



Estimación de la calidad de sitio de *Cinchona pubescens* (Rubiaceae), en el bosque montano La Palma, Chota, Perú

Estimating the site quality of *Cinchona pubescens* (Rubiaceae) in La Palma montane forest, province of Chota, Peru

Rufasto-Peralta, Yennifer L.¹; Juan R. Baselly-Villanueva²; Denisse M. Alva-Mendoza¹; Alejandro Seminario-Cunya¹; Duberli G. Elera-Gonzales^{1,3}; Jim J. Villena-Velásquez^{1*}

¹ Universidad Nacional Autónoma de Chota (UNACH), Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, Jr. José Osoreo 418, (06121) Chota, Cajamarca, Perú.

² Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Estación Experimental Agraria San Roque, Calle San Roque 209, San Juan Bautista, Maynas, (16430) Loreto, Perú.

³ Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Ciência Florestal, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Laboratório de Sensoriamento Remoto – LASER, Recife – PE, CEP: 52171-900, Brasil.

* Autor corresponsal: <jairovillenavelasquez@gmail.com>

RESUMEN

El género *Cinchona* L. (Rubiaceae) agrupa 23 especies, de las cuales 19 se encuentran distribuidas en Perú. Pese a ser un género importante a nivel mundial, sus hábitats están siendo degradados de manera acelerada, sin contar con investigaciones sobre la calidad de sitio de estas especies, dificultando generar planes de recuperación de su hábitat. El objetivo de la investigación fue estimar la calidad de sitio de *Cinchona pubescens* Vahl., en el bosque montano La Palma, localizado en el distrito y provincia de Chota, región Cajamarca, Perú. Se establecieron tres parcelas circulares de 500 m² (r = 12,6 m), donde se midió la altura total y la circunferencia a la altura del pecho de los árboles. Se realizó el análisis de varianza para evaluar la existencia de clases de sitio. Se obtuvieron variables climáticas, fisiográficas y edáficas que fueron correlacionadas con la altura de los árboles, para explicar su relación; además se realizó un Análisis de Componentes Principales con el fin de explicar la variabilidad de los parámetros en estudio. Se determinó que no existe diferencia estadística entre las alturas medias de los árboles; por cuanto, todas las parcelas presentan similitud de calidad de sitio. Los factores edafoclimáticos no presentaron correlación con la altura.

► Ref. bibliográfica: Rufasto, Y.; Baselly, J. R.; Alva, D. M.; Seminario, A.; Elera-Gonzales, D. G.; Villena, J. J. 2023. Estimación de la calidad de sitio de *Cinchona pubescens* (Rubiaceae), en el bosque montano La Palma, Chota, Perú. *Lilloa* 60 (2): 259-279. doi: <https://doi.org/10.30550/j.lil/1826>

► Recibido: 21 de julio 2023 – Aceptado: 10 de noviembre 2023 – Publicado en línea: 7 de diciembre 2023.



► URL de la revista: <http://lilloa.lillo.org.ar>

► Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución – No Comercial – Sin Obra Derivada 4.0 Internacional.

Sin embargo, el Análisis de Componentes Principales, evidenció que las variables edáficas influyen más que las climáticas y topográficas sobre la altura de *Cinchona pubescens* Vahl. Esta especie crece en suelos francos arenosos, con pH fuertemente ácido y concentraciones medias a altas de algunos elementos como materia orgánica, P, K y N.

Palabras clave — Capacidad de Uso Mayor; características edafoclimáticas; factores edáficos; Quina.

ABSTRACT

The genus *Cinchona* L. (Rubiaceae) has 23 species, of which 19 are distributed in Peru. Although it is a very important genus worldwide, its habitats are being degraded at an accelerated rate. No research on the site quality of these species has been conducted, making it difficult to devise habitat recovery plans. The objective of the research was to estimate the site quality of *Cinchona pubescens* Vahl., in La Palma montane forest, located in the district and province of Chota, Cajamarca region, Peru. Three circular plots of 500 m² (r = 12.6 m) were established, and the total height and circumference at breast height of the trees were measured. An analysis of variance was performed to evaluate the existence of site classes. Climatic, physiographic and edaphic variables were obtained and correlated with tree height to explain their relationship; in addition, a Principal Component Analysis was performed to explain the variability of the studied variables. No statistical difference was detected between the mean heights of the trees, since all the plots presented similar site quality. The edaphoclimatic factors were not correlated with height. However, the Principal Component Analysis showed that edaphic variables had a greater influence on the height of *Cinchona pubescens* Vahl. than climatic and topographic variables. This species grows in sandy loam soils, with a strongly acid pH and medium to high concentrations of some elements, such as organic matter, P, K and N.

Keywords — Major Use Capacity; edaphoclimatic characteristics; edaphic factors; Quina.

INTRODUCCIÓN

La calidad de sitio, en bosques, es la capacidad productiva de un área terrestre para sustentar el crecimiento del mismo (González *et al.*, 2004; Aguirre *et al.*, 2022), presentando en algunos casos bosques exuberantes mientras que, en otros bosques pobres (Adeyemi, 2016); asimismo, es el potencial de un determinado sitio que aporta los recursos para la producción de madera u otro producto para una especie o grupo de especies (Clutter *et al.*, 1983; Chagas y Garcia, 2017). Estas diferencias pueden ser producto de factores edáficos, topográficos y climáticos, viéndose reflejado en las especies como también en el desarrollo estructural del bosque (Adeyemi, 2016). La calidad de sitio se puede determinar por métodos directos (fitocéntricos) e indirectos (geocéntricos) (Prodan *et al.*, 1997; Weiskittel *et al.*, 2011). El método directo requiere información de crecimiento del rodal, cuyos datos son obtenidos mediante inventarios forestales continuos (Molina *et al.*, 2019).

El método indirecto se basa en la medición de parámetros del sitio que afectan el crecimiento del bosque como el suelo, clima, vegetación y/o fisiografía (Gadow *et al.*, 2007; Mora *et al.*, 2015). Pocas investigaciones abordan la caracterización de los sitios forestales (García *et al.* 2017), la mayoría se enfoca en los métodos directos (Zhu *et al.*, 2019; Sharma, 2021; Guerra *et al.*, 2021).

Los estudios de calidad de sitio, son importantes porque permiten correlacionar las características del sitio con el crecimiento del bosque (Bontemps y Bouriaud, 2014); esencialmente, expresan y cuantifican los múltiples efectos de las variables o factores ambientales sobre el crecimiento de la altura máxima o dominante de los árboles (González *et al.*, 2013; Bontemps y Bouriaud 2014; Menéndez *et al.*, 2015). La ausencia o presencia de algunas características ambientales pueden generar limitaciones o impulsar el crecimiento de una especie (Kiviste, 2002; Gadow *et al.*, 2007; Mora *et al.*, 2015); en ese sentido, contar con el conocimiento del sitio resulta fundamental; puesto que permite conocer los requerimientos ambientales de la especie, para su crecimiento y desarrollo, a partir de las cuales se pueden seleccionar áreas propicias para instalar plantaciones forestales (González *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2021).

El género *Cinchona* L. (Rubiaceae-Cinchoneae), está conformado por 23 especies de árboles o arbustos (Ulloa *et al.*, 2017; Aymard, 2019), reportándose 19 para Perú (Suárez, 2020), de las cuales 11 especies se encuentran en el Norte del país (Cajamarca y Piura), representando un 48 % del total de especies del género (Huamán *et al.*, 2019). *Cinchona*, conocida comúnmente como “árbol de la quina” o “cascarilla”, tiene un gran valor cívico plasmado en el escudo nacional, que representa la riqueza vegetal del Perú (Córdor *et al.*, 2019). Los bosques montanos, hábitat de *Cinchona*, son afectados por la quema y el crecimiento urbano, construcción de vías, expansión agrícola y ganadera (Rasal *et al.*, 2012; Aymard, 2019; Huamán *et al.*, 2019).

En Perú, se ha promulgado la R.M. N° 0258-99-AG que prohíbe en todo el país la extracción de especímenes del género *Cinchona* en bosques naturales y el D.S. N° 043-2006-AG que declara en estado vulnerable a *C. calisaya* Wedd., pero es mínimo su cumplimiento a pesar de los esfuerzos de las autoridades para la protección de las especies de este género. A pesar de la presión a la que están sometidas las especies de *Cinchona* (García *et al.*, 2022), es poca la información sobre aspectos ecológicos, entre ellas *C. fruticosa* L. Andersson, *C. glandulifera* (Ruiz) Ruiz & Pav., *C. krauseana* L. Andersson, *C. pyrifolia* L. Andersson y *C. scrobiculata* Bonpl., están clasificadas como datos insuficientes (DD) y *C. micrantha* Ruiz & Pav. como preocupación menor (LC) (Pino y Taylor, 2006; IUCN, 2022). Teniendo en cuenta que el hábitat del género está siendo seriamente afectado por acciones antrópicas, tal como se evidencia en el bosque La Palma, Chota, y la falta de investigaciones en sus requerimientos (Huamán *et al.*, 2019), específicamente sobre la calidad de sitio, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar y estimar la calidad de sitio de *Cinchona pubescens* Vahl. en el bosque montano La Palma, provincia de Chota, Cajamarca (Perú), lo que permitirá generar planes de poblamiento y recuperación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El departamento de Cajamarca se ubica al Norte de Perú tiene una extensión territorial de 32.967,20 km², por el Norte limita con Ecuador, por el Este con el departamento de Amazonas, Sur con la Libertad y al Oeste con las regiones de Lambayeque y Piura, está conformado por 13 provincias, la provincia de Chota se ubica al Norte de Cajamarca y al Este de Lambayeque tiene una extensión de 3.760,06 km². El área de estudio La Palma se localiza en el distrito y provincia de Chota, en la región Cajamarca, entre las coordenadas 6° 29' 27,84" S y 78° 37' 59,80" W (Fig. 1). Perteneció a la zona vida de Bosque Húmedo Montano Bajo Tropical (bh-MBT), con pendientes de ondulado suaves a onduladas, los suelos se caracterizan por ser profundos a superficiales, franco arenosos, con drenaje moderado y erosión ligera a muy ligera. El área de estudio cuenta con una extensión de 25 ha, se ubica a 40 minutos de la ciudad de Chota, de la cual se accede a través de la carretera hacia el distrito de Chalamarca.

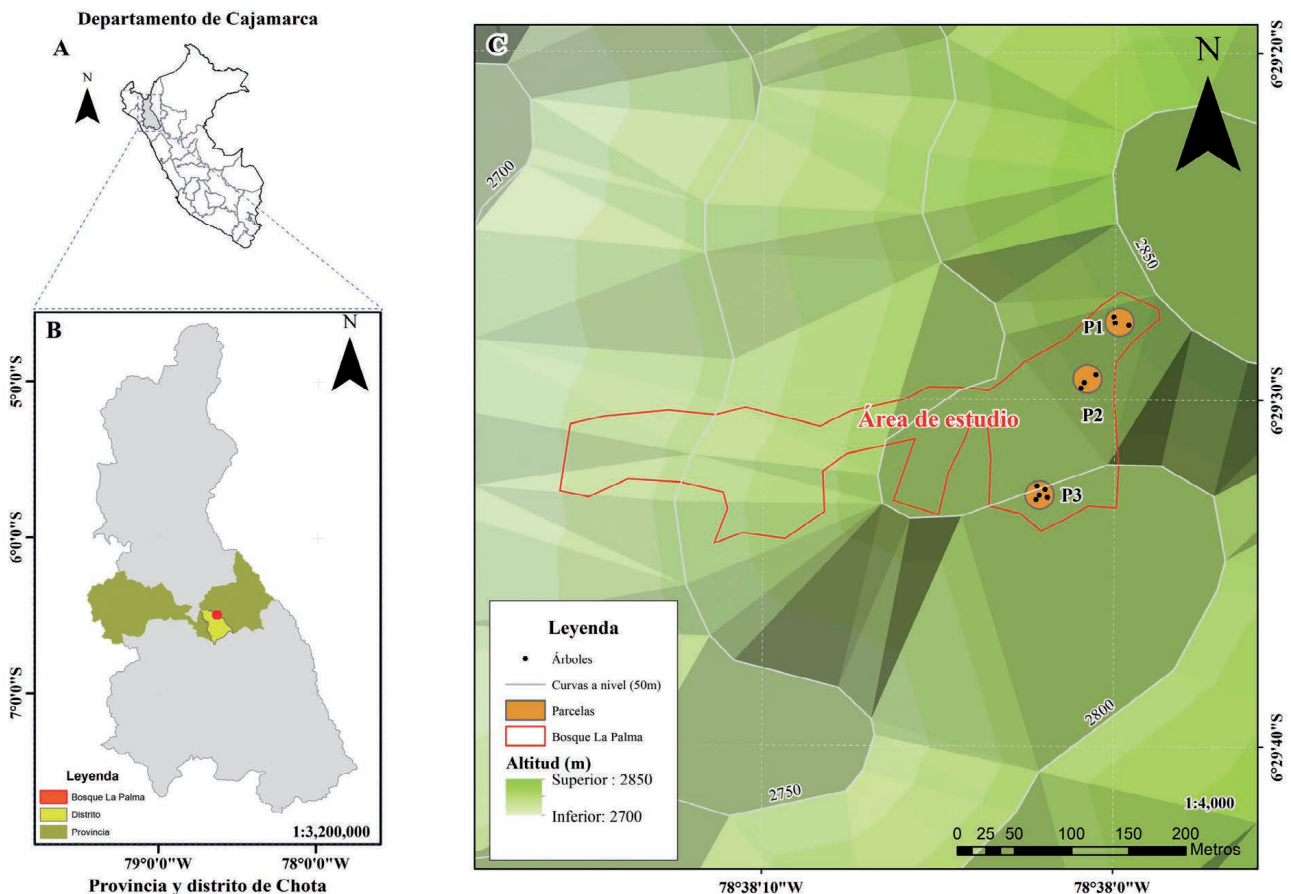


Fig. 1. Localización del área de estudio: A) Ubicación de la región Cajamarca en el territorio peruano. B) Detalle de la ubicación de la provincia de Chota en la región Cajamarca. C) Ubicación del área de estudio en el bosque montano La Palma.

Fig. 1. Location of the study area: A) Location of the Cajamarca region in Peru. B) Detail of the location of the province of Chota in the Cajamarca region. C) Location of the study area in La Palma montane forest.

Instalación de parcelas y colecta de datos

Las parcelas fueron instaladas mediante el diseño de muestreo no probabilístico por conveniencia (Cruzado *et al.*, 2019), la instalación de parcelas garantizó la presencia de individuos de *C. pubescens*. se instalaron a 50 m entre sí debido a la poca presencia de la especie y a la intervención antrópica que presenta el área de estudio. Se establecieron tres parcelas circulares de 500 m² ($r = 12,62$ m). De cada árbol, se registró la circunferencia a la altura del pecho (CAP) medido a 1,30 m sobre el nivel del suelo con cinta métrica y se estimó la altura de árbol (h) con hipsómetro Suunto Pm-5/360. En total, 11 árboles fueron medidos. El diámetro a la altura del pecho (DAP), Área Basal (AB) y Volumen total (Vt) fueron determinados mediante las siguientes fórmulas (Soares *et al.*, 2011):

$$[1] \quad DAP = \frac{CAP}{\pi}$$

$$[2] \quad AB = \frac{\pi \cdot DAP^2}{4}$$

$$[3] \quad Vt = \frac{\pi \cdot DAP^2}{4} \cdot H \cdot f$$

Donde π tiene el valor de 3,1416 y f es el factor de forma de 0,66 (Baselly, 2019).

Determinación de clases de sitio

Teniendo en cuenta que la calidad de sitio es igual al promedio de la altura de los 100 árboles dominantes por hectárea (West, 2015), en cada parcela de 500 m² (0,5 ha) se tendrían que haber evaluado cinco árboles; sin embargo, debido a las características de la especie y la dinámica del bosque, se consideraron todos los individuos de cada parcela para la evaluación.

El análisis estadístico fue realizado en el programa R Core (Team, 2022). La existencia de clases de sitio para *C. pubescens*, se determinó mediante el Análisis de Varianza (ANOVA) de las alturas totales (h) en las parcelas evaluadas (Bravo *et al.*, 2011; Soto, 2019; Villena *et al.*, 2022). El ANOVA fue realizado a un 95% de probabilidad ($p < 0,05$) a través de la función *Aov* de R (Chambers *et al.*, 1992). La normalidad y homogeneidad de varianza se determinó usando las pruebas de Shapiro Wilk y Barlett ($p < 0,05$), mediante la función *shapiro.test* (Royston, 1982) y *bartlett.test* (Bartlett, 1937) respectivamente. Asimismo, con el fin de reforzar los datos obtenidos se realizó el ANOVA del DAP y AB; en el caso del Vt que no presentó normalidad, se usó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$) con la función *kruskal.test* (Hollander y Wolfe, 1973).

Datos edafoclimáticos

Considerando que la temperatura y la precipitación son los elementos climáticos que ejercen alta influencia sobre el crecimiento de ecosistemas boscosos (Montero, 1999). Las variables climáticas para el área de estudio fueron temperatura mínima (T_{mín.}), temperatura media (T_{med.}), temperatura máxima (T_{máx.}); obtenidas de la base de datos *The POWER Project* (NASA, 2021) disponibles en el sitio (<https://power.larc.nasa.gov/>). La precipitación (Pp) fue obtenida de la base de datos *Giovanni* (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>). Se analizaron los datos climáticos desde el 2009 hasta 2019 (Tabla 2).

Asimismo, para cada parcela se determinó la altitud mediante un GPS y la pendiente (Ped) con eclímetro. El sombreado (Sbd) fue obtenido a partir de un Modelo Digital de Elevación (MDE) de 12,5 m de resolución espacial y la distancia euclidiana a cuerpos de agua (DisA) fue determinada a partir del *shapefile* de la red hídrica (GORECAJ, 2022), utilizando software de sistemas de información geográfica (SIG), Tabla 2.

Para determinar las variables edáficas, se abrieron calicatas, una por parcela, describiendo los horizontes por observación directa. Se extrajo una muestra de suelo de 1 kg por calicata, hasta una profundidad de 40 cm, debido a que un gran porcentaje de plantas cuentan con mayor densidad radicular en los primeros centímetros de la superficie (Mendoza y Espinoza, 2017), y que son estas las responsables de la absorción de nutrientes y agua (Herrera y Alvarado, 1998). Las muestras fueron colectadas y etiquetadas en bolsas tipo ziploc.

El análisis fisicoquímico del suelo se realizó en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, cuyos resultados permitieron conocer la textura (Arena – A, Limo – L y Arcilla – Ar), el pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca⁺²), magnesio (Mg⁺²), sodio (Na⁺), aluminio (Al⁺³ + H⁺), capacidad de intercambio catiónico (CIC), suma de cationes (SC), suma de bases (SB), saturación de bases (SaB), además de calcáreo total y acidez de cambio (Tabla 2).

Para determinar las variables edafoclimáticas que influyen en el crecimiento de la altura de los árboles (*h*), se realizó el análisis de correlación lineal de Pearson ($p \leq 0,05$), efectuándose con la función *cor* de R (Becker *et al.*, 1988). Finalmente, con el fin de tener un análisis global de las variables del sitio en el que se desarrolló la especie, se efectuó un análisis multivariado mediante Análisis de Componentes Principales (ACP) del paquete FactoMineR y factoextra (Lê *et al.*, 2008; Kassambara, 2019) de R, se utilizó el método Biplot que permitió una representación gráfica de los individuos de cada parcela y las variables edafoclimáticas evaluadas (Pardo, 2020).

Caracterización de la calidad de sitio de *C. pubescens*

Para caracterizar la calidad de sitio de *C. pubescens*, se aplicó el método indirecto, considerando los factores climáticos, edáficos y topográficos, debido al desconocimiento de la edad de los árboles (Bravo *et al.*, 2011; Mora *et al.*, 2015; Hargreaves *et*

Tabla 1. Características dasométricas de los individuos de *C. pubescens*, observados en las parcelas de medición.**Table 1.** Dasometric characteristics of *C. pubescens* individuals observed in the measurement plots.

Parcela	Rep. (árbol)	DAP (cm)	h (m)	AB (m ²)	Vt (m ³)
P1	1	19,1	21,8	0,029	0,4106
P1	2	13,4	17,5	0,014	0,1640
P1	3	7,0	5,0	0,004	0,0129
P2	1	14,4	16,0	0,016	0,1711
P2	2	5,7	10,0	0,003	0,0172
P2	3	4,5	9,0	0,002	0,0095
P3	1	18,5	21,0	0,027	0,3714
P3	2	11,3	9,0	0,010	0,0594
P3	3	6,6	10,7	0,003	0,0240
P3	4	9,5	10,0	0,007	0,0469
P3	5	8,0	11,0	0,005	0,0363

DAP: diámetro a la altura del pecho, h: altura total, AB: área basal, Vt: Volumen total.

Tabla 2. Estadísticos de las variables edafoclimáticas y topográficas del bosque La Palma, provincia Chota, Perú.**Table 2.** Statistics of edaphoclimatic and topographic variables of La Palma forest, Chota province, Peru.

Variables		Mín.	Media	Máx.	Desviación estándar
Climáticas	Tmáx. (°C)	24,72	25,46	26,49	0,55
	Tmín. (°C)	12,78	13,41	13,95	0,36
	Tmed. (°C)	18,75	19,44	20,22	0,45
	Pp (mm año ⁻¹)	613,02	841,63	908,74	88,03
Topográficas	Alt (m)	2800,00	2824,36	2846,00	20,85
	Ped (%)	31,00	45,45	68,00	11,67
	Sbd	9,09	15,35	18,33	3,29
	DisA (m)	1239,00	1303,09	1403,00	71,15
Edáficas	A (%)	63,00	65,73	71,00	3,50
	L (%)	17,00	18,82	21,00	2,09
	Ar (%)	12,00	15,45	18,00	2,38
	pH	3,58	3,59	3,62	0,02
	CE (dS/m)	0,20	0,24	0,27	0,03
	MO (%)	5,17	12,16	19,31	6,89
	N (%)	0,60	0,71	0,79	2,84
	P (ppm)	13,10	20,32	24,00	4,77
	K (ppm)	111,00	118,36	138,00	12,61
	Ca ⁺² (meq/100 g)	0,74	1,17	1,66	0,47
	Mg ⁺² (meq/100g)	0,23	0,35	0,47	0,11
	K ⁺ (meq/100 g)	0,21	0,23	0,25	0,02
	Na ⁺ (meq/100 g)	0,12	0,15	0,17	0,02
	Al ⁺³ + H ⁺³ (meq/100 g)	9,00	10,16	12,30	1,44
	CIC (meq/100 g)	19,68	22,36	24,32	2,05
	SC	11,38	12,05	13,61	1,00
SB	1,31	1,89	2,52	0,60	
SaB (%)	6,00	8,09	10,00	1,87	

T máx: Temperatura máxima, T mín: Temperatura mínima, T med: Temperatura media, Pp: Precipitación, Alt: Altitud, Ped: Pendiente, Sbd: sombreado, DisA: Distancia euclidiana a cuerpos de agua, A: Arena, L: Limo, Ar: Arcilla, pH: Potencial hidrógeno, CE: Conductividad eléctrica, MO: Materia orgánica, N: Nitrógeno, P: Fósforo, K: Potasio, (Ca⁺², Mg⁺², K⁺, Na⁺, Al⁺³+H⁺³): Distribución de cationes, CIC: Capacidad de intercambio catiónico, SB: Suma de bases, SC: Suma de cationes, SaB: Saturación de bases.

al., 2020). La caracterización fue realizada teniendo como base la capacidad de uso mayor (CUM) según los criterios establecidos en el D.S. N° 005-2022-MIDAGRI (MIDAGRI, 2022).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación de clases de sitio

La calidad del sitio se puede estimar conociendo las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Subedi y Fox, 2016; Sotomayor, 2023); pero generalmente se recurre a la expresión cuantitativa de la calidad de sitio, siendo el más común la altura de los árboles de mayor crecimiento (Prodan *et al.*, 1997) o altura dominante, que fue utilizada por primera vez como magnitud de la calidad de sitio por Baur (Alvarado *et al.*, 2013). En la presente investigación se determinó que en la zona de estudio no existe diferencia significativa entre la altura media de los individuos de las parcelas ($p < 0,5761$), infiriendo que las alturas totales de los árboles de las tres parcelas evaluadas son estadísticamente similares (Tabla 3); con un coeficiente de variación de 45,91%. Esto indica que en el área evaluada existe una sola clase de sitio (I) para *C. pubescens*, estos resultados son similares a los obtenidos en el bosque de protección Pagaibamba para *Cinchona officinalis* L. (Villar *et al.*, 2018) y, en *Tara spinosa* (Feuillée ex Molina) Britton & Rose en bosques naturales de Cajamarca (Villena *et al.*, 2022). De igual forma para el *DAP*, *AB* y *Vt* no existió diferencias significativas entre parcelas, reforzando la existencia de sólo una clase de sitio. Estos resultados no diferenciales entre las características de los individuos de *C. pubescens*, probablemente se debe a que los bosques montanos son peculiares en su topografía, con variados periodos de precipitación, humedad relativa, y exposición hacia el Oeste (océano Pacífico), presentando influencia de la selva alta, situada al Este del río Marañón (Henderson *et al.*, 1991; León *et al.*, 2006). Factores que han permitido un proceso adaptativo de todas las especies, incluida la *C. pubescens*, a crecer y desarrollar en estos ecosistemas, razón por la cual no se aprecian diferencias significativas entre los individuos evaluados.

Tabla 3. Comparación de medias de *h* y otras variables dasométricas.

Table 3. Comparison of means of *h* and other dasometric variables.

Estadístico	<i>h</i> (m)	DAP (cm)	AB (m ²)	VT (m ³)
Media	12,81 ^{ns}	10,73 ^{ns}	0,0109 ^{ns}	0,1203 ^{ns}
Análisis	ANOVA	ANOVA	ANOVA	Kruskal-Wallis
F-value	0,238	0,678	0,568	-
p-valor	0,793	0,534	0,588	0,5761
CV	45,91	48,70	92,23	-

Donde, *h*: altura total de árbol, DAP: diámetro a la altura del pecho, AB: área basal, Vt: volumen total.

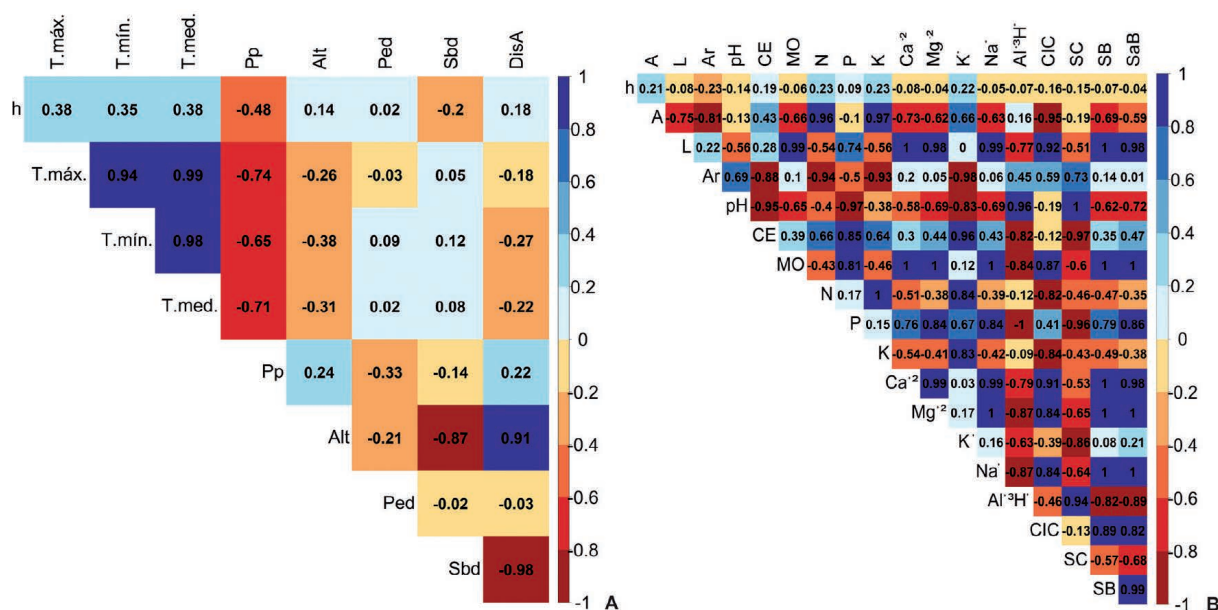


Fig. 2. Correlación entre las variables en estudio: A) Variables climáticas y topográficas vs. la altura total. B) Variables edáficas con respecto vs altura total.

Fig. 2. Correlation between the studied variables: A) Climatic and topographic variables vs. total height. B) Edaphic variables with respect to total height.

Influencia de las variables edafoclimáticas y topográficas sobre el crecimiento en altura total de *C. pubescens*

En el análisis de correlación, no se evidenciaron correlaciones lineales entre los factores edafoclimáticos y topográficos con respecto a *h* de *C. pubescens*. Sin embargo, se observó que *h* presentó una asociación moderada con las variables Tmáx (0,38), Tmín (0,35), Tmedia (0,38) y Pp (-0,48) (Fig. 2).

La variabilidad meteorológica interanual es un factor que influye en los patrones de actividad fisiológica de las plantas (Murphy *et al.*, 2020), mientras que el incremento de algunos parámetros que afectan el cambio climático ha permitido conocer que los factores climáticos ejercen influencia vital en el crecimiento de los árboles (Duan *et al.*, 2022; Campos, 2023); asimismo, las variables topográficas y climáticas ejercen influencia sobre la productividad de un sitio, donde la temperatura juega un papel primordial en la generación de microambientes, acelerando la descomposición de MO, que provoca la liberación de nutrientes (Martínez *et al.*, 2013). A su vez, la temperatura también se correlaciona con la productividad de un sitio (Farrelly *et al.*, 2009), por lo que podría tener influencia en la distribución espacial de las especies de vegetación natural (Lozada y Sentelhes, 2008). Existe evidencia que la temperatura es un indicador de la disponibilidad de nutrientes, al aumentar, se incrementa la absorción activa de los elementos (Clavijo *et al.*, 2001; Barros, 2021). Asimismo, es un parámetro que ejerce influencia sobre procesos fisiológicos del crecimiento y desarrollo de las plantas (Lozada y Sentelhes, 2008), considerando que cada especie requiere una temperatura óptima, mínima y máxima para su sobrevivencia y su desarrollo normal, si esta no cuenta con sus límites demandados el crecimiento se

ve afectado (Chaves y Gutiérrez, 2017; Gu *et al.*, 2020). La temperatura influye en el crecimiento de las plantas, a temperaturas muy altas y bajas se reprime el crecimiento (Sabehat *et al.*, 1998; Chaves y Gutiérrez, 2017). La precipitación incrementa la disponibilidad de humedad en el ambiente (Martínez *et al.*, 2013), determinando el crecimiento de las formaciones arbóreas (Duval *et al.*, 2015). El bosque La Palma presenta una temperatura entre 12,8 °C y 26,5 °C, con precipitaciones de 613 a 908,7 mm año⁻¹, características que permiten el crecimiento y desarrollo de la especie de *C. pubescens*.

La pendiente presentó una correlación muy baja (0,02) con la altura de la *C. pubescens* infiriendo que la pendiente no ejerce influencia directa en la especie. La posición de la pendiente influye en el crecimiento de los árboles al afectar patrones de iluminación solar (Nüchel, 2019; Mašek *et al.*, 2021), distribución de agua y precipitación (Duan *et al.*, 2022).

El pH presentó una correlación muy baja y negativa (-0,14) respecto a la altura del árbol, infiriendo que este parámetro no ejerce influencia significativa en la *C. pubescens*. La importancia del pH en el suelo radica en el efecto que ejerce sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de este, mediante el intercambio iónico, el pH regula la disponibilidad de macro y micro nutrientes determinando la riqueza de especies (Arocha *et al.*, 2019); la mayoría de nutrientes se encuentran disponibles en pH de 6,5 a 7,5 (Vázquez *et al.*, 2002). Sin embargo, los datos obtenidos de los parámetros edáficos y topográficos evaluados en las parcelas instaladas no presentaron diferencias considerables, probablemente porque el área de estudio tiene una extensión pequeña.

Análisis de Componentes Principales (ACP) entre las variables edafoclimáticas y topográficas y la altura de árbol del *C. pubescens*

El ACP permite comparar los individuos entre sí, con el fin de observar patrones y, de esta manera, inferir relaciones entre las variables evaluadas, siempre considerando que, a mayor correspondencia entre las variables, mayor es la capacidad de síntesis del ACP y unos pocos ejes factoriales podrán explicar las variables e individuos evaluados (Pardo, 2020). La distribución de variables sobre los Componentes Principales 1 y 2 (CP1 y CP2), explicó el 82,0 % de la variabilidad de los datos obtenidos (Fig. 3); el CP1 con una varianza de 51,3 %, indica que SC, pH y $Al^{+3} + H^+$ refieren una relación en la P2. Mientras que el CP2 refleja el 30,7 % de la variabilidad restante de las variables estudiadas, por su parte, en la P1 se evidencia una estrecha relación entre K, N y DisA. Sin embargo, las variables SaB, Mg^{+2} , Na^+ , MO, SB, L y Ca^{+2} muestran una mayor fuerza de asociación (por el menor ángulo que existe entre sus vectores), a nivel de todas las variables del sitio. Las características edáficas presentaron mayor grado de contribución con respecto a las variables climáticas, indicando que en su conjunto influyen en mayor grado en el desarrollo de la especie. Si se considera que, la influencia de los factores abióticos en la calidad de sitio depende de la escala espacial, por lo general a escala local las variables explicativas son las

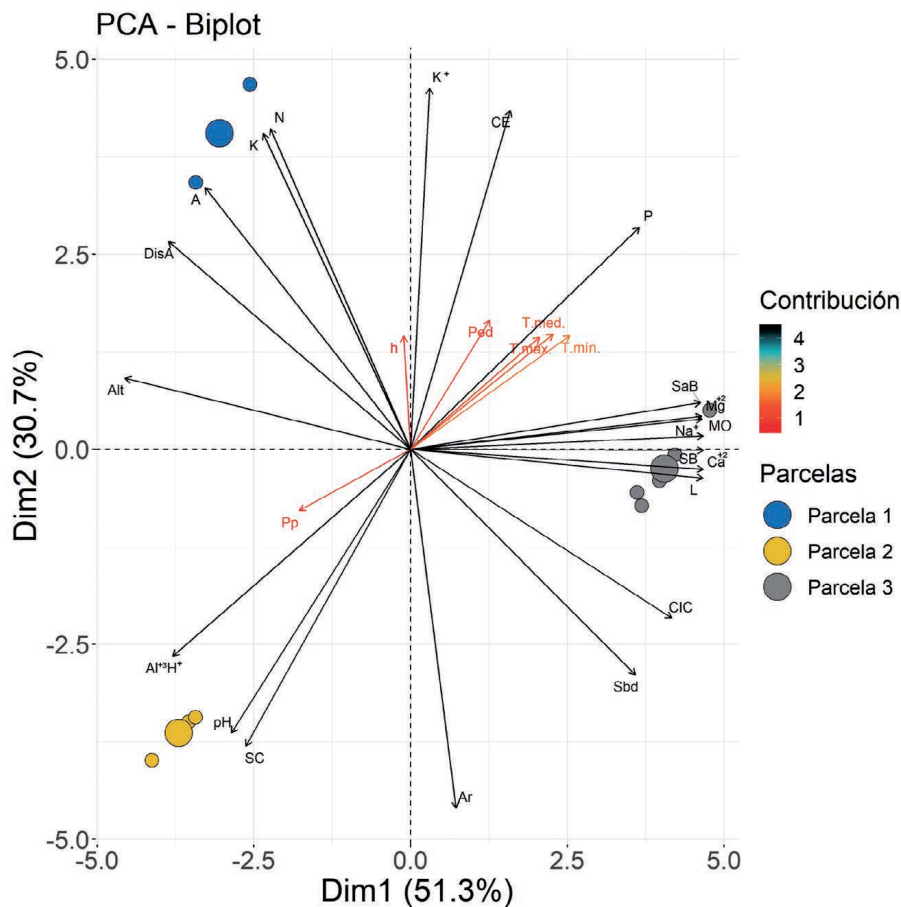


Fig. 3. Biplot de variables edafoclimáticas, topográficas y la altura de árbol del *C. pubescens*, en el bosque montano La Palma.

Fig. 3. Biplot of edaphoclimatic and topographic variables and tree height of *C. pubescens* in La Palma montane forest.

edáficas (McKenney y Pedlar, 2003). No se han registrado estudios de calidad de sitio de la especie *C. pubescens* a la fecha; sin embargo, Villar *et al.* (2018) refieren que, para *Cinchona officinalis* L. existe una sola calidad de sitio, por lo que no se obtuvo correlaciones fuertes entre la variable dependientes y variables independientes; sin embargo, se observó que el Al y MO presentaron una asociación media de 0,42 y 0,39 respectivamente, infiriendo que, a más presencia de estos, la altura dominante de la especie fue mayor. Reportes de Senilliani *et al.* (2020) indican que las propiedades edáficas (CE, Ca²⁺, Mg²⁺ y Na⁺) influyeron en mayor cantidad en el crecimiento de plantaciones de *Neltuma alba* (Griseb.) C.E. Hughes & G.P. Lewis; mientras que el pH influye en menor proporción; y González *et al.* (2015) señalan que el crecimiento de las plantas de *Jatropha curcas* L. var. *rufus* McVaugh, depende de la fertilidad del suelo. Del mismo modo, Mora *et al.* (2015) encontraron que el crecimiento de *Vochysia guatemalensis* Standl, está influenciado por los suelos con pH bajos, bajas concentraciones de Ca²⁺ y concentraciones medias de Mg²⁺.

Caracterización de la calidad de sitio de *C. pubescens*, en el bosque montano La Palma

El bosque de La Palma donde crece *C. pubescens*, presenta una temperatura entre 12,8 y 26,5 °C, con precipitaciones de 613 a 908,7 mm año⁻¹, con pendientes de 24 a 48 % y entre los 2 800 msnm a 2 846 msnm. Con respecto al suelo forestal, en el horizonte O, se evidenció una gran presencia de masa radicular, asimismo, en la P2 mostró una profundidad de 12 cm, seguida de P1 (10 cm), P3 (9 cm). Estos datos de profundidad son ligeramente mayores a los reportado por Villar *et al.* (2018) en suelos del bosque natural de Pagaibamba para *C. officinalis* L, quienes reportan profundidades de 0 a 10 cm. Con respecto al horizonte "A", P2 presentó una profundidad de 14,4 cm, seguida de P3 (11 cm) y P1 (6 cm). Estos resultados, evidencian la fragilidad de los suelos en los que crece la especie en el bosque La Palma. Las características obtenidas de la lectura de calicatas nos permitieron realizar la clasificación de parámetros edáficos según el D.S. N° 005-2022-MIDAGRI (MIDAGRI, 2022). Finalmente, se obtuvo la clasificación de uso mayor para cada parcela evaluada como se detalla en la Tabla 4.

Referente a la textura del suelo, son suelos franco arenosos (Fr. A) coincidiendo con Villar *et al.* (2018) para suelos de *C. officinalis* L, quienes refieren que crece en suelos con profundidad media, con textura media a pesada y suelos franco arenosos, por su parte *Tara spinosa* en bosque naturales también crece y desarrolla en suelos franco arenosos (Villena *et al.*, 2022). Las tres parcelas presentaron un pH fuertemente ácido (3,58 – 3,62), característica adecuada para la especie tal como lo reportan Villar *et al.* (2018). Del mismo modo, Mollinedo *et al.* (2005), encontraron que la relación suelo-árbol y factores de sitio para *Tectona grandis* L.f, en los primeros 20 cm de profundidad, en pH = 5,5 el IMA es menor que a un pH >5,5. Sin embargo, se pudo comprobar que no existe una correlación significativa entre *h* y el pH del suelo, debido a que *Cinchona* está bien adaptada a suelos ácidos naturales tal como

Tabla 4. Clasificación de parámetros edáficos y clasificación de uso mayor (CUM) del suelo según D.S. N° 005-2022-MIDAGRI, Perú.

Table 4. Classification of soil parameters and classification of major land use (CUM) according to D.S. N° 005-2022-MIDAGRI, Peru.

Características	P1	P2	P3
Pendiente	48 %	38 %	48 %
Microrelieve	Ondulado suave	Ondulado	Ondulado
Profundidad	Moderadamente profundos	Moderadamente profundos	Superficial
Textura	Moderadamente gruesa	Moderadamente gruesa	Moderadamente gruesa
Pedregosidad	Ligeramente pedregoso	Ligeramente pedregoso	Ligeramente pedregoso
Drenaje	Moderado	Moderado	Moderado
pH	Extremadamente ácido	Extremadamente ácido	Extremadamente ácido
Erosión	Ligera	Muy ligera	Ligera
Salinidad	Libre de sales	Libre de sales	Libre de sales
Inundación	Sin riesgo	Sin riesgo	Sin riesgo
Clasificación de Uso Mayor de las parcelas evaluadas			
CUM	F2sec	F2sc	F2sc

F2: Calidad agrológica media, s: limitación por suelo, e: limitación por topografía – riesgo de erosión, c: limitación por clima.

ocurre con otras especies que se adaptan a este tipo de suelos, como por ejemplo *Pinus taeda* L. (Subedi y Fox, 2016). Todas las parcelas presentan un alto contenido de MO, siendo P3 la de mayor contenido 19,31 %, seguida de P1 y P2 con 7,24 % y 5,17 % respectivamente, resultados similares a los reportados por Villar *et al.* (2018) quienes mencionan que *C. officinalis* L., requiere suelos con alta a media cantidad de MO, esta característica juega un papel primordial en la fertilidad de los suelos, como fuente de energía para microorganismos y fuente de nutrientes de las plantas, siendo su mayor contribución de la CIC (Sales Dávila, 2006; Cabrales *et al.*, 2011, Ríos *et al.*, 2016). Se registraron niveles medios a altos de P, para la P3 (24 ppm), P1 (21,4 ppm) y P2 (13,1 ppm); superiores a los registrados por Villar *et al.* (2018) quienes anotan un máximo de 12,40 ppm y un mínimo de 1,90 ppm, permitiendo inferir que algunas especies del género *Cinchona* se adapta en altos y bajos niveles de P, el cual es esencial para el crecimiento de las plantas (Gueçaimburu *et al.*, 2019), debido a que juega un papel fundamental en el transporte del floema, siendo absorbido por las células, se ve inmediatamente involucrado en procesos metabólicos, translocándose en dirección hacia arriba o hacia debajo de la planta (Mengel y Kirkby, 2000).

El K presente se registra en concentraciones medias, siendo en la P1 (138 ppm), seguido de P2 y P3 (111 ppm), valores que se encuentran en el rango reportado por Villar *et al.* (2018); quienes encontraron concentraciones de 105 a 210 ppm. Estos reportes indican que las especies de *Cinchona* en bosques montanos prosperan en suelos con contenidos medios de aproximadamente 150 ppm de K, como indica Daniel *et al.* (1982) para especies forestales. Este elemento es vital no solo en relación a su presencia en los tejidos de las plantas, sino que también, a sus funciones fisiológicas y bioquímicas; se ha evidenciado que K se transporta principalmente a los tejidos meristemáticos, y usualmente de los órganos de las plantas adultas es redistribuido a los tejidos más jóvenes (Mengel y Kirkby, 2000; Mattos *et al.*, 2020). Por ejemplo, se registra que la velocidad de traspaso de C en el tronco es dos veces mayor en árboles fertilizados con K (Epron *et al.*, 2015). Asimismo, K presenta un impacto significativo en el crecimiento de los árboles (Fromm, 2010). En individuos de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden (W. Hill ex Maiden), K incrementó la síntesis primaria neta aérea en un 100 % mejorando el índice de área foliar (Laclau *et al.*, 2009). En *Pinus radiata* D. Don, se evidenció una duplicación en la respuesta del crecimiento del tallo (Smethurst *et al.*, 2007).

Los suelos arcillosos presentan una CIC elevada y alta retención de agua que los suelos no arcillosos (Mengel y Kirkby, 2000). Se reportan valores entre 2 meq/100 g para suelos arenosos a 57,5 meq/100 g en suelos arcillosos (Weil y Brady, 2016). Para este estudio se observó un CIC de mayor concentración en P3 (24,32 meq/100 g), P2 (21,76 meq/100 g) y finalmente la P1 que presenta menor CIC (19,68 meq/100 g), siendo de 10 meq/100 g hasta 20 meq/100 g comunes (Mengel y Kirkby, 2000). Con relación a la suma de cationes cambiabiles (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+} , Na^{+} , $\text{Al}^{+3} + \text{H}^{+}$) la P2 presenta mayor cantidad (13,61 meq/100 g), seguido por P3 (11,52 meq/100 g) y P1 (11,38 meq/100 g). El contenido de N en áreas con clima tropical puede variar entre 0,02 y 0,4 % y en suelos ricos en materia orgánica puede llegar hasta 2 % (Robinson, 1994). Se ha reportado dos formas de transporte del N en especies forestales, arginina (ARG) como principal compuesto de transporte de N en especies de bosques de

sabanas y bosques monzónicos caducifolios y como amido-N en especies de bosques monzónicos perennifolios (Schmidt y Stewart, 1998). Considerándose, en este sentido como el elemento más importante debido a que las especies lo requieren en grandes cantidades; la misma que varía en el suelo en función al clima, localidad y tipo de suelos (Daniel *et al.*, 1982). En el área estudio se encontraron contenidos de N en la P3 y P1 (0,79 y 0,68 %) respectivamente y los niveles más bajos se observa en la P2 (0,60 %), concentraciones altas que aseguran el desarrollo de la especie.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

CONCLUSIONES

El bosque montano La Palma, presenta una sola clase de sitio (I) óptimo para el crecimiento y desarrollo de *C. pubescens*. Se evidencia que en el área de estudio las variables edáficas tienen mayor influencia que las variables climáticas sobre el crecimiento de la especie, que requiere de suelos superficiales a moderadamente profundos, con textura Fr. A, fuertemente ácido, con alto contenido de MO, contenido medio a alto de P, medio de K y contenido medio de N, con pendiente entre 38 % a 48 %, micro relieve de ondulado suave a ondulado, erosión muy ligera a ligera; las parcela 1 presentó calidad agronómica media con limitación por suelo, topografía riesgo de erosión y limitación por clima, la parcela 2 y 3 mostró calidad agronómica media con limitaciones en suelo y clima. En ese sentido, las iniciativas de prácticas silvícolas como enriquecimiento de áreas degradadas o macizos de *C. pubescens*, en el área de influencia del bosque montano La Palma, deberán considerar la realización de análisis de suelo que permitan verificar los requerimientos mínimos para la especie.

BIBLIOGRAFÍA

- Adeyemi, A. A. (2016). Site quality assessment and allometric models for tree species in the Oban Forest, Nigeria. *Journal of Sustainable Forestry* 35 (4): 280-298. <https://doi.org/10.1080/10549811.2016.1168306>
- Aguirre, A., Moreno, D., Alberdi, I., Hernández, L., Adame, P., Cañellas, I. y Montes, F. (2022). Mapping forest site quality at national level. *Forest Ecology and Management* 508 (120043). <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120043>
- Alvarado, A., Baldini Urrutia, A. y Guajardo Becchi, F. (2013). Árboles urbanos de Chile: Guía de reconocimiento (Edición, 2). Programa de arborización: Un chileno, un árbol. Corporación Nacional Forestal Gerencia Foresta.
- Arocha, M., Pérez Ortega, E., Fernández Suárez, K. y Haesaer, G. (2019). Efecto del medio de cultivo en el desarrollo de *Rhizoglyphus irregularis*. *Cultivos Tropicales* 40 (2): 1-12. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40073101>

- Aymard, G. (2019). Breve reseña de los aspectos taxonómicos y nomenclaturales actuales del género *Cinchona* (Rubiaceae- Cinchoneae). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 43: 234-241. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18257/raccefyn.1079>
- Bartlett, M. S. (1937). Properties of sufficiency and statistical tests. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A - Mathematical and Physical Sciences* 160 (901): 268-282. <https://doi.org/10.1098/rspa.1937.0109>
- Barros, N., Rodríguez, J. y Pérez, C. (2021). The effect of extreme temperatures on soil organic matter decomposition from Atlantic oak forest ecosystems. *Iscience* 24 (12): 103527. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.103527>
- Baselly, R. (2019). Estimación del volumen comercial de *Chichona officinalis* L. (Quina) en el bosque de protección de Pagaibamba, distrito de Querocoto, Chota. (Tesis Pregrado), Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.
- Becker, R., Chambers, J. M. y Wilks, A. R. (1988). The new S language: a programming environment for data analysis and graphics. Wadsworth & Brooks/Cole Advanced Books & Software, Pacific Grove, Calif. <https://doi.org/10.14350/rig.39936>
- Bontemps, J. D. y Bouriaud, O. (2014). Predictive approaches to forest site productivity: recent trends, challenges and future perspectives. *Forestry: An International Journal of Forest Research* 87 (1): 109-128. <https://doi.org/10.1093/FORESTRY/CPT034>
- Bravo, F., Lucà, M., Mercurio, R., Sidari, M. y Muscolo, A. (2011). Soil and forest productivity: A case study from Stone pine (*Pinus pinea* L.) stands in Calabria (southern Italy). *IForest* 4: 25-30. <https://doi.org/10.3832/ifor0559-004>
- Cabral, E. M., Ferrer, J. y Hernández, R. M. (2011). Fraccionamiento químico de la materia orgánica en tres suelos de la colonia Tovar - Venezuela. *TEMAS AGRARIOS* 16 (2): 18-27.
- Campos, E., Pereira A., Aleksieienko, I., Carmo G., Gohari, G., Santaella, C., Fraceto, L. y Oliveira, H. (2023). Encapsulated plant growth regulators and associative microorganisms: Nature-based solutions to mitigate the effects of climate change on plants. *Plant Science* 331: 111688. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2023.111688>
- Chagas, J. y Garcia, H. (2017). *Mensuração florestal (5ª)*. Editora UFV.
- Chambers, J. M., Freeny, A. y Heiberger, R. M. (1992). Analysis of variance; designed experiments. Chapter 5 of *Statistical Models in S* eds J. M. Chambers and T. J. Hastie, Wadsworth & Brooks/Cole. <https://rdrr.io/r/stats/aov.html>
- Chaves, N. y Gutiérrez Soto, M. (2017). Respuestas al estrés por calor en los cultivos. I. Aspectos moleculares, bioquímicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana* 28 (1): 237-253. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.21903>
- Clavijo, J., Lora, R., Malavolla, E., Zapata, R., Espinosa, J. A., Amézquita, E., León, A., Guerrero, R., Muñoz, R., Burbano, H., Sánchez, L., Villar, H., Barrera, L. y García, A. (2001). *Fertilidad de suelos: Diagnóstico y control (2ª Ed.)*. Editorial Guadalupe LTDA. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá, Colombia. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/17049>

- Clutter, J. L., Fortson, J. C., Pienaar, L. V., Brister, G. H. y Bailey, R. L. (1983). Timber management: a quantitative approach. John Wiley & Sons, Inc.
- Cóndor, E., De Oliveira, B. H., Loayza, K. y Reyna, V. (2019). Estudio químico de los tallos de *Cinchona pubescens* Vahl. *Revista de la Sociedad Química del Perú* 75: 19-24. <https://doi.org/10.33017/revciperu2010.0003/>
- Cruzado, L., Chávez Villavicencio, C. y Charcape Ravelo, M. (2019). Uso y selección de las partes aéreas del algarrobo *Prosopis pallida* (Fabaceae) por reptiles, aves y mamíferos en Sechura (Piura - Perú). *Revista Peruana de Biología* 26 (1): 81-86. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v26i1.1541715417>
- Daniel, T., Helms, J. A. y Baker, F. S. (1982). Principios de silvicultura (1 Ed. Esp.). McGraw-Hill de Mexico, S.A. de C.V.
- Duan, G., Lei, X., Zhang, X. y Liu, X. (2022). Site index modeling of Larch using a mixed-effects model across regional site types in Northern China. *Forests* 13 (5): 815. <https://doi.org/10.3390/f13050815>
- Duval, V., Benedetti, G. y Campo, A. (2015). Relación clima-vegetación: adaptaciones de la comunidad del jarillal al clima semiárido, Parque Nacional Lihué Calel, provincia de La Pampa, Argentina. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía* 88: 33-44. <https://doi.org/10.14350/rig.48033>
- Epron, D., Cabral, O. M. R., Laclau, J. P., Dannoura, M., Packer, A. P., Plain, C., Battie-Laclau, P., Moreira, M. Z., Trivelin, P. C. O., Bouillet, J. P., Grant, D. y Nouvellon, Y. (2015). In situ ¹³C pulse labelling of field-grown eucalypt trees revealed the effects of potassium nutrition and throughfall exclusion on phloem transport of photosynthetic carbon. *Tree Physiology* 36 (1): 6-21. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpv090>
- Farrelly, N., Fealy, R. M. y Radford, T. (2009). The use of site factors and site classification methods for the assessment of site quality and forest productivity in Ireland. *Irish Forestry* 64 (1-2): 21-38. <https://journal.societyofirishforesters.ie/index.php/forestry/article/view/10021/9111>
- Fromm, J. (2010). Wood formation of trees in relation to potassium and calcium nutrition. *Tree Physiology* 30 (9): 1140-1147. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpq024>
- Gadow, K., Sánchez Orois, S. y Álvarez González, J. G. (2007). Estructura y crecimiento del bosque (Vol. 12). IUFRO World Series 12. http://www.iww.forst.uni-goettingen.de/doc/kgadow/lit/kvgestructura_y_crecimiento_del_bosque.pdf
- García, Á., Velasco, V., Rodríguez, G. y Enríquez, J. (2017). Influencia de la calidad de sitio sobre el crecimiento de una plantación de *Pinus patula* Schltdl. et Cham. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 8 (44): 1-23. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v8n44/2007-1132-remcf-8-44-00132.pdf>
- García, L., Veneros, J., Chavez, S. G., Oliva, M. y Rojas-Briceño, N. B. (2022). World historical mapping and potential distribution of *Cinchona* spp. in Peru as a contribution for its restoration and conservation. *Journal for Nature Conservation* 70: 126290. <https://doi.org/10.1016/J.JNC.2022.126290>
- González, J. G. Á., Anta, M. B., Aranda, U. D. y Rojo, A. (2004). Metodología para la construcción de curvas de calidad de estación. *Cuaderno de La Sociedad Española de Ciencias Forestales* 309: 303-309.

- González, E., Barredo Medel, H. y Carrasco Rodríguez, Y. (2013). Evaluación de las clases de calidad de sitio de *Pinus caribaea* var. *caribaea* en la Empresa Forestal Integral Macurije (Pinar del Río, Cuba). *Ecosistemas* 22 (3): 46-51. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2013.22-3.07>
- González, M., Juárez, J., Aceves, L., Rivera, B. y Guerrero, A. (2015). Zonificación edafoclimática para el cultivo de *Jatropha curcas* L., en Tabasco, México. *Investigaciones Geográficas* 86: 25-37. <https://doi.org/10.14350/rig.39936>
- GORECAJ. (2022). Mapoteca Virtual: Shapes ZEE-OT Cajamarca-Base: Hidrografía. Gobierno Regional de Cajamarca. <https://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/node/588>
- Gu, Y., Han, S., Zhang, J., Chen, Z., Wang, W., Feng, Jiang, Y. y Geng, S. (2020). Temperature-dominated driving mechanisms of the plant diversity in temperate forests, northeast China. *Forests* 11 (2): 227. <https://doi.org/10.3390/f11020227>
- Gueçaimburu, J., Vázquez, J., Tancredi, F., Reposo, G., Rojo, V., Martínez, M. y Introcaso, R. (2019). Evolución del fósforo disponible a distintos niveles de compactación por tráfico agrícola en un argiudos típico. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences* 35 (1): 81-89.
- Guerra, J., Arellano, S., González, E., Pascual, A., Sandoval, V., Ruiz, A. D. y Álvarez, J. G. (2021). Developing a site index model for *P. Pinaster* stands in NW Spain by combining bi-temporal ALS data and environmental data. *Forest Ecology and Management* 481. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118690>
- Hargreaves, A. L., Germain, R. M., Bontrager, M., Persi, J. y Angert, A. L. (2020). Local adaptation to biotic interactions: a meta-analysis across latitudes. *The American Naturalist* 195 (3): 395-411. <https://doi.org/doi:10.1086/707323>
- Henderson, A., Churchill, S. y Luteyn, J. L. (1991). Neotropical plant diversity. *Nature* 351: 21-22. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/351021e0>
- Herrera, B. y Alvarado, A. (1998). Calidad de sitio y factores ambientales en bosques de Centro América. *Agronomía Costarricense* 22 (1): 99-117.
- Hollander, M. y Wolfe, D. A. (1973). Nonparametric statistical methods. *New York: John Wiley & Sons*. 115-120. https://docs.tibco.com/pub/enterprise-runtime-for-R/4.0.1/doc/html/Language_Reference/stats/kruskal.test.html
- Huamán, L., Albán, J. y Chilquillo, E. (2019). Aspectos taxonómicos y avances en el conocimiento del estado actual del árbol de la quina (*Cinchona officinalis* L.) en el norte de Perú. *Ecología Aplicada* 18 (2): 145. <https://doi.org/10.21704/rea.v18i2.1333>
- IUCN. (2022). The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2022-1. <https://www.iucnredlist.org>
- Kassambara, A. (2019). Practical guide to principal component methods in R: Multivariate analysis. In *Journal online Internacional & Nacional* (Vol. 53, Issue 9). www.journal.uta45jakarta.ac.id
- Kiviste, A., Álvarez, A. y Rojo, A. (2002). Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (España). <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/21328>
- Laclau, J. P., Almeida, J. C. R., Goncalves, J. L. M., Saint-Andr, L., Ventura, M., Ranger, J., Moreira, R. M. y Nouvellon, Y. (2009). Influence of nitrogen and potassium fertilization on leaf lifespan and allocation of above-ground growth

- in *Eucalyptus* plantations. *Tree Physiology* 29 (1): 111-124. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpn010>
- Lê, S., Josse, L. y Husson, F. (2008). FactoMineR: A package for multivariate analysis. *Journal of Statistical Software* 25 (1): 1-18. <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>
- León, B., Pitman, N. y Roque, J. (2006). Introducción a las plantas endémicas del Perú. *Revista Peruana De Biología* 13 (2): 9s-22s. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rpb/v13n2/v13n02a004.pdf>
- Liu, X., Duan, G., Chhin, S., Lei, X., Wang, D. y Zhang, X. (2021). Evaluation of potential versus realized site productivity of *Larix principis-rupprechtii* plantations across northern China. *Forest Ecology and Management* 479 (118608): 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118608>
- Lozada, B. y Sentelhes, P. C. (2008). Modelos de estimación de las temperaturas promedio de la mínima, máxima y media diaria para la región andina de Venezuela. *Agronomía Tropical* 58 (2): 141-153. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2008000200005
- Martínez, M., Valdez Cepeda, R. D. y García, M. P. (2013). Influencia de variables físicas en la productividad de *Pinus arizonica* y *Pinus engelmannii* en el Sur de Chihuahua, México. *Madera Bosques* 19 (3): 35-49. <https://doi.org/10.21829/myb.2013.193326>
- Mašek, J., Tumajer, J., Rydval, M., Lange, J. y Treml, V. (2021). Age and size outperform topographic effects on growth-climate responses of trees in two Central European coniferous forest types. *Dendrochronologia* 68 (125845): 1-9. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dendro.2021.125845>
- Mattos, D., Kadyampakeni, D. M., Oliver, A. Q., Boaretto, R. M., Morgan, K. T. y Quaggio, J. A. (2020). Soil and nutrition interactions. In *The Genus Citrus*. (311-331). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812163-4.00015-2>
- McKenney, D. W. y Pedlar, J. H. (2003). Spatial models of site index based on climate and soil properties for two boreal tree species in Ontario, Canada. *Forest Ecology and Management* 175 (1-3): 497-507. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00186-X](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00186-X)
- Mendoza, R. y Espinoza, A. (2017). Guía técnica para muestreo de suelos. Universidad Nacional Agraria (UNA), y el programa de Agricultura, Suelo y Agua (ASA), financiado por la Fundación Haward Buffett (HGBF) y ejecutado por el Catholic Relief Services (CRS) Managua, Nicaragua. <https://core.ac.uk/download/pdf/151729876.pdf> <http://repositorio.una.edu.ni/3613/1/P33M539.pdf>
- Menéndez, M., Álvarez, P., Majada, J. y Canga, E. (2015). Effects of soil nutrients and environmental factors on site productivity in *Castanea sativa* Mill. coppice stands in NW Spain. *New Forests* 46 (2): 217-233. <https://doi.org/10.1007/s11056-014-9456-2>
- Mengel, K. y Kirkby, E. (2000). *Principios de nutrición vegetal* (4 Ed. (1 E)). Instituto Internacional de la Potasa, Basilea, Suiza.
- MIDAGRI. (2022). Decreto supremo que aprueba el reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor: Decreto supremo N° 005-2022-MIDAGRI. In *Diario oficial*.

- Molina, J. A., Diéguez, U., Álvarez, J. G., Castedo, F. y Pérez, C. (2019). Assessing site form as an indicator of site quality in even-aged *Pinus radiata* D. Don stands in north-western Spain. *Annals of Forest Science* 76 (133): 1-10. <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0904-1>
- Mollinedo, M., Ugalde, L., Alvarado, A., Verjans, J. M. y Rudy, L. C. (2005). Relación suelo-árbol y factores de sitio, en plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis*). *Agronomía Costarricense* 29 (1): 67-75. <https://www.redalyc.org/pdf/436/43629107.pdf>
- Montero, M. (1999). Factores de sitio que influyen en el crecimiento de *Tectona grandis* L. F. y *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand, en Costa Rica. (Tesis Magister), Universidad Austral de Chile. Valdivia. Chile.
- Mora, F., Muñoz, R., Meza, V. y Fonseca, W. (2015). Factores edáficos que influyen en el crecimiento de *Vochysia guatemalensis* en la región Huetar Norte de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 39 (1): 71-89. <https://doi.org/10.15517/rac.v39i1.19547>
- Murphy, P. C., Knowles, J. F., Moore, D. J. P., Anchukaitis, K., Potts, D. L., y Barron-Gafford, G. A. (2020). Topography influences species-specific patterns of seasonal primary productivity in a semiarid montane forest. *Tree Physiology* 40 (10): 1343-1354. <https://doi.org/10.1093/TREEPHYS/TPAA083>
- NASA. (2021). POWER: Data Access Viewer. Administración Nacional de Aeronáutica. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- Nüchel, J., Klith, P. y Svenning, J. (2019). Topographic slope steepness and anthropogenic pressure interact to shape the distribution of tree cover in China. *Applied Geography* 103: 40-55. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.12.008>
- Pardo, C. E. (2020). Estadística descriptiva multivariada. In Universidad Nacional de Colombia (Ed.). Colombia. <https://doi.org/10.36385/fcbog-5-0>
- Pino, D. y Taylor, C. (2006). Rubiaceae endémicas del Perú. *Revista Peruana de Biología* 13 (2): 586-599. <https://doi.org/10.15381/rpb.v13i2.1874>
- Prodan, M., Peters, R., Cox, F. y Real, P. (1997). *Mensura forestal*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) I Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. Serie investigación y Educación en Desarrollo Sostenible, San José. Costa Rica.
- Rasal, M., Troncos Castro, J., Lizano Durán, C., Parihuamán Granda, O., Quevedo Calle, D., Rojas Idrogo, C. y Delgado Paredes, G. E. (2012). Terrestrial vegetation of the montane forest of Lanchurán (Piura, Peru). *Caldasia* 34 (1): 1-24.
- Ríos, M., Ruíz Dager, M., Carrero, J. y Tovar, M. (2016). Fraccionamiento químico de la materia orgánica en suelos de bosque y sabana. *Multiciencias* 16 (1): 14-21.
- Robinson, D. (1994). The responses of plants to non-uniform supplies of nutrients. *New Phytologist* 127 (4): 635-674. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1994.tb02969.x>
- Royston, J. P. (1982). An extension of Shapiro and Wilk's w test for normality to large samples. *Applied Statistics* 31 (2): 115. <https://doi.org/10.2307/2347973>
- Sabehat, A., Lurie, S. y Weiss, D. (1998). Expression of small heat-shock proteins at low temperatures: A possible role in protecting against chilling injuries. *Plant Physiology* 117 (2): 651-658. <https://doi.org/10.1104/pp.117.2.651>

- Sales, B. (2006). Caracterización de la materia orgánica de suelos representativos de ecosistemas amazónicos del Perú, departamento de Ucayali, e influencia de sus uso y manejo en el secuestro de carbono. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNS-CSIC). Estación Experimental Agraria Pucallpa, Instituto Nacional de Innovación Agraria (EEAP-INIA) Perú. Departamento de Química Orgánica, Universidad de Sevilla, España.
- Schmidt, S. y Stewart, G. R. (1998). Transport, storage and mobilization of nitrogen by trees and shrubs in the wet/dry tropics of northern Australia. *Tree Physiology* 18 (6): 403-410. <https://doi.org/10.1093/treephys/18.6.403>
- Senilliani, M. G., Bruno, C. y Brassiolo, M. (2020). Edaphics factors and their impact on the dominant height of prosopis alba plantations. *Madera y Bosques* 26 (3): 1-13. <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2632054>
- Sharma, M. (2021). Trees, forests and people climate effects on jack pine and black spruce productivity in natural origin mixed stands and site index conversion equations. *Trees, Forests and People* 5 (100089): 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2021.100089>
- Smethurst, P., Knowles, A., Churchill, K., Wilkinson, A. y Lyons, A. (2007). Soil and foliar chemistry associated with potassium deficiency in *Pinus radiata*. *Canadian Journal of Forest Research* 37 (6): 1093-1105. <https://doi.org/10.1139/X06-307>
- Soares, C. P. B., Paula Neto, F. de y Souza, A. L. de. (2011). Dendrometria e Inventário florestal. In *Viçosa*: Editora UFV (2a Ed.). Editora UFV.
- Soto, S. (2019). Influencia de la calidad de sitio en la producción maderable del *Pinus radiata* D. Don, en el parque forestal Cumbe Mayo, Cajamarca (Tesis Magister), Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca. Perú.
- Sotomayor, L. N., Cracknell, M. J. y Musk, R. (2023). Supervised machine learning for predicting and interpreting dynamic drivers of plantation forest productivity in northern Tasmania, Australia. *Computers and Electronics in Agriculture* 209 (107804): 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107804>
- Suárez, J. (2020). Evaluación morfológica y del estado de conservación de seis especies del género *Cinchona* L. (Rubiaceae) en los Andes del norte y centro de Perú. (Tesis Magister), Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima. Perú.
- Subedi, S. y Fox, T. (2016). Predicting loblolly pine site index from soil properties using partial least-squares regression. *Forest Science* 62 (4): 449-456. <https://doi.org/10.5849/FORSCI.15-127>
- Team, R. C. (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.r-project.org/>
- Ulloa, C., Acevedo-Rodríguez, P., Beck, S., Belgrano, M. J., Bernal, R., Berry, P. E., Brako, L., Celis, M., Davidse, G., Forzza, R. C., Robbert Gradstein, S., Hokche, O., León, B., León-Yáñez, S., Magill, R. E., Neill, D. A., Nee, M., Raven, P. H., Stimmel, H., Strong, M., Villaseñor, J., Zarucchi, J., Zuloaga, F. y Jørgensen, P. M. (2017). An integrated assessment of the vascular plant species of the Americas. *Science* 358 (6370): 1614-1617. <https://doi.org/10.1126/science.aao0398>
- Vázquez, A., Santiago Martínez, G. y Estrada Torres, A. (2002). Influencia del pH en el crecimiento de quince cepas de hongos ectomicorrizógenos. *Anales Del Instituto de Biología* 73 (1): 1-15. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40073101>

- Villar, M., Marcelo, F. y Baselly Villanueva, J. (2018). Estudio silvicultural de la quina (1a. Ed.). Programa Nacional de Estudios e Investigación para el Desarrollo Forestal y Cambio Climático. Instituto Nacional de Innovación Agraria. Ministerio de Agricultura y Riego, Lima. Perú.
- Villena, J. J., Muñoz Chávarry, P., Seminario, J. F. y Martínez Sovero, G. (2022). Caracteres morfométricos como indicadores de calidad de sitio de *Tara spinosa* (Leguminosae, Caesalpinioideae) en Cajamarca, Perú. *Lilloa* 59 (1): 33-50. <https://doi.org/https://doi.org/10.30550/j.lil/2022.59.1/2022.04.01x>
- Weil, R. y Brady, N. (2016). The nature and properties of soils (15th Ed.). Columbus: Pearson.
- Weiskittel, A. R., Hann, D. W., Kershaw, J. A. y Vanclay, J. K. (2011). Forest growth and yield modeling. John Wiley and Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119998518>
- West, P. W. (2015). Tree and forest measurement. In *Scientific Reports* (3rd. Ed.). Springer International Publishing Suiza. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-14708-6>
- Zhu, G., Hu, S., Chhin, S., Zhang, X. y He, P. (2019). Forest ecology and management modelling site index of Chinese fir plantations using a random effects model across regional site types in Hunan province, China. *Forest Ecology and Management* 446: 143-150. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.039>