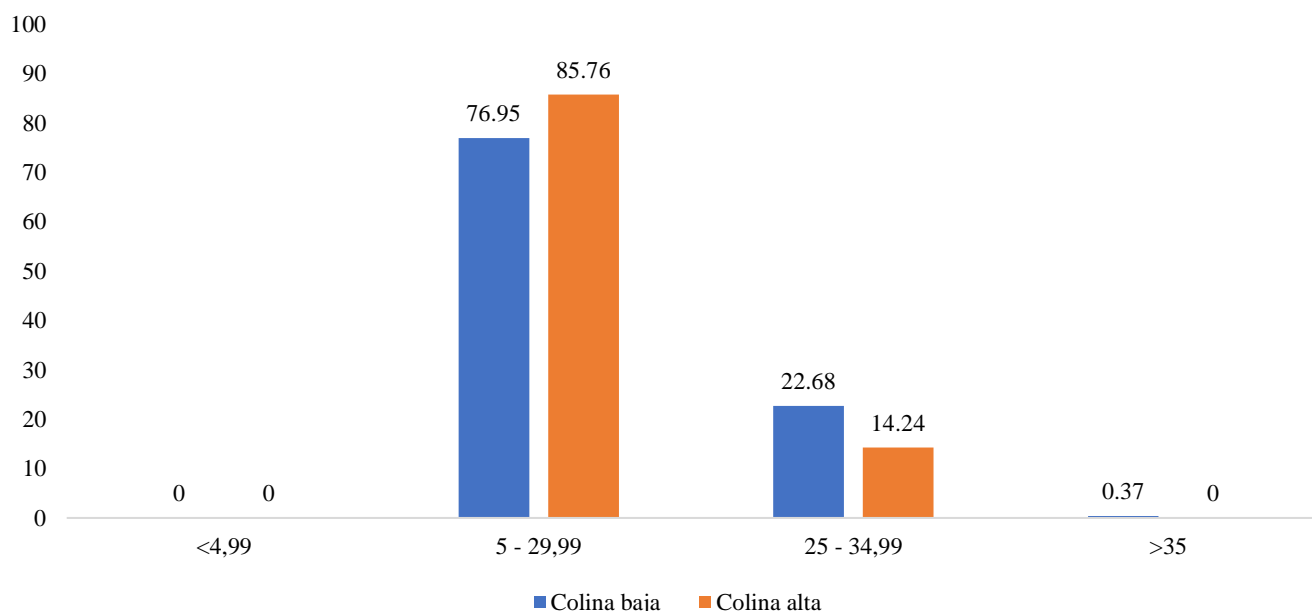


Rasgo funcional altura máxima de especies forestales en colinas baja y alta

El mayor número de árboles se encuentran en el estrato medio con 76,95 % (207) y 85,76 % (295) respectivamente, seguido de estrato de árboles superiores con 22,68 % (61) y 14,24 % (49) respectivamente, y no encontrándose estrato de árboles inferiores (<4,99), así como árboles emergentes (Figura 3).

Figura 3

Porcentaje por clase de estratificación de altura máxima en colinas baja y alta

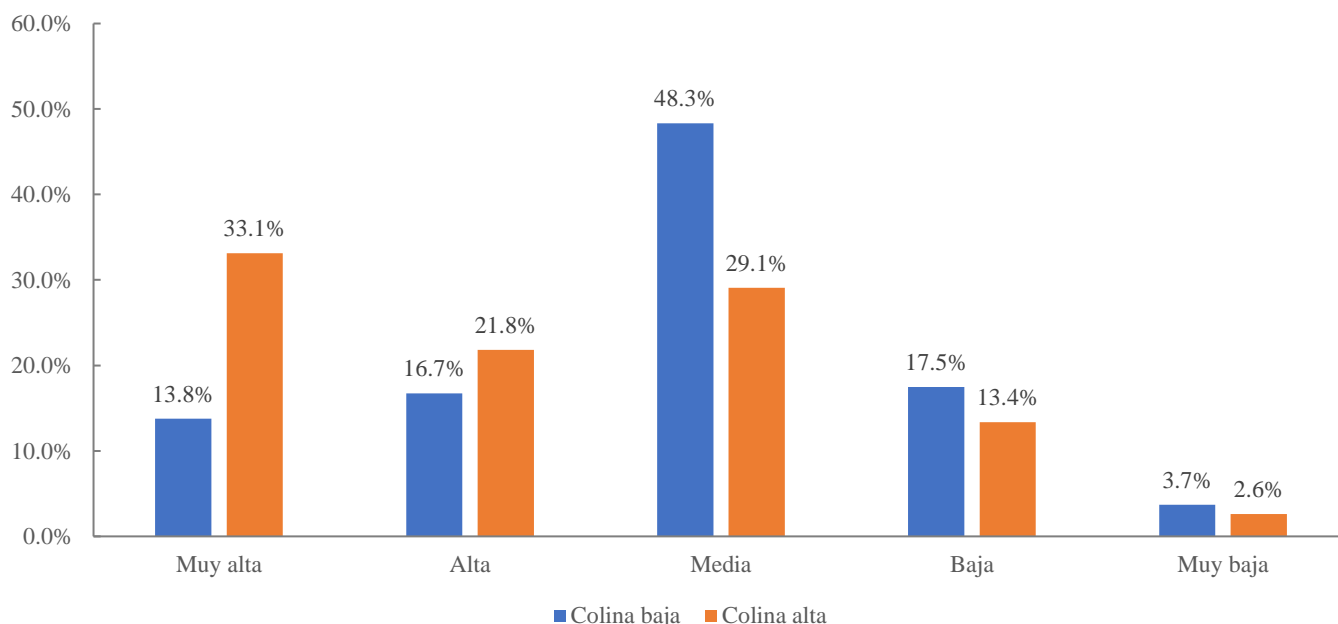


Rasgo funcional densidad básica de las especies forestales en bosques de colinas bajas y alta

En colina baja de los 269 individuos, el 48,3 % (130 árb.) se encuentran en la categoría de densidad básica media, seguida de baja con 17,5 %, alta con 16,7 %, muy alta con 13,8 % y muy baja con 3,7 %; es decir, de cada 10 árboles, 8 presentan densidades entre 0,41 a > 0,75 g/cm³. En colina alta de 344 individuos el 33,1 % (114 árb.) tienen densidad muy alta, seguida con 29,1 % densidad media; 21,8 % densidad alta; 13,4 % densidad baja y 2,6 % densidad muy baja; siendo también, que, de cada 10 árboles, 8 presentan densidades entre 0,41 a > 0,75 g/cm³ (Figura 4).

Figura 4

Rasgo funcional densidad básica de las especies forestales en colina baja y alta

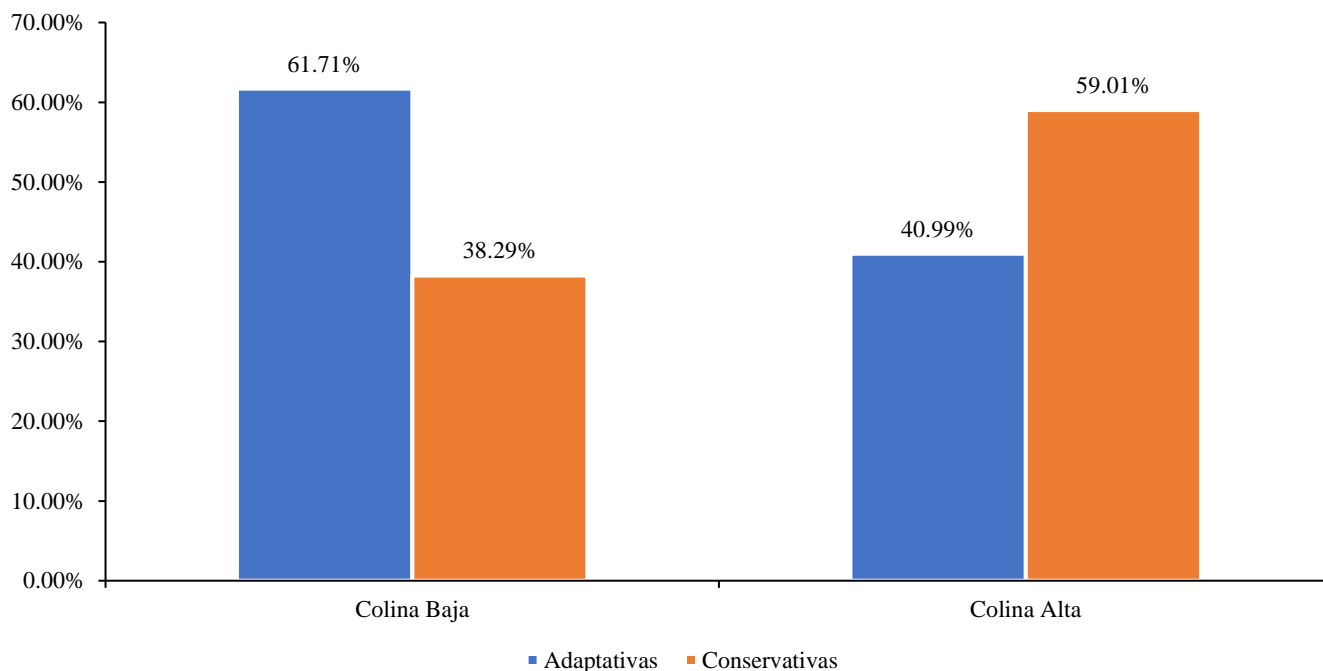


Densidad básica de las especies adaptativas y conservativas en bosques de colinas baja y alta

En colina baja el 61,71 % de las especies forestales según la densidad de la madera son adaptativas y en colinas altas son mayoritariamente conservativas con un 59,01 % de todas las especies forestales para este estrato (Figura 5).

Figura 5

Porcentaje de la densidad de la madera de los árboles de colina baja y alta



Rasgo funcional altura de copa y diámetro de copa de especies forestales en bosques de colinas baja y alta

El índice de copa en colina baja *Rinorea viridifolia* es 5,91 veces mayor que el diámetro de copa, seguido de *Virola elongata* con 4,66; *Maquira guianensis* con 3,72; *Senefeldera inclinata* con 3,67; *Parkia panurensis* con 3,36 (Tabla 1).

Tabla 1

Índice de copa de cinco primeras especies forestales de dosel de copa en colina baja

Nombre científico	N	Mín.	Máx.	Media
<i>Rinorea viridifolia</i>	1	5,91	5,91	5,91
<i>Virola elongata</i>	3	3,75	5,22	4,66
<i>Maquira guianensis</i>	1	3,72	3,72	3,72
<i>Senefeldera inclinata</i>	22	0,76	7,34	3,67
<i>Parkia panurensis</i>	7	1,92	5,33	3,36

La forma de la copa de los árboles que se encontraban en la colina baja significa que el diámetro de la copa es 0,98 veces la altura de la copa en la especie *Symphonia globulifera*, seguida por *Miconia longifolia* con un valor de 0,72; *Jacaranda copaia* con 0,71; *Marila tomentosa* con 0,70 y *Cedrelinga cateniformis* con 0,69 (Tabla 2).

Tabla 2

Forma de copa de las cinco primeras especies forestales en colina baja

Nombre científico	N	Mín	Máx.	Media
<i>Symphonia globulifera</i>	1	0,98	0,98	0,98
<i>Miconia longifolia</i>	1	0,72	0,72	0,72
<i>Jacaranda copaia</i>	12	0,21	1,33	0,71
<i>Marila tomentosa</i>	2	0,62	0,79	0,70
<i>Cedrelinga cateniformis</i>	15	0,2	1,22	0,69

De acuerdo con el rasgo funcional de la altura del dosel y el diámetro del dosel, el índice del dosel muestra que la altura del dosel de *Nectandra hihua* en las colinas altas es 6,74 veces el diámetro del dosel, seguido de *Aniba panurensis* con 5,48, *Vismia amazónica* con 4,69; *Ladenbergia oblongifolia* con 4,35 y *Sclerolobium friburgense* con 4,15 (Tabla 3).

Tabla 3

Índice de copa de las cinco primeras especies forestales de colina alta

Nombre científico	N	Mín	Máx.	Media
<i>Nectandra hihua</i>	1	6,74	6,74	6,74
<i>Aniba panurensis</i>	2	3,06	7,89	5,48
<i>Vismia amazonica</i>	1	4,69	4,69	4,69
<i>Ladenbergia oblongifolia</i>	2	0,54	8,16	4,35
<i>Sclerolobium friburgense</i>	3	1,23	5,63	4,15

En cuanto a la forma de copa de los árboles en colina alta indica que en *Sloanea fragrans* el diámetro de la copa es 1,99 veces la altura de copa, seguido por *Batocarpus orinocensis* con 1,71; *Qualea amoena* con 1,67; *Parkia panurensis* con 1,35 y *Cinchona pubescens* con 1,30 (Tabla 4).

Tabla 4

Forma de copa de las cinco primeras especies forestales en colina alta

Nombre científico	N	Mín.	Máx.	Media
<i>Sloanea fragrans</i>	2	1,78	2,20	1,99
<i>Batocarpus orinocensis</i>	3	0,55	2,33	1,71
<i>Qualea amoena</i>	1	1,67	1,67	1,67
<i>Parkia panurensis</i>	8	0,38	2,92	1,35
<i>Cinchona pubescens</i>	2	0,21	2,38	1,30

Relación del rasgo funcional diámetro, altura máxima, diámetro y altura de copa de especies forestales según estrategia adaptativa y conservativa

Colina baja

El análisis de correlación entre el diámetro del árbol (m) y la densidad de las especies adaptativas ($\leq 0,54 \text{ g/cm}^3$, madera suave) del bosque de colina baja, muestra un valor estadístico de “r” de Pearson de 0,145 y un p-valor de 0,542 que demuestra que no existe correlación entre las variables. Entre la altura máxima y la densidad, la correlación muestra un valor estadístico de “r” de Pearson de -0,015 y un p-valor de 0,949 que demuestra que no existe correlación entre las variables. Asimismo, el diámetro de copa y la densidad muestra un valor estadístico de “r” de Pearson de 0,166 y un p-valor de 0,489 que demuestra que no existe correlación entre las variables. Finalmente, entre la altura de copa y

la densidad muestra un valor estadístico de “rho” de 0,166 y un ρ -valor de 0,484 que demuestra que no existe correlación (Tabla 5).

Tabla 5

Correlación de las variables dasométricas con la densidad básica de la madera en especies de colina baja

Variables	Estadísticos	Colina baja	
		Adquisitiva	Conservativa
DAP (cm)	Correlación	r = 0,145	r = 0,159
	Sig. (bilateral)	0,542 ^{ns}	0,543 ^{ns}
	N	20	17
Altura comercial (m)	Correlación	r = -0,072	r = 0,078
	Sig. (bilateral)	0,764 ^{ns}	0,766 ^{ns}
	N	20	17
Altura total (m)	Correlación	r = -0,015	r = 0,186
	Sig. (bilateral)	0,949 ^{ns}	0,475 ^{ns}
	N	20	17
Diámetro de Copa (m)	Correlación	r = 0,166	r = -0,416
	Sig. (bilateral)	0,486 ^{ns}	0,097 ^{ns}
	N	20	17
Altura de copa (m)	Correlación	rho = 0,166	rho = 0,135
	Sig. (bilateral)	0,484 ^{ns}	0,605 ^{ns}
	N	20	17

Del mismo modo, el análisis de correlación entre el diámetro del árbol (m) y la densidad de las especies conservativas ($\geq 0,54 \text{ g/cm}^3$, madera dura) del bosque de colina baja, muestra un valor estadístico de “r” de Pearson de 0,159 y un ρ -valor de 0,543 que demuestra que no existe correlación entre las variables. Entre la altura máxima y la densidad, la correlación muestra un valor estadístico de “r” de Pearson de 0,186 y un ρ -valor de 0,475 que demuestra que no existe correlación entre las variables. La correlación entre el diámetro de copa y la densidad muestra un valor estadístico de “r” de Pearson de -0,416 y un ρ -valor de 0,097 que demuestra que no existe correlación entre las variables. Y entre la altura de copa y la densidad la correlación muestra un valor estadístico de “rho” de Spearman de 0,135 y un ρ -valor de 0,605 que demuestra que no existe correlación entre las variables (Tabla 5).

Colina alta

El análisis de correlación entre las variables diámetro del árbol (m) con la densidad de las especies adaptativas encontrados en el bosque de colina alta, muestra un valor estadístico de “r” de Pearson de 0,131 y un ρ -valor de 0,525 que demuestra que no existe correlación estadística entre las variables mencionadas. Respecto a la variable altura máxima y la densidad básica de la madera, el “rho” de Spearman fue 0,025 y un ρ -valor de 0,902 que demuestra que no existe correlación entre las variables. Asimismo, entre el diámetro de copa y la densidad, la correlación muestra un valor estadístico de “rho” de Spearman de 0,249 y un ρ -valor de 0,220 que demuestra que no existe correlación entre las variables. Finalmente, entre la altura de copa y la densidad, la correlación muestra un valor estadístico de “r” de Pearson de -0,058 y un ρ -valor de 0,778 que demuestra que no existe correlación entre las variables (Tabla 6).

Del mismo modo, el análisis de correlación entre las variables diámetro del fuste de los árboles (m) y la densidad de las especies conservativas correspondientes al bosque de colina alta, muestra un valor estadístico de “r” de Pearson de 0,053 y un ρ -valor de 0,810 que demuestra que no existe correlación entre las variables. Entre la altura máxima y la densidad, la correlación muestra un valor estadístico de “r” de Pearson de 0,307 y un ρ -valor de 0,155 que demuestra que no existe correlación entre las variables. La correlación entre el diámetro de copa y la densidad muestra un valor estadístico de “r” de Pearson de 0,374 y un ρ -valor de 0,079 que demuestra que no existe correlación entre las variables. Y entre la altura de copa y la densidad la correlación muestra un valor estadístico de “rho” de Spearman de 0,278 y un ρ -valor de 0,199 que demuestra que no existe correlación entre las variables (Tabla 6).

Tabla 6

Correlación de las variables dasométricas con la densidad básica de la madera en especies de colina baja

Variables	Estadísticos	Colina alta	
		Adquisitiva	Conservativa
DAP (cm)	Correlación	r = 0,131	r = -0,053
	Sig. (bilateral)	0,525 ^{ns}	0,810 ^{ns}

	N	26	23
Altura comercial (m)	Correlación	r = 0,083	r = 0,236
	Sig. (bilateral)	0,687 ^{ns}	0,278 ^{ns}
	N	26	23
Altura total (m)	Correlación	rho = 0,025	r = 0,307
	Sig. (bilateral)	0,902 ^{ns}	0,155 ^{ns}
	N	26	23
Diámetro de Copa (m)	Correlación	rho = 0,249	r = 0,374
	Sig. (bilateral)	0,220 ^{ns}	0,079 ^{ns}
	N	26	23
Altura de copa (m)	Correlación	r = -0,058	rho = 0,278
	Sig. (bilateral)	0,778 ^{ns}	0,199 ^{ns}
	N	26	23

DISCUSIÓN

Aguirre (2019) en base al rasgo funcional diámetro encontró que el 53,9 % de individuos se encuentra en el rango de 10 a 20 cm DAP, resultado muy similar a nuestra investigación tanto en colina baja como alta. Asimismo, Díaz (2018) encontró que la dominancia asociada directamente al diámetro de los árboles en la PPM I fue representada por *Parkia panurensis*, mientras que en la PPM IV por *Senefeldera inclinata*; es de precisar que la PPM I se encuentra dentro del bosque de colina baja y la PPM IV dentro de colina alta, según la fisiografía descrita por Puerta (2007). En nuestra investigación *Virola decorticans* presenta el mayor porcentaje de diámetro en colinas bajas y *Senefeldera inclinata* en colina alta, similar a lo reportado por Díaz (2018).

Se observó mayor cantidad de árboles ubicados en el estrato medio, seguido del estrato de árboles superiores, y no encontrándose en el estrato de árboles inferiores ni en los árboles emergentes (Figura 3). Al respecto, Aguirre (2019) encontró en la PPM IV que hay 91,7 % de especies en el estrato medio (5-24,99 m), corroborándose en nuestro estudio un 76,95 % para colina baja, con 85,76 % en colina alta. Esta diferencia de estratos también lo encontró Vela (2019) quien realizando el estudio de la morfometría de las especies de plantas encontró diferencia para cada especie debido a la competencia entre los árboles de la PPM. Asimismo, Córdova (2011) en un estudio realizado en el Parque Nacional de Montecristo, El salvador, encontró de 1 111 individuos, que para el rasgo funcional altura máxima, el 71,4 % de las especies registradas se encuentran en el estrato arbóreo medio; siendo similar al presente estudio donde el 76,95 % se encuentra en el estrato arbóreo medio.

Los bosques de colina baja presentan más especies forestales adaptativas y en colinas altas son mayoritariamente conservativas (Figura 5). Asimismo, la marcada diferencia, muestra que colina baja es mayoritariamente adaptativa con 61,71 % (madera suave) y colina alta es mayoritariamente conservativa con 59,01 % (madera dura). Al respecto Aguirre (2019) reporta que, en la PPM IV que el 66,6 % pertenecen a la estrategia conservativa y el 33,4 % a la estrategia adaptativa. Por su parte, Vela (2019) encontró que la biomasa (asociada directamente con la densidad de la madera) aérea de árboles vivos en pie fue de 20,52 % para la familia Euphorbiaceae y registrando 12,81 % para la especie *Senefeldera inclinata* perteneciente a esta familia, en nuestra investigación, en colinas altas se encontró 32,14 % y 29 % respectivamente para la misma familia y especie en colinas altas.

Los mayores valores del índice de copa en colina baja fueron representados por las especies *Rinorea viridifolia*, *Virola elongata*, *Maquira guianensis*, *Senefeldera inclinata* y *Parkia panurensis* (Tabla 1). Al respecto, Vela (2019) encontró que en la PPM IV *Pseudopiptadenia suaveolens* tiene una longitud de copa 13,22 veces al diámetro de su copa, muy superior al encontrado en la presente investigación tanto en colina baja y alta. Según Arias (2005), los bajos valores del índice de copa están relacionados con condiciones de sitio desfavorables para el crecimiento de la especie, por lo que la evaluación de este parámetro es útil para conocer la calidad y productividad del rodal, convirtiéndose en el estándar de buen sitio.

La forma de la copa en el bosque de colina baja fueron superiores en las especies forestales *Symphonia globulifera*, *Miconia longifolia*, *Jacaranda copaia*, *Marila tomentosa* y *Cedrelinga cateniformis* (Tabla 2), al respecto, Vela (2019) encontró a la especie *Eugenia egensis* con el diámetro de copa 3,75 veces más grande que el largo de copa, Asimismo, Durlo (2001), el diámetro variable de la copa de los árboles refleja el tamaño del aparato fotosintético del árbol, lo cual está directamente relacionado con su capacidad de crecimiento, lo que sugiere que esta propiedad funcional pudo haber influido en la supervivencia en este bosque estará garantizado.

Las especies predominantes en el rasgo funcional de la altura del dosel y el diámetro del dosel en colinas altas lo

conformaron *Nectandra hihua*, *Aniba panurensis*, *Vismia amazónica*, *Ladenbergia oblongifolia* y *Sclerolobium friburgense* (Tabla 3). López (2015), indicó que las características funcionales están estrechamente relacionadas con el crecimiento de las plantas, la resistencia a la sequía, las propiedades de la hojarasca, la descomposición y la liberación de nutrientes. Por todo ello, las propiedades funcionales influyen decisivamente en el funcionamiento de los ecosistemas terrestres.

Los árboles predominantes en la forma de copa de los bosques de colina alta pertenecieron a *Sloanea fragrans*, *Batocarpus orinocensis*, *Qualea amoena*, *Parkia panurensis* y *Cinchona pubescens* (Tabla 4); como ya se indicó la forma de copa está asociada a la capacidad fotosintética de la planta, es decir especies cuyas relaciones de diámetro de copa y la altura de copa sean cercanas a cero las posibilidades de prosperar y crecer de una especie en colinas bajas o altas es muy baja (Durlo, 2001). De manera similar, Ebert y Rieger (2000) sugieren que el área de proyección de la copa, la longitud de la copa y el diámetro de la copa están estrechamente relacionados con el diámetro del árbol y el crecimiento en volumen.

CONCLUSIONES

En colinas bajas, se identificaron 269 árboles distribuidos en 18 familias y 39 especies, mientras que en colinas altas se registraron 344 árboles pertenecientes a 23 familias y 49 especies diferentes. La distribución de las especies según el rasgo funcional del diámetro muestra una mayor concentración en la clase diamétrica de 10 a 20 cm. En colinas bajas y altas, el 52,04% y 52,03%, respectivamente, se encuentra en este rango. En ambas colinas, la altura máxima de los árboles se sitúa en el estrato arbóreo medio (5-24,99 m), con un 76,95% y 85,76%, respectivamente. Además, no se registraron árboles menores a 5 m en ninguna de las colinas, y en colina alta no se encontraron árboles mayores a 35 m. La densidad básica de los árboles con un diámetro a la altura del pecho (DAP) ≥ 10 cm se determinó en ambas colinas. En colina baja, de los 269 individuos, el 48,3% (130 árboles) presenta densidad básica media. En colina alta, de los 344 individuos, el 33,1% (114 árboles) muestra densidad básica muy alta. En otras palabras, de cada 10 árboles, 8 presentan densidades entre 0,41 y $> 0,75$ g/cm³. En cuanto a la densidad de la madera, en colina baja el 61,71% de las especies forestales son adaptativas ($\leq 0,54$ g/cm³), mientras que en colinas altas son mayoritariamente conservativas ($\geq 0,54$ g/cm³), con un 59,01% de todas las especies para este estrato. Esto indica que en colina baja predomina la madera suave (adaptativa) en un 61,71%, mientras que en colina alta predomina la madera dura (conservativa) en un 59,01%. En relación con la diversidad funcional de la altura de copa y el diámetro de copa, en colina baja, el índice de copa de *Rinorea viridifolia* es 5,91 veces mayor que el diámetro de copa, seguido por *Virola elongata*. La forma de copa en *Symphonia globulifera* es 0,98 veces su altura de copa, seguido por *Miconia longifolia*. En colina alta, el índice de copa de *Nectandra hihua* es 6,74 veces mayor que el diámetro de copa, seguido por *Aniba* sp. La forma de copa en *Sloanea fragrans* es 1,99 veces mayor que la altura de la copa, seguido por *Batocarpus orinocensis*. En colina baja, las especies adquisitivas no mostraron correlación con el DAP (p-valor = 0,542), altura comercial (p-valor = 0,764), altura total (p-valor = 0,949), diámetro de copa (p-valor = 0,486) y altura de copa (p-valor = 0,484). Similarmente, en el caso de las especies conservativas, no se correlacionaron con el DAP (p-valor = 0,543), altura comercial (p-valor = 0,766), altura total (p-valor = 0,475), diámetro de copa (p-valor = 0,097) y altura de copa (p-valor = 0,605). En colina alta, no se encontró correlación de las especies adquisitivas con el DAP (p-valor = 0,525), altura comercial (p-valor = 0,687), altura total (p-valor = 0,902), diámetro de copa (p-valor = 0,220) y altura de copa (p-valor = 0,778). Un comportamiento similar se registró en el caso de las especies conservativas, no correlacionándose con el DAP (p-valor = 0,810), altura comercial (p-valor = 0,278), altura total (p-valor = 0,155), diámetro de copa (p-valor = 0,079) y altura de copa (p-valor = 0,199).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguirre, C. (2019). Rasgos funcionales de los árboles de bosque de montaña favorecen la estrategia de conservación de las especies a los riesgos ambientales en el Bosque Reservado UNAS - Tingo María [Tesis Doctoral, Universidad Nacional Hermilio Valdizan]. Repositorio UNHEVAL. <https://hdl.handle.net/20.500.13080/4584>
- Aguirre, C., Santillán, E., y Díaz E. (2019). Rasgos funcionales de los árboles de bosque de montaña favorecen la estrategia de conservación de las especies a los riesgos ambientales, Tingo María-Perú. *Revista Boletín Redipe*, 8(7):99-112.
- Arias, D. (2005). Morfometría del árbol en plantaciones forestales tropicales. *Kurú: Revista Forestal*, 2(5), 1-13.
- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación* (7a ed.). Episteme, C.A.
- Arias, J., y Covinos, M. (2021). *Diseño y metodología de la investigación*. Enfoques Consulting EIRL.

- Camacho, R. L., Gómez, A. Q., y Ariza, S. M. A. (2020). Rasgos funcionales de la madera de tres bosques en Colombia: Bosque Seco, Andino y Alto-Andino. *Ciência Florestal*, 30, 856-872.
- Cardoza, R. F. S. (2011). Diversidad y composición florística y funcional de los bosques del Parque Nacional Monte Cristo, El Salvador. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Chave, J. (2005). Medición de la altura del árbol, para árboles tropicales. Universidad Paul Sabatier.
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., Folter, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T. Lescure, J.-P., Nelson, B. W., Ogawa, H., PUIG, H., Riera, B., y Yamakuua, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145(1), 87- 99.
- Dauber, E. (1995). Guía práctica y teórica para el diseño de un inventario forestal de reconocimiento. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible, BOLFOR.
- De La Riva, E., Pérez, I., Navarro, C., Olmo, M., Marañón, T., y Villar, R. (2014). Rasgos funcionales en el género *Quercus*: estrategias adquisitivas frente a conservativas en el uso de recursos Ecosistemas. *Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente*, 23(2), 82-89.
- Díaz, E. (2018). Análisis estructural del bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva mediante parcelas permanentes de medición [Tesis de posgrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1359>
- Durlo, M. (2001). Relações morfométricas para *Cabralea canjerana* (Well.) Mart. *Ciência Florestal*, 11, 141-149.
- Ebert, H., y Rieger, T. (2000). Die Baumkrone als Mastab fur den Zuwachs von Eiche. *Allgemeine Forst Zeitschrift für Waldwirtschaft und Umweltvorsorge*, 55(8), 403-406.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA]. (2020). El estado de los bosques del mundo 2020. Los bosques, la biodiversidad y las personas. FAO. <https://doi.org/10.4060/ca8642es>
- Galindo, L., Finegan, B., Delgado-Rodríguez, D., y Sequiera, F. M. (2020). Variación intraespecífica de rasgos funcionales de *Cedrela odorata* L. en la Península de Nicoya, Costa Rica. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(57), 1-15.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2006). Metodología de la investigación.
- López, B. (2015). Rasgos funcionales y su relación con el funcionamiento de las plantas [Tesis Doctoral, Universidad de Córdoba].
- Mejía, E. (2005). Técnicas e instrumentos de investigación. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Puerta, R. (2007). Modelo digital de elevación del bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María – Perú [Tesis de posgrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1908>
- Synnott, T. J. (1979). Manual de procedimientos de parcelas permanentes para bosque húmedo tropical. Traducción por Valerio, J. 1991. Serie de apoyo académico N°12. Departamento de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Valderrama, S. (2013). Pasos para elaborar proyectos de investigación científica (2ª ed.). San Marcos.
- Vela, A. (2019). Rasgos funcionales asociados al servicio ecosistémico de mitigación del cambio climático en árboles de colinas altas del bosque reservado de la UNAS – Tingo María [Tesis de posgrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1722>