

Caracterización de *Alnus acuminata* (Kunth) en un arreglo silvopastoril, en la región altoandina colombiana

Characterization of *Alnus acuminata* (Kunth) in a silvopastoral arrangement in the high Andean region of Colombia

Bayron Giovanni Obando-Enriquez^{1*}; Edwin Castro-Rincon², Sandra Liliana Castañeda-Garzón³

Resumen

En las cuencas lecheras andinas, los arreglos silvopastoriles son empleados en la explotación ganadera. *Alnus acuminata* (Kunth) por sus beneficios, es una de las especies forestales usadas en estos modelos productivos. Con el objetivo de aportar conocimiento sobre la especie, en el Centro de Investigación Obonuco de AGROSAVIA, ubicado en el municipio de Pasto (Nariño, Colombia), se evaluaron 26 individuos de *A. acuminata* de 22 años, establecidos en un diseño de árboles dispersos. En el estudio se incluyeron siete variables dasométricas, 14 descriptores morfológicos, opacidad de dosel e intensidad lumínica en dos ambientes (libre exposición solar y bajo copa). En los individuos de *A. acuminata* se registraron valores promedio en altura total de 11,74 m y en DAP de 19,17 cm, con copas de dimensiones en altura de 2,3 m, tamaño de 9,50 m, diámetro de 7,61 m y área de 46,69 m². Referente a la arquitectura, exhibieron forma predominantemente semicircular (65,38%), crecimiento erecto (65,38%), fuste cilíndrico (96,15%), con algunas curvaturas (57,69%), ramificación erecta (84,62%), sin ramificaciones y poca bifurcación (96,15%). El índice de área foliar en el periodo de seis meses osciló de 0,72 a 4,09, con opacidad entre 58,56% y 85,95%. A libre exposición solar se presentó una intensidad lumínica entre 23850 y 40750 grados lux, mientras que bajo sombra se registró una variación entre 12525 y 22250 grados lux. Generar información sobre el desarrollo y las características de *A. acuminata*, , aportarán bases para el desarrollo de agroforestería pecuaria con mayor productividad y rigor científico.

Palabras clave: Agroforestería, árboles multipropósito, dendrometría, índice de área foliar, morfología vegetal, sombra.

Abstract

Silvopastoral systems are used in livestock in Andean milk basins. *Alnus acuminata* (Kunth) is one of the forestry species employed for their benefits in this kind of productive models. With the objective of providing knowledge about the specie, in the AGROSAVIA Obonuco's Research Center located in the municipality of Pasto (Nariño, Colombia) 26 individuals of *A. acuminata* aged 22 years established in scattered trees were evaluated. Seven dasometric variables, 14 morphological descriptors, opacity and light intensity in two environments (direct sunlight and under canopy) were included in the study. In the individuals of *A. acuminata* average values were recorded in total height of 11.74 m and in DBH of 19.17 cm, with crown dimensions in height of 2.3 m, size of 9.5 m, diameter of 7.61 m and area of 49.69 m². Regarding to architecture, they exhibited predominant semicircular shape (65.38%), cylindrical stem (96.15%) with some curvatures (57.69%), erect branching (84.62%), without branching and few bifurcations (96.15%). The leaf area index in the six-month period ranges from 0.72 to 4.09 with opacity between 58.56% and 85.95%. At direct sunlight the light intensity was between 23850 and 40750 lux. To generate information about the development and the characteristics of *A. acuminata*, will provide bases to agroforestry and livestock development with greater productivity and scientific rigor.

Keywords: Agroforestry, *Alnus acuminata*, multipurpose trees, dendrometry, leaf area index, plant morphology, shade.

Recibido: 10/01/2023

Aceptado: 05/08/2023

Publicado: 08/08/2023

Sección: Artículo original

*Autor correspondiente: bobando@agrosavia.co

Introducción

Resolver diferentes problemas ecológicos y sociales, producto de ganadería extensiva, deforestación y sobreexplotación de recursos naturales, se encuentran en el foco de la comunidad académico-científica del mundo (Altieri & Nicholls, 2020); investigadores del sector agropecuario, han identificado en agroforestería, una alternativa asequible (Burgess et al., 2022), para contribuir en el compromiso planteado en La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático COP26: Juntos por el Planeta (Naciones Unidas, 2022),

¹ Ingeniero Agroforestal Ms C. Profesional de apoyo a la investigación; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA, Centro de Investigación Obonuco, Pasto, Nariño, Colombia. bobando@agrosavia.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7669-442X>.

² Zootecnista Ms C, Ph D, Investigador PhD.; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, Centro de Investigación Obonuco, Pasto, Nariño, Colombia. ecastro@agrosavia.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9841-8242>

³ Ingeniera Forestal, Ms C. Investigador Máster Asociado. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de investigación La Libertad, Villavicencio, Meta, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1329-6317>

Como citar: Obando-Enriquez, B. G., Castro-Rincón, E., & Castañeda-Garzón, S. L. (2023). Caracterización de *Alnus acuminata* (Kunth) en un arreglo silvopastoril, en la región altoandina colombiana. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 25(3), 129–139. <https://doi.org/10.18271/ria.2023.505>



donde 137 países se comprometieron a detener y revertir la pérdida de bosques y degradación de tierras hasta el año 2030.

Sobre el particular, las interacciones silvopastoriles en ganadería, tienen efectos adaptativos y de mitigación en relación al cambio climático y degradación de recursos naturales (Palma-García et al., 2020), debido a que incorporar especies leñosas aumenta la tasa de captura de carbono al incrementar en dos o más estratos verticales la vegetación (Soriano-Robles et al., 2018), atenúa emisiones de metano a través del balance de raciones para alimentación bovina (Thomas et al., 2021), regula el régimen hídrico con incremento de coberturas forestales (Jullian et al., 2018), y disminuye la incorporación excesiva de fertilizantes nitrogenados por fijación de este elemento y aportes de biomasa (Cadena-Zamudio et al., 2022).

Del mismo modo, el componente forestal en sistemas silvopastoriles (SSP), cumple un papel dinámico en el agroecosistema, causado por interacciones positivas que se propician en la oferta ambiental y agropecuaria (Oliva et al., 2018), como microclima adecuado para desarrollo de pasturas (Muñoz et al., 2018), reducción del estrés calórico en animales (Viñoles et al., 2022), fijación de nitrógeno por asociaciones con hongos y actinomicetos (Silva et al., 2017), bombeo de soluciones nutritivas desde horizontes edáficos profundos (Romero Delgado et al., 2020), recuperación de suelos a través de incorporación de hojarasca y raíces (Heguy et al., 2022), islas fértiles por reciclaje de nutrientes, descomposición lenta de biológicos y mantenimiento de humedad (Cristina Moncayo-Riascos & Gálvez-Cerón, 2018), beneficios que mejoran productividad y rendimiento de la explotación ganadera (Arciniegas-Torres & Flórez-Delgado, 2018) y que permiten migrar hacia una ganadería sostenible, sinérgicamente paliativa y adaptativa, ante los efectos negativos del cambio climático (Solorio et al., 2017).

Las relaciones competitivas (antagónicas) y complementarias (sinérgicas) del componente forestal con compartimentos herbáceo y pecuario en agroforestería, y sus efectos sobre recursos naturales, están relacionadas con condiciones de suelo y clima (Soler & Chillo, 2018), con el desarrollo arbóreo y sus variables dasométricas altura total y diámetro de tronco; parámetros de copa como longitud y cobertura y su incidencia en disponibilidad de luz, humedad y generación de un microclima regulado, de la misma manera por interacciones del sistema radical y sus asociaciones con otros organismos (Bahamonde et al., 2018; Peri & Navall, 2022).

En ese orden de ideas, en agroforestería altoandina la especie forestal nativa *A. acuminata* (Kunth), tiene un gran potencial de implementación en sistemas de producción pecuaria, introducida comúnmente en cercas vivas, linderos, setos perimetrales y árboles dispersos en praderas (Muñoz et al., 2018). Para *A. acuminata* se reportan estudios recientes en aplicación de modelos matemáticos para estimación de crecimiento en SPP de Roncesvalles-Tolima (Vilma Amparo Holguín, Indira Isis García, 2018), en Ecuador: cuantificación de emisiones (B. Mendoza et al., 2019), optimización de raleo y aprovechamiento (Valle-Carrión et al., 2021), evaluación de tratamientos pregerminativos (Ramos-Montaña et al., 2020), efecto del SPP en el valor agronómico y nutricional de *Cenchrus clandestinum* en Perú (Tafur Sanchez, 2021), potencial de captura de carbono en Rwanda (Cyamweshi et al., 2021), efecto de SSP sobre factores ambientales en ganadería peruana (Saucedo et al., 2020), indicadores morfológicos de calidad de planta en vivero (Bernaola Paucar et al., 2022), efecto en propiedades bioquímicas del suelo en Rwanda (Mberwa et al., 2022) y determinación del coeficiente de cultivo en etapa de vivero (Tenecela-Buestan et al., 2022). No obstante, en dasometría, morfología, opacidad de dosel, e intensidad lumínica bajo dosel, los reportes son escasos y/o nulos.

En función de lo anterior, En el Centro de investigación (CI) Obonuco de AGROSAVIA, se desarrolló el proyecto «Mejoramiento de la oferta forrajera, optimización de sistemas de alimentación y aseguramiento de la calidad e inocuidad de leche en el Trópico Alto del departamento de Nariño», en el cual se recopiló información relacionada con *A. acuminata* en cuanto a desarrollo dasométrico, arquitectura de la planta, índice de área foliar, opacidad de dosel, e intensidad lumínica bajo copa, y en consecuencia, contribuir a explorar campos de investigación que promuevan un manejo eficiente de sistemas de producción agroforestal (Vargas et al., 2018).

Materiales y Métodos

Área de estudio

La evaluación se realizó entre septiembre de 2021 y marzo de 2022, en un SSP del CI Obonuco de AGROSAVIA, municipio de Pasto, Nariño, (Colombia). El CI se ubica en zona de vida bosque seco montano bajo (bs-MB) a 2760 msnm, en coordenadas 1° 11' 52" N - 77° 18' 13" W. sus suelos son volcánicos.

El registro climático, se efectuó con datos abiertos de la estación Agrometeorológica Obonuco

(IDEAM, 2022). Durante el estudio, se determinó una temperatura media de 13,2 °C. brillo solar entre 3,8 y 4,3 horas diarias. Se contabilizó 646,5 mm de lluvia en seis meses, el mes de mayor pluviosidad fue diciembre con 172 mm y el menor septiembre con 21,3 mm.

Especie vegetal

Se seleccionaron 26 individuos de *A. acuminata* de 22 años, establecidos como un arreglo de árboles dispersos, con una densidad de siembra de 200 individuos por ha⁻¹; distanciados de tres a cinco metros entre plantas y de cinco a siete metros para surcos. Los materiales evaluados hacen parte de las colecciones de trabajo de AGROSAVIA.

Variables evaluadas

Dasometría

En la especie forestal se evaluó altura total (HT) diámetro a la altura del pecho (DAP) y área basal (AB). En copa se determinó altura (HC), tamaño (TC) y diámetro (DC); a partir de la media de TC, se estimó área (AC) (Pérez et al., 2017).

Descriptores morfológicos de planta

Se evaluó la arquitectura de *A. acuminata* a través de descriptores morfológicos: forma del árbol, hábito de crecimiento, forma y rectitud del fuste, ramificación, altura de ramificación y de bifurcación, dominancia del eje principal, ángulo de inserción de ramas, forma de copa en su perfil horizontal y vertical, densidad de copa, tipo de corteza y hábito de fructificación (Castañeda-Garzón et al., 2021).

Índice de Área Foliar y Opacidad de dosel

En el punto medio del dosel y a 1,5 m del suelo, se tomaron fotografías hemisféricas orientadas hacia

la copa de *A. acuminata* (Garrido Velarde et al., 2017), con una periodicidad quincenal durante seis meses (septiembre 2021 - marzo 2022). Los registros obtenidos se analizaron con el software de uso libre GAP Analiyzer, con el cual se obtuvo porcentaje de opacidad e índice de área foliar (IAF); los resultados se promediaron para cada muestreo.

Intensidad lumínica

Se tomó entre septiembre 2021 y marzo 2022 cada 15 días, se evaluó a Libre exposición solar (LES) y en el punto medio bajo copa (BC) de *A. acuminata*, empleando un luxómetro ubicado a 1,5 m del suelo, con el cual se tomaron registros a las 10:00 y 15:00 horas. Con los resultados se obtuvo un promedio de grados lux del día de muestreo a y bajo copa (BC).

Análisis de información estadística

La información dasométrica se analizó con estadística descriptiva; para rasgos morfológicos forestales se realizó un análisis de correspondencias múltiples y componentes principales; para intensidad lumínica, se hizo una prueba T con poblaciones homogéneas de observaciones repetidas en el tiempo.

Resultados

Dasometría

En los árboles de *A. acuminata* del SSP, se registró promedio en HT de 11,74 ± 2,83 m y en DAP de 19,17 ± 4,43 cm; valores medios en HC de 2,30 ± 0,5 m, TC de 9,50 ± 2,98 m, DC de 7,61 m ± 1,39 m y AC de 46,69 ± 23,24 m². Se observó correlación muy alta y significativa entre las variables DAP y AB, HT y TC, DAP y AC, AB y AC, DC y AC (Tabla 1).

Tabla 1. Matriz de correlación de variables dasométricas evaluadas en 26 árboles de *A. acuminata* en un SSP en la región altoandina colombiana.

AB	HT	HC	TC	DC	AC	AB	HT
DAP	1,00	0,99*	0,67*	-0,32	0,67*	0,73*	0,90*
AB		1,00	0,66*	-0,30	0,67*	0,70*	0,90*
HT			1,00	-0,33	0,98*	0,42**	0,58*
HC				1,00	-0,47**	-0,07	-0,23
TC					1,00	0,39**	0,58**
DC						1,00	0,83*
AC							1,00

** significativo ($\alpha=0.05$), * significativo ($\alpha=0.01$)

Descriptorios morfológicos

Los árboles de *A. acuminata* del SSP del CI Obonuco, en su arquitectura, son principalmente

de forma semicircular, crecimiento erecto con fuste cilíndrico que registra algunas curvaturas, ramificación erecta, sin ramificaciones o bifurcaciones (Tabla 2).

Tabla 2. Categorías predominantes de descriptorios morfológicos evaluados en *A. acuminata* en un SSP en la región altoandina colombiana.

Descriptor	Categoría predominante
Forma del árbol	Semi-circular (65,38%)
Hábito de crecimiento del árbol	Erecto (65,38%)
Forma del fuste	Cilíndrico (96,15%)
Rectitud del fuste	Algunas curvaturas en más de un plano (57,69%)
Ramificación	Erecta (84,62%)
Altura de ramificación	No ramificado (100%)
Altura de bifurcación	No bifurcado (96,15%)
Dominancia del eje apical	Dominancia completa en el eje inicial (88,46%)
Ángulo de inserción de ramas	31°- 60° (61,64%)
Forma de la copa vertical	Ovoide invertida (73,08%)
Forma de la copa horizontal	Pocas ramas (38,46%)
Densidad de copa	Intermedia (76,92%)
Tipo de corteza	Exfoliada papelosa (76,92%)
Hábito de fructificación	Medio de la copa (61,64%)

Se presentó una misma tendencia del IAF respecto al porcentaje de porosidad obtenido en los árboles de *A. acuminata*. En los resultados de registros, se estableció un máximo IAF de 4,09 con opacidad de 85,95 %; el

menor IAF fue 0,72 con opacidad de 58,56 % (Figura 1). al aumentar densidad del dosel, se incrementó el IAF de la especie.

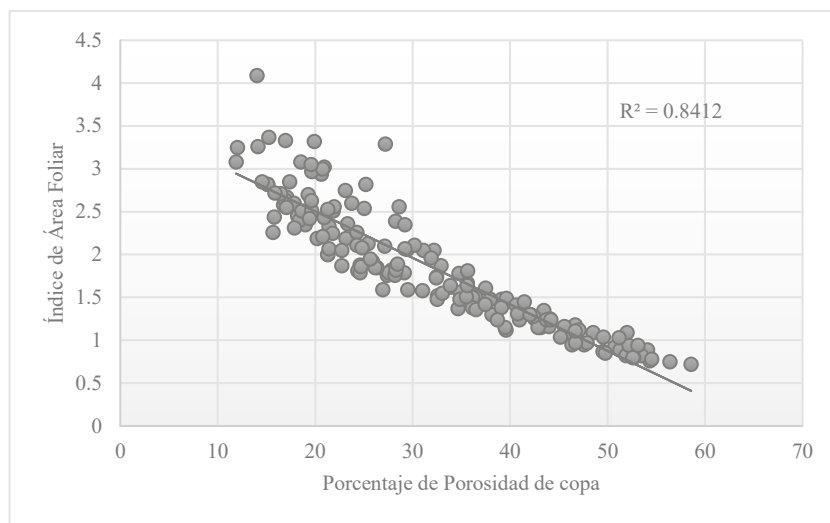


Figura 1. Índice de área foliar y porcentaje de porosidad del dosel de *A. acuminata* en SPP (Pasto, Nariño).

El registro medio de dosel en cada una de las evaluaciones estuvo por encima del 61 % para opacidad y 1,5 en IAF. En los dos primeros muestreos se registraron los menores valores de opacidad e IAF con 62,7 y 61,4 %, 1,51 y 1,59; los mayores registros se presentaron en muestreo once y doce con 74,25 y 73,17 % en opacidad y 2,38 y 2,10 de IAF.

Intensidad lumínica

A LES se presentó mayor luminosidad con respecto a BC (Figura 2); el valor diario promedio más alto registrado a LES fue 40750 grados lux, el menor 23850; BC se registró un valor medio diario máximo de 22250 y mínimo de 12525 grados lux.

Entre los dos tratamientos se registraron diferencias significativas ($P > 0,05$) por lo cual el dosel es un factor determinante para disponibilidad de luz bajo su incidencia. De la misma manera al comparar

los valores medios entre tratamientos se estableció una diferencia porcentual desde un 39 hasta un 65 % de mayor luminosidad cuando se tomó la información a cielo abierto.

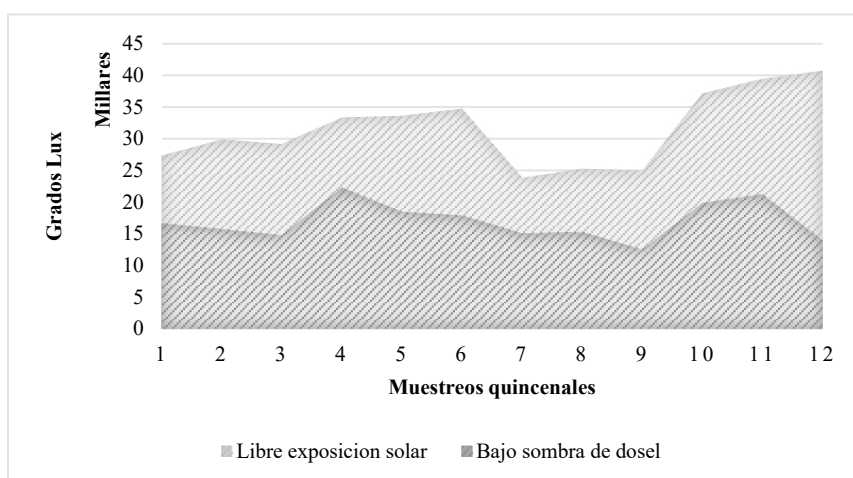


Figura 2. intensidad lumínica a libre exposición y bajo dosel de *A. acuminata* en un SSP en la región altoandina colombiana.

Discusión

Dasometría

Los resultados inferiores de variables dasométricas de esta investigación en contraste con otros trabajos, probablemente sean por el efecto negativo de altitud sobre el desarrollo de *A. acuminata*, debido a que el SSP se encuentra establecido a 2760 msnm, lo que puede incidir en HT y DAP. Acerca del gradiente altitudinal, Omahn *et al.* (2020) mencionan que es uno de los factores de mayor relevancia en el crecimiento vegetal, al considerar que influye en parámetros de temperatura, humedad edáfica y ambiente, que en plantas se expresan como reducción de incrementos medios anuales típicos de cada especie y disminución del vigor de la vegetación.

Escobar *et al.* (2019) mencionaron que en evaluación de componentes arbóreos en la región altoandina, se encontró que la altura influyó en datos dasométricos. Otros autores indican que tasas de crecimiento de plantaciones forestales posiblemente disminuyen debido a limitación de nutrientes por poca actividad microbiana, luz solar, transpiración reducida y fuertes vientos (Sandoya *et al.*, 2021), además de temperaturas frías en ambiente y suelo por estar en regiones de mayor altitud; Cyamweshi *et al.* (2021) obtuvieron resultados acordes a esta premisa en Rwanda, donde el progreso de *A. acuminata*, fue superior en bajas altitudes e inferior en cotas elevadas.

Los valores alcanzados en este trabajo fueron inferiores a los obtenidos en otros estudios; diferentes

autores reportan resultados superiores en variables dasométricas. En ese sentido, en investigaciones realizadas en otras zonas con *A. acuminata*; Ospina *et al.* (2005) indicaron que en Colombia a los cinco años, en departamentos de Huila, Risaralda y Tolima, presentó una HT de 13,67, 13,3 y 11,87 m y un DAP de 12,7, 13,4 y 12,37 cm en cada localidad. De igual forma, Aulestia *et al.*, (2018) escribieron que a los 11 años la especie en Ecuador registró una HT de 15,9 m y un DAP de 31 cm año⁻¹. Cyamweshi *et al.* (2021) en Rwanda en regiones de Kabumba, Mutovu y Rusiza en plantaciones con siete, cinco y 4,5 años, reportaron HT de 9,9, 7,6 y 8,3 m y DAP de 22,2, 18 y 18,5 cm en cada zona.

Finalmente, los árboles y su incidencia en productividad herbácea, está definida por parámetros de copa como altura de inicio, área y longitud, que pueden ser controladas mediante prácticas de mantenimiento, que inciden sobre el aumento o disminución de calidad de luz y porcentaje de sombra emitida (Y. Mendoza, 2018).

Descriptorios morfológicos de planta

Las características morfológicas observadas en los árboles de *A. acuminata* en SPP (Tabla 1), son similares a las reportadas por otros autores, que la describen como especie de gran porte (Paniagua-Zambrana *et al.*, 2020), con copa irregular y angosta, fuste cilíndrico a cónico dependiendo del tipo de arreglo en el que se encuentra establecido (Díaz, 2019).

Entre las características morfológicas y de calidad de planta, las variables altura, bifurcación y rectitud

del fuste, han sido evaluadas en etapa juvenil para *A. acuminata* en un SPP del CI Obonuco (L. D. Escobar et al., 2019), cuyos resultados revelaron individuos de calidad tipo dos, que hace referencia a plantas con algunos aspectos indeseables (daño mecánico, malezas, torceduras y enfermedades). No obstante, con fines maderables y calidad de madera (Escobar-Sandoval et al., 2018), se debe contemplar la evaluación de las variables: número, tamaño y ángulo de inserción de ramas, número de nudos, tasa de crecimiento, forma de fuste y anatomía de la madera, entre otras. En el SPP objeto de estudio, los 26 individuos presentaron HT promedio de 11,74 m, fustes de forma predominantemente cilíndrica, con algunas curvaturas en más de un plano y sin bifurcaciones, con ramas que se insertan en el fuste en un ángulo entre 31°-60° (Tabla 2). El porte estos árboles en función de su HT, HC y DAP lo ubican en el estrato medio, conforme lo reportado para la especie en SSP (L. Escobar et al., 2019).

A. acuminata es una de las especies empleadas en SPP en el trópico alto, con potencial de uso en restauración ecológica y en agroforestería (Calle Díaz & Murgueitio, 2020). En sistemas ganaderos, «los productores rechazan especies con copas densas y toleran árboles de copa amplia siempre y cuando éstos permitan entrada de luz suficiente y producción del pasto» (Calle Díaz & Murgueitio, 2020). Referente a la arquitectura, los 26 individuos presentaron en la copa forma semicircular, hábito erecto, ramificación erecta, forma ovoide invertida y pocas ramas (perfil vertical y horizontal), densidad intermedia, características que benefician el sistema de forma directa (sombra). La disposición del dosel y follaje de *A. acuminata*, le otorgan utilidad para su establecimiento en ganadería, al manejarlo a través de podas de formación, se optimiza las relaciones existentes en el arreglo y disminuye efectos negativos atribuibles al árbol.

En agroforestería, se recomienda que el componente forestal tenga características deseadas en su arquitectura y requerimientos nutritivos, entre las que destacan que el dosel permita el paso de luz, que sus hojas aporten biomasa al sistema, raíces profundas; su integración a producción agropecuaria debe ser planeada sin generar mayores interacciones negativas.

Índice de Área Foliar y Opacidad de dosel

Se presentó un comportamiento lineal entre IAF y porosidad, con un R^2 superior al 84 %; se puede observar que al aumentar IAF disminuye la luz que atraviesa hojas y ramas. El dosel está directamente relacionado con atenuación de luminosidad que llega al suelo de los

ecosistemas, de ahí que el IAF en SSP, es un parámetro para tener en cuenta en la productividad de pasturas.

El IAF del dosel al influir en la interceptación de radiación solar y precipitación efectiva, causa efectos directos e indirectos sobre la pastura. En forma directa modifica dos importantes recursos: iluminación y calor (Villarreyña et al., 2020); de manera indirecta produce alteración de humedad en la capa superior del suelo, la cual es valiosa en la pradera y para la descomposición de hojarasca y absorción de nutrientes (Sousa et al., 2022).

Los valores reportados para *A. acuminata* de IAF en el SSP, son inferiores a los informados en bosques de *Polylepis reticulata*, ubicados en páramos ecuatorianos a 3700 msnm, donde autores reportaron índices entre 2,05 y 6,17 (Pinos et al., 2017; Suquí et al., 2021); en plantaciones de pino sobre los 3600 m de altura se registraron IAF entre 0,23 y 5,5 (Jadán et al., 2019), por último en cultivos permanentes de *Eucalyptus tereticornis* y *Eucalyptus saligna*, evaluados con fotografía digital hemisférica a diferentes distancias de siembra, se demostró que la distancia de establecimiento influyó significativamente en el IAF (a menor espaciamiento, mayor IAF), con variaciones de 2,11 a 3,96 (Valverde, 2022).

Los resultados superiores encontrados en otras latitudes en bosques y plantaciones forestales, con el mismo método de fotografía hemisférica de dosel, posiblemente sean por la morfología de hojas, disposición del dosel y espesor de la plantación. En una evaluación con *Gmelina arborea* se determinó que el incremento de IAF se presentó por disminución del espaciamiento, debido a una mayor competencia por luz y nutrientes entre los individuos de la plantación (Tenorio et al., 2020); cuando hay una mayor densidad de siembra, el espacio se reduce, lo que ocasiona que los árboles tiendan a desarrollar copas compactas y a reducir el ángulo de inserción de ramas. Tustin et al. (2022) mencionan que es común en cultivos de alta densidad que el IAF aumente con distanciamientos menores como estrategia de sobrevivencia para aumentar captura de luz en el sitio.

En ese mismo sentido, en un estudio de Valverde (2022) titulado «Efecto del espaciamiento en la estimación indirecta del índice de área foliar en plantaciones dendroenergéticas de Eucalipto» los árboles con más espacio para desarrollarse presentaron un IAF menor, debido a que el área de desarrollo fotosintético tiene mayor amplitud, por lo que el individuo tenía una mayor interceptación de luz, lo que implica una menor eficiencia de uso de radiación; argumento que puede aplicarse en

agroforestería, donde la integración de cultivares de estratos bajos, disminuye la población de árboles por ha, con el objetivo de incrementar la productividad de los componentes vegetales del agroecosistema, por lo cual el IAF en especies forestales puede ser menor al estimado en bosques y plantaciones puras.

Los árboles de *A. acuminata* conservaron gran parte de las hojas de su copa, comportándose como un dosel estático, por presencia continua de su estructura vegetativa, es decir, no tuvo un cambio relevante en el tiempo, lo cual se refleja en opacidad promedio superior al 60 %, estos valores pueden ser considerados altos, cuando en agroforestería algunos autores proponen sombreados con alrededor del 50 % para mantener productividad en gramíneas y leguminosas (Rios et al., 2021).

La aparente inmovilidad del dosel, puede ser por el incremento en precipitación en el periodo de evaluación, al ser un parámetro climático comúnmente correlacionada con fenología de especies vegetales y cantidad de follaje Mejía (1990). Respecto al porcentaje de copa, otra variable forestal que afecta el paso de luz solar a través del dosel, *A. acuminata* registró un promedio superior al 80 % en relación con HT, este tipo de resultados se presentan en árboles cubiertos por una extensa copa, ubicados en sitios de baja ocupación; se considera un valor alto en comparación de otros estudios, donde se encontraron porcentajes menores; Arias (2005) reportó en *Pinus caribaea* y *Terminalia amazonia* porcentajes medios de dosel de 47 y 44 %, consideradas como especies con una proporción de copa alta.

La opacidad de dosel con su proyección de sombra, es la interacción biofísica más valiosa en agroforestería tropical (Andrade et al., 2014), por lo que el éxito de sistemas mixtos como SSP dependen del balance entre interacciones negativas y positivas especialmente, por competencia de luz, agua y nutrientes (Heguy et al., 2022).

Intensidad lumínica

La intensidad lumínica como parámetro no es estable, está condicionada por nubosidad, precipitación y hora del día, que inciden sobre la cantidad de grados lux que llegan a los sistemas productivos, ocasionado una heterogeneidad espacial y temporal en los registros (Mantilla & Ramírez, 2015); además, en agroforestería la presencia de estratos arbóreos afecta la disponibilidad de luz bajo su cubierta y área de influencia (Ramírez et al., 2020). En la fisiología vegetal, tanto el exceso, como el defecto de luminosidad inciden negativamente

en el crecimiento de plantas; los diferentes grados de intensidad lumínica, puede disminuir la capacidad de cultivares de convertir energía en biomasa, inhibiendo el desarrollo de estos (Romero, 2008).

En este estudio, la presencia de individuos de *A. acuminata*, de copas ovoide invertida (Tabla 2) con promedios en HC de 2,30 m, TC de 9,50 y DC de 7,61 m, porcentaje de opacidad superior al 60 % e IAF por encima de 1,5, incidieron en los registros de grados lux observados BC. La intensidad lumínica obtenida BC en cada uno de los muestreos fue inferior a los registrada a LES, por lo cual los valores de las variables evaluadas en la copa del árbol incidieron para que el dosel arbóreo sea un condicionante significativo en este SSP.

El requerimiento de grados lux es particular en cada cultivo, hay plantaciones que requieren de sombras permanentes, otros que son susceptibles a ella y requieren una continua exposición al sol; y una tercera categoría que pueden adaptarse a diferentes ambientes lumínicos; por esto, la importancia en SSP de conocer la disponibilidad de luz que se puede presentar en diferentes partes del modelo, y conocer cómo afecta positiva o negativamente sobre producción y calidad del componente herbáceo, permite el establecimiento de agroforestería pecuaria mas productiva.

No existen registros en literatura afín donde se evalúe intensidad lumínica en agroforestería andina, los ensayos agronómicos están orientados hacia intensidad lumínica en viveros e invernaderos, donde se evalúa la incidencia de mallas o cubiertas artificiales sobre adaptación o rendimiento de especies vegetales. Los registros obtenidos en este trabajo se consolidan como referentes para investigaciones de grados lux en SSP, que pueden ser comparados en otras asociaciones y modelos.

Conclusiones

Los individuos de *A. acuminata* del SSP, presentaron árboles de porte mediano con respecto a altura total, diámetro del tronco y copa, son de forma predominantemente semicircular, crecimiento erecto con fuste cilíndrico que registra algunas curvaturas, ramificación erecta, sin ramificaciones y poca bifurcación.

La arquitectura de los individuos y la forma de la copa de *A. acuminata* influyen en la interceptación de radiación solar, que, evaluada a través del índice de área foliar, registros de opacidad de copa y de intensidad lumínica bajo el dosel, revelan la incidencia de la especie como sombrío en el sistema silvopastoril evaluado.

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a AGROSAVIA y a la Gobernación de Nariño que financió el proyecto identificado con el código BPIN 2013000100279, en el cual se realizó este estudio.

Referencia

- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2020). Agroecology: Challenges and opportunities for farming in the Anthropocene. *International Journal of Agriculture and Natural Resources*, 47(3), 204–215. <https://doi.org/10.7764/ijanr.v47i3.2281>
- Andrade, Segura, M. A., Canal, D. S., Feria, M., Alvarado, J. J., Marín, L. M., Pachón, D., & Gómez, M. J. (2014). The carbon footprint of coffee productive chains in Tolima, Colombia. 53-66 p. M. Oelberman (Ed.). Sustainable Agroecosystems in Climate Change Mitigation. In *Sustainable agroecosystems in climate change mitigation*. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands. https://doi.org/10.3920/978-90-8686-788-2_3
- Arciniegas-Torres, S. P., & Flórez-Delgado, D. F. (2018). silvopastoril systems: an alternative for agroecological and sustainable livestock production. *Ciencia y Agricultura*, 1, 107–116. <https://doi.org/10.19053/01228420.v15.n2.2018.8687>
- Arias, D. (2005). Morfometría del árbol en plantaciones forestales tropicales. *Revista Forestal Mesoamerica Kurú*, 2(5), pág. 19-32. bit.ly/3PvfaeW
- Aulestia; Edgar, Jiménez; Leticia, Quizhpe; José, & Capa; Daniel. (2018). *Alnus acuminata* kunth: una alternativa de reforestación y fijación de dióxido de carbono. *Bosques Latitud Cero*, 8(2), 64–74. <https://bit.ly/3C26UOj>
- Bahamonde, H., Gargoglione, V., Ormaechea, S., & Peri, L. (2018). Interacciones ecológicas en bosques de. *Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente*, 27(3), 106–115. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1492>
- Bernaola Paucar, R. M., Clemente Archi, G., & Vilcapoma Paliza, M. L. (2022). Indicadores morfológicos de la calidad de cinco especies forestales producidos en vivero. *Agroindustrial Science*. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2022.02.07>
- Burgess, A. J., Correa Cano, M. E., & Parkes, B. (2022). The deployment of intercropping and agroforestry as adaptation to climate change. *Crop and Environment*, 1(2), 145–160. <https://doi.org/10.1016/j.crope.2022.05.001>
- Cadena-Zamudio, D. A., Cadena-Iñiguez, P., Arispe-Vázquez, J. L., & Noriega-Cantú, D. H. (2022). Diseño de sistemas agroforestales: una alternativa sostenible para la Agricultura en el estado de Guerrero, México. *Agro-Divulgación*, 2(5). <https://bit.ly/3Fyz2Jv>
- Calle Díaz, Z., & Murgueitio, E. (2020). Árboles nativos para predios ganaderos: especies focales del Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible. In CIPAV (Ed.), *Árboles nativos para predios ganaderos: especies focales del Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible*. <https://bit.ly/3W5cF5C>
- Castañeda-Garzón, S. L., Argüelles-Cárdenas, J. H., Zuluaga-Peláez, J. J., & Moreno-Barragán, J. (2021). Evaluación de la variabilidad fenotípica en Simarouba amara Aubl., mediante descriptores cualitativos y cuantitativos. *Orinoquia*, 25(1), 67–77. <https://doi.org/10.22579/20112629.656>
- Cristina Moncayo-Riascos, M., & Gálvez-Cerón, A. (2018). Islas de fertilidad: una revisión sistemática de su estructura y operación. *Idesia*, 36, 115–122. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292018000100115>
- Cyamweshi, A. R., Kuyah, S., Mukuralinda, A., & Muthuri, C. W. (2021). Potential of *Alnus acuminata* based agroforestry for carbon sequestration and other ecosystem services in Rwanda. *Agroforestry Systems*, 1–11. <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00619-5>
- Díaz, A. (2019). *Identificación, aspectos morfológicos y fenológicos de las especies forestales nativas en el valle de Cajamarca* [Universidad de Cajamarca]. <https://bit.ly/3UYbKCB>
- Escobar-Sandoval, M. C., Vargas-Hernández, J. J., López-Upton, J., Espinosa-Zaragoza, S., & Borja-De la Rosa, A. (2018). Genetic parameters for wood quality, growth and branching traits in pinus patula. *Madera y Bosques*, 24(2), 1–11. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2421595>
- Escobar, L. D., Guatusmal-Gelpud, C., Meneses-Buitrago, D. H., Cardona-Iglesias, J. L., & Castro-Rincón, E. (2019). Evaluation of arboreal and shrub strata in a silvopastoral system in Colombian high Andean tropics. *Agronomy Mesoamerican*, 30(3), 803–819. <https://doi.org/10.15517/am.v30i3.35645>

- Escobar, L., Guastamal Gelpud, C., Meneses Buitrago, D. hernán, Cardona Iglesias, J. L., & Castro Rincón, E. (2019). Evaluación de estratos arbóreos y arbustivos en un sistema silvopastoril en el trópico altoandino colombiano. *Agronomy Mesoamericana*, 30(3), 803–819. <https://doi.org/10.15517/am.v30i3.35645>
- Garrido Velarde, J. G., Hernández Blanco, J. H., & Montero Parejo, M. J. (2017). Estudio de la cobertura del dosel del castaño. *Revista Científica Monfragüe Resiliente*, (IX, N° 1)(Estudio de la cobertura del dosel del castaño), 114–130. <https://bit.ly/3V5AqJo>
- Heguy, B., Bolaños, V., Fernández, F., Mendicino, L., Sharry, S. E., Stevani, R. A., & Galarco, S. P. (2022). Sistemas silvopastoriles en la Pampa Deprimida, interacciones y efectos sobre los componentes. *Libros de Cátedra*. <https://bit.ly/3V75KaB>
- IDEAM. (2022, March 2). *Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos*. <https://bit.ly/3j8NzE9>
- Jadán, O., Cedillo, H., Pillacela, P., Guallpa, D., Gordillo, A., Zea, P., Díaz, L., Bermúdez, F., Arciniegas, A., Quizhpe, W., & Vaca, C. (2019). Regeneration of trees in natural ecosystems and plantations of pinus patula (Pinaceae), in an andean altitudinal gradient (Azuay, Ecuador). *Revista de Biología Tropical*, 67(1), 182–195. <https://doi.org/10.15517/RBT.V67I1.32940>
- Jullian, C., Nahuelhual, L., Mazzorana, B., & Aguayo, M. (2018). Assessment of the ecosystem service of water regulation under scenarios of conservation of native vegetation and expansion of forest plantations in south-central Chile. *Bosque*, 39(2), 277–289. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002018000200277>
- Mantilla, D., & Ramírez, N. (2015). *Efecto de la intensidad lumínica y precipitación sobre el crecimiento del pasto Brachiaria brizantha cv. Toledo en piedemonte llanero* [Universidad de La Salle]. <https://bit.ly/3Gr9ZZo>
- Mberwa, J. W., Nsengimana, V., & Naramabuye, F. X. (2022). Investigation of effect of *Alnus acuminata* tree species on soil biochemical properties in silvopasture around Gishwati forest western Rwanda. *Wildlife & Environment*, 14(3), 35–48. bit.ly/3FBxG0G
- Mejía-Gutierrez, M. (1990). Fenología: Fundamentos y métodos. In *Semillas Forestales Tropicales* (pp. 65–79). bit.ly/3FXixbC
- Mendoza, B., Cruz, M., Carrera, L., Jimenez, M., Caicedo, J., Osorio, M., Santillán, L., & Arias, F. (2019). Biogenetic study of the emissions of species: *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus* Labill and *Alnus acuminata* in Riobamba canton, Ecuador. *F1000Research*, 8. <https://doi.org/10.12688/f1000research.19255.1>
- Mendoza, Y. (2018). *Árboles dispersos para el diseño de tecnologías silvopastoriles en ranchos ganaderos de la Huasteca Potosina* [Chapingo]. <https://bit.ly/3WhfaBs>
- Muñoz, D., Navia, J. F., & Solarte, J. G. (2018). El conocimiento local en los sistemas Silvopastoriles tradicionales: Experiencias de investigación en la región andina. In Universidad de Nariño (Ed.), *El conocimiento local en los sistemas Silvopastoriles tradicionales: Experiencias de investigación en la región andina*. <https://doi.org/10.22267/lib.udn.003>
- Naciones Unidas. (2022, December). *COP26: Juntos por el planeta*. Acción Por El Clima. <https://bit.ly/3VoPuSA>
- Oliva, M., Leiva, S., Collazos, R., Vigo, C., Natividad, C., & Maicelo, J. (2018). Factores que influyen en la adopción de tecnologías silvopastoriles con la especie nativa *Alnus acuminata* (aliso). *Agrociencia Uruguay*, 22(2), 1–9. <https://doi.org/10.31285/agro.22.2.9>
- Ospina, C., Hernandez, R., Gomez, D., Godoy, J., Aristizabal, F., Patiño, J., & Medina, J. (2005). El Aliso o Cerezo. In *Colombia* (Vol. 1). <https://bit.ly/3BHnimS>
- Palma-García, J. M., Toral, J. N., & Rivera, J. A. T. (2020). Avances y retos de la adaptación y mitigación al cambio climático mediante la agroforestería pecuaria en México. In *Los Sistemas Agroforestales de México*. Universidad Nacional Autónoma de México. <https://bit.ly/3YkR8r4>
- Paniagua-Zambrana, N. Y., Bussmann, R. W., & Romero, C. (2020). *Alnus acuminata* Kunth *Betulaceae*. 1–5. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77093-2_16-1
- Pérez, Y., Reyes, R., & Ríos, C. (2017). Variables dasométricas relacionadas con la productividad de *Acacia mangium* Willd. *Revista Centro Agrícola*, 44(2), 14–21. <https://bit.ly/3FY9B5R>
- Peri, P. L., & Navall, J. M. (2022). *Sistemas silvopastoriles en bosque nativo*. Editorial de la Universidad

- Nacional de La Plata (EDULP). <https://doi.org/10.35537/10915/131898>
- Pinos, J., Studholme, A., Carabajo, A., & Gracia, C. (2017). Leaf Litterfall and Decomposition of *Polylepis reticulata* in the Treeline of the Ecuadorian Andes. *Mountain Research and Development*, 37(1), 87–96. <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-16-00004.1>
- Ramírez, R., Lara Bueno, A., Uribe Gómez, M., Cruz León, A., Rodríguez Trejo, D. A., & Valencia Trejo, G. M. (2020). Comportamiento forrajero del estrato herbáceo en diferentes densidades arbóreas de selva baja caducifolia. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(4), 881–893. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i4.2467>
- Ramos-Montaño, C., de Oliveira, J. A., & Condori-Apfata, J. A. (2020). Chilling imbibition improves the germination tolerance of the Andean tree *Alnus acuminata* to arsenic. *New Forests*, 51(2), 243–259. <https://doi.org/10.1007/s11056-019-09725-w>
- Rios, L., Herrera, D., Rios, C., Ramos, F., Pezo, D., Villanueva, C., & Quiroz, R. (2021). *Efecto de la sombra arbórea sobre el rendimiento y valor nutritivo de pastos mejorados*. 42(2007), 2007. <https://bit.ly/3irW25o>
- Romahn-Hernández, L. F., Rodríguez-Trejo, D. A., Villanueva-Morales, A., Monterroso-Rivas, A. I., & Pérez-Hernández, M. de J. (2020). Rango altitudinal: factor de vigor forestal y determinante en la regeneración natural del oyamel. *Entreciencias: Diálogos En La Sociedad Del Conocimiento*, 8(22). <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2020.22.72751>
- Romero Delgado, G., Echevarria Rojas, M., Trillo Zárate, F., Lozano, V. H., Agurre Terrazas, L., Robles Rodríguez, R., & Nuñez Delgado, J. (2020). Effect of the faique (*Acacia macracantha*) on the nutritional value of guinea grass (*Panicum maximum* Jacq.) in a silvopastoral system. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Peru*, 31(1), 1–9. <https://doi.org/10.15381/rivep.v31i1.17562>
- Romero, L. (2008). Pasturas templadas y tropicales. *XXI Curso Internacional de Lechería Ara Profesionales de América Latina*, 20, 37–60. <https://bit.ly/3PtJpDa>
- Sandoya, V., Saura-Mas, S., Granzow-de la Cerda, I., Arellano, G., Macía, M. J., Tello, J. S., & Lloret, F. (2021). Contribution of species abundance and frequency to aboveground forest biomass along an Andean elevation gradient. *Forest Ecology and Management*, 479, 118549. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118549>
- Saucedo, J., Oliva, M., Maicelo, J. L., Quispe, H., & Melendez, J. B. (2020). Arreglos silvopastoriles con especie arbórea *Alnus acuminata* (aliso) y su efecto sobre los factores ambientales de sistemas ganaderos. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 46(3), 323–328. <https://bit.ly/3PyfkIV>
- Silva, A., Garay, S., & Gómez, A. (2017). Impacto de *Alnus acuminata* Kunth en los flujos de N₂O y calidad del pasto *Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov. *Colombia Forestal*, 21(1), 47–57. <https://doi.org/10.14483/2256201X.11629>
- Soler, R., & Chillo, V. (2018). Sinergias y antagonismos entre manejo agroforestal y conservación en paisajes multi-funcionales en Latinoamérica. *Ecosistemas*, 27(3), 1–3. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1633>
- Soriano-Robles, R., Arias-Margarito, L., Carbajal de Novoa, M., Almaraz buendía, I., & Torres-Cardona, M. (2018). Cambio climático y ganadería: el papel de la agroforestería. *Agroproductividad*, 11, 70–74. <https://bit.ly/3PEI3XI>
- Sousa, V. S. de, Pauletto, D., Oliveira, T. G. de S., da Silva, Á. F., & Correa Araújo, A. J. (2022). Canopy cover dynamics, soil temperature and moisture in agroforestry systems. *Agroecosistemas*, 14, 21–40. <https://doi.org/10.18542/ragros.v14i1.11610>
- Suqui, A., Céleri, R., Crespo, P., & Carrillo-Rojas, G. (2021). Interacciones entre índice de área foliar, densidad del dosel y precipitación efectiva de un bosque de *Polylepis reticulata* ubicado en un ecosistema de páramo. *La Granja*, 34(2), 63–79. <https://doi.org/10.17163/lgr.n34.2021.04>
- Tafur Sanchez, B. (2021). Efecto del sistema silvopastoril con *Alnus acuminata* en el valor agronómico y nutricional del *Pennisetum clandestinum*. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 3(3), 09. <https://doi.org/10.25127/ucni.v3i3.630>
- Tenecela-Buestan, K. J., Álvarez-Cortez, P. S., González-Valdez, K. M., Román-Robalino, D. A., & León-Ruiz, J. E. (2022). *Crop coefficient (kc) of alnus acuminata (alder) in the nursery stage*. 7(7), 340–352. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i1.3602>

- Tenorio, C., Moya, R., Valverde, J. C., & Arias-Aguilar, D. (2020). Biomass production and characteristics of short rotation plantations of clones of *Gmelina arborea* in three spacings. *Silvae Genetica*, 68(1), 92–100. <https://doi.org/10.2478/sg-2019-0017>
- Thomas, C., Bazurto, C., Pérez, N., Arturo, R., & Barrera, B. (2021). El balance nutricional como herramienta para el diseño de sistemas silvopastoriles con especies leñosas para ramoneo : Estudio de Caso. *Agroforestería Neotropical*, 11, 30. <https://bit.ly/3YNL8Yb>
- Tustin, D. S., Breen, K. C., & van Hooijdonk, B. M. (2022). Light utilisation, leaf canopy properties and fruiting responses of narrow-row, planar cordon apple orchard planting systems—A study of the productivity of apple. *Scientia Horticulturae*, 294, 110778. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110778>
- Valle-Carrión, L., Hildebrandt, P., Castro, L. M., Ochoa-Moreno, W.-S., & Knoke, T. (2021). Simultaneous optimization model for thinning and harvesting *Alnus acuminata* and *Pinus patula* plantations in Southern Ecuador. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 36(2–3), 144–154. <https://doi.org/10.1080/02827581.2020.1858956>
- Valverde, J. C. (2022). Efecto del espaciamiento en la estimación indirecta del índice de área foliar en plantaciones dendroenergéticas de Eucalipto. *Colombia Forestal*, 25(2), 17–29. <https://doi.org/10.14483/2256201x.18229>
- Vargas, J., Sierra, A., Mancipe, E., & Avellaneda, Y. (2018). Kikuyu, present grass in ruminant production systems in tropic Colombian highlands. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 13(2), 137–156. <https://doi.org/10.21615/4558>
- Villarreyna, R., Avelino, J., & Cerda, R. (2020). Ecosystem-based adaptation: Effect of shade trees on ecosystem services in coffee plantations. *Agronomía Mesoamericana*, 31(2), 499–516. <https://doi.org/10.15517/am.v31i2.37591>
- Vilma Amparo Holguín, Indira Isis García, J. R. M. D. (2018). *Aplicación de modelos matemáticos no lineales para la estimación de parámetros de crecimiento de Alnus acuminata en sistemas silvopastoriles de Roncesvalles, Tolima*. <https://bit.ly/3hZ9mxU>
- Viñoles, C., Fedrigo, J. K., Gonzalez, V. B., García, L., & Báez, F. (2022). Avances en el conocimiento sobre Sistemas Silvopastoriles en Uruguay. *Latin American Archives of Animal Production*, 30(Supl. 1), 43–53. <https://doi.org/10.53588/alpa.300505>