

Rasgos morfológicos de especies nativas potenciales para procesos agroecológicos Alto Andinos, Nariño, Colombia

Morphological traits of native species with potential for High Andean agroecological processes, Nariño, Colombia

Pedro Pablo Bacca Acosta^{1*}, Diana Lucía Burbano Martínez², Santiago David Córdoba Portilla³, Diana Lizeth López Salcedo⁴ y Diego Andres Muñoz Guerrero⁵

Resumen

Los intensos sistemas de productivos presentes en la región Andina han generado graves perturbaciones a los ecosistemas de alta montaña, quienes proveen servicios ecosistémicos de gran importancia; como minerales, flora y fauna. El estudio de la flora nativa mediante descriptores morfológicos se hace relevante para caracterizar e identificar la vegetación que podría emplearse en sistemas agroecológicos como estrategia de recuperación y uso sostenible de sistemas degradados, pues promueven la diversidad y uso responsable de los recursos naturales. El objetivo de esta investigación fue determinar los patrones morfológicos foliares que caracterizan a cuatro especies arbustivas nativas del bosque alto andino; *C. arborea*; *W. mariquitae*; *V. triphyllum* y *L. subseriata*. Se utilizaron 15 descriptores morfológicos cualitativos y cuantitativos de hoja. Los datos se sometieron a análisis multivariado de componentes principales y correspondencias múltiples, para las variables cuantitativas y cualitativas respectivamente. Entre los descriptores más relevantes para *C. arborea* se encontró; ancho de la hoja y forma de la hoja. Para *L. subseriata*; largo de la hoja y longitud principal del peciolo. *W. mariquitae*; ancho de la hoja y color de la hoja en el haz y *V. triphyllum*; ancho de la hoja y grosor del peciolo. Este trabajo contribuye a identificar los rasgos morfológicos más relevantes de cuatro especies arbustivas del bosque altoandino las cuales podrían ser potenciales en la implementación de sistemas agroecológicos que coadyuven a la sostenibilidad de zonas perturbadas por acciones agropecuarias.

Palabras clave: Páramos, taxonomía, servicios ecosistémicos, conservación del ecosistema.

Abstract

The intense production systems present in the Andean region have generated serious disturbances to high mountain ecosystems, which provide ecosystem services of great importance such as minerals, flora, and fauna. The study of the native flora through morphological descriptors becomes relevant to characterize and identify the vegetation that could be used in agroecological systems. This could serve as a strategy for the recovery and sustainable use of degraded systems since they promote diversity and responsible use of natural resources. The objective of this research was to determine the foliar morphological patterns that characterize four native shrub species of the High Andean forest: *C. arborea*; *W. mariquitae*; *V. triphyllum* y *L. Subseriata*. Fifteen qualitative and quantitative morphological leaf descriptors were used. Data were subjected to multivariate analysis of main components and multiple correspondences for quantitative and qualitative variables, respectively. Leaf width and leaf shape were found among the most relevant descriptors for *C. arborea*; leaf length and main petiole length for *L. Subseriata*; leaf width and color on the upper leaf side for *W. mariquitae*; and leaf width and petiole thickness for *V. triphyllum*. This work contributes to identifying the most relevant morphological traits of four High Andean forest shrub species with potential for the implementation of agroecological systems that contribute to the sustainability of areas disturbed by agricultural actions.

Keywords: Paramos, taxonomy, ecosystem services, ecosystem conservation.

Recibido: 21/12/2021

Aceptado: 30/04/2022

Publicado: 16/05/2022

Sección: Artículo original

*Autor correspondiente: pbacca@agrosavia.co

Introducción

El bosque alto andino se caracteriza como un ecosistema que está ubicado entre los 2400 y 5400msnm aproximadamente, el cual forma parte del perímetro inferior del ecosistema de páramo (Blancas et al., 2020; Ortiz et al., 2021; Cardona Iglesias et al., 2021). Está compuesto por una gran diversidad de plantas nativas con rasgos morfológicos que confluyen en este hábitat y regulan los servicios ambientales que ahí se ofrecen; agua, oxígeno, madera, leña, flora y fauna (Bacca A. y Burbano M., 2018; Bacca et al., 2020), además alberga diversidad importante, debido a su alta riqueza específica y porcentaje de endemismo (Obregón-La Rosa et al., 2021; Quispe Rojas y Elias Nuñez, 2020).

^{1*} Investigador Máster. Maestría en ingeniería ambiental. Corporación colombiana de investigación agropecuaria – AGROSAVIA. Pasto, Nariño, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0590-0396>.

² Profesional de investigación. Maestría en agroecología. Centro de Investigaciones y Estudios de Postgrado en Ciencias Agrarias. Universidad de Nariño. Universidad de Nariño. Pasto, Nariño, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1413-3456>.

³ Estudiante Programa de ingeniería agroforestal, Facultad de ciencias agrarias. Universidad de Nariño. Pasto, Nariño, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5325-0834>.

⁴ Estudiante Programa de ingeniería agroforestal, Facultad de ciencias agrarias. Universidad de Nariño. Pasto, Nariño, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6001-4717>.

⁵ Investigador Ph.D. Doctorado en Geografía. Facultad de ciencias agrarias. Universidad de Nariño. Pasto, Nariño, Colombia. Pasto, Nariño, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9673-2577>

Como citar: Bacca Acosta, P. P., Burbano Martínez, D. L., Córdoba Portilla, S. D., López Salcedo, D. L., y Muñoz Guerrero, D. A. (2022). Rasgos morfológicos de especies nativas potenciales para procesos agroecológicos Alto Andinos, Nariño, Colombia. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(2), 101-110. DOI: <https://doi.org/10.18271/ria.2022.387>



Pese a esto, el manejo de este bioma de alta fragilidad no es el mejor, los ecosistemas se enfrentan con retos difíciles de superar, tanto en desarrollo sustentable como en el incremento de nuevas áreas con la misma aptitud. Estos retos están relacionados con el cambio climático, el manejo ambiental y la agricultura convencional de montaña, así como la repercusión de la globalización socio- económica y cultural; los cuales tienen a este ecosistema al borde de la desaparición (Haller y Branca, 2020).

Los sistemas productivos que comúnmente prevalecen, como la ganadería intensiva de leche y el cultivo agrícola de papa ejercen alta presión y fragmentación de los sistemas naturales. El uso intensivo de sistemas agrícolas ha traído consigo la pérdida de diversidad ecológica, bajos rendimientos, erosión y ampliación de la frontera agrícola en zonas estratégicas o de recarga hídrica (Ruiz et al., 2018). Se dice que los sistemas productivos intensivos son los responsables a nivel mundial del 80% de la deforestación (Wilson et al., 2020). A causa de la expansión de la frontera agrícola y la ganadería intensiva se establece que traerá consigo la pérdida de al menos el 25 por ciento de la biodiversidad en los próximos años, además las fluctuaciones en el clima afectan considerablemente su biodiversidad (Reyes-Palomino y Cano Ccoa, 2022). El desconocimiento de biotecnologías apropiadas para estos ecosistemas inducirá a sistemas productivos económicamente poco rentables, ambientalmente insostenibles y socialmente inadecuados (Lanz et al., 2018).

Referente al contexto socio cultural y económico, los campesinos de la región haciendo uso de prácticas convencionales propiciadas por la revolución verde ha conllevado que amplíen sus áreas productoras hacia nuevas zonas de ausente vocación agropecuaria, como páramos y subpáramos, motivados por la necesidad de encontrar suelos más productivos para satisfacer las necesidades básicas de alimento, vivienda y económicas, que aun así, no son los mejores ya que los niveles de desnutrición y pobreza son considerables (Candelaria et al., 2020), provocando a su vez un desentendimiento del uso sostenible de los recursos naturales de alta montaña.

Bajo estas circunstancias se crea la necesidad de buscar estrategias que permitan la recuperación de manera integral este importante bioma. La identificación, caracterización de rasgos morfológicos y domesticación de especies nativas son alternativas, que pueden contribuir a la conservación y restauración de zonas degradadas mediante la regulación del recurso hídrico, enriquecimiento de la biodiversidad y la interconectividad de paisajes (FAO 2019). Con este tipo de estudios, la flora nativa a través de sistemas agroecológicos como los Sistemas agroforestales-SAF pueden tener un uso productivo sin colocar en riesgo la estructura ecológica y la biodiversidad de la región, permitiendo a su vez obtener una estrategia eficiente donde

se involucra el ámbito socio cultural, ambiental y económico cuyo objetivo primordial es contribuir al desarrollo sostenible de los sistemas productivos prevalecientes de la región (Rodríguez Espinosa *et al.*, 2020).

En este sentido, estudiar los rasgos morfológicos de especies potenciales para este fin se hace necesario, ya que se requiere ampliar el abanico o la disponibilidad de especies útiles para arreglos SAF que sean propios de este ecosistema. Los rasgos morfológicos son expresiones de cada una de las especies, que determinan el crecimiento, supervivencia y reproducción, además pueden actuar como indicadores ecológicos ante cambios ambientales o antrópicos (Romero-Saritama y Pérez- Ruiz, 2016). Según Moreno et al. (2015), los estudios de caracterización morfológica, en particular los atributos de hojas, se pueden basar en caracteres cualitativos o cuantitativos que determinan el uso y disposición de los recursos del medio. Además, aporta información en la taxonomía, detección de plagas y enfermedades, protección contra pesticidas, alimentación, medicina, industria y medio ambiente (Cervantes *et al.*, 2017). Así como también en la identificación de individuos que pueden ser útiles para fuentes semilleras en programas de restauración ecológica y sistemas agroforestales (Chao *et al.*, 2019).

En la actualidad se ha analizado rasgos foliares en especies arbóreas nativas para diferentes zonas agroecológicas, sin embargo, para las condiciones ambientales del bosque alto andino los estudios son limitados (Castañeda-Garzón *et al.*, 2021) y la poca información que se tiene no es actual. Por lo tanto, se hace relevante investigar a especies nativas como *Cleome arborea* Kunth; *Weinmannia mariquitae* Szyszyl; *Viburnum triphyllum* Benth y *Leandra subseriata* (Naudin).

Las investigaciones realizadas por Bacca y Burbano (2018); Bacca et al. (2020); Bernal y Celis (2020); Melissa y Torres (2016), establecen que las especies antes mencionadas favorecen a servicios ecosistémicos como: regulación del recurso hídrico, captura de carbono y fuente de alimento para animales silvestres, por lo tanto, brindar información sobre su caracterización a través de descriptores morfológicos de hojas se hace necesaria para procesos de identificación, colecta, propagación y domesticación que permitirá recuperar las condiciones propias del ecosistema que habitan.

En la limitada investigación que se encontró, Jáuregui y Ruiz-Zapata (2011), mencionan que el género *Cleome* es uno de los más numerosos con aproximadamente 200-250 taxones. Los trabajos que hasta el momento se han generado en relación con este estudio están encaminados a la evaluación de la estructura de lámina foliar como mecanismo fotosintético (Marshall et al., 2007; Muhaidat et al., 2007; Voznesenskaya et al. 2007). Aún es necesario que se indague sobre este importante ecosistema junto

con la flora existente, conocer en detalle su dinámica de crecimiento y su morfología permitirá tomar decisiones más acertadas para su conservación y uso sostenible mediante sistemas agroecológicos.

Bajo este contexto dentro del marco del macroproyecto denominado “Estudio fenológico de la flora silvestre nativa con potencial para procesos de restauración ecológica en bosque alto andino del municipio de Pasto, departamento de Nariño” el objetivo de la investigación fue determinar los patrones morfológicos foliares que caracterizan a *C. arborea*; *W. mariquitae*; *V. triphyllum* y *L. Subseriata* en el bosque Alto Andino en la Granja Experimental Botana de la Universidad de Nariño, que contribuya al estudio y domesticación de las mismas, para involucrarlas en futuras investigaciones en sistemas agroecológicos como SAF que permitan la recuperación y resiliencia de los ecosistemas de alta montaña.

Materiales y métodos

Área de estudio

Este trabajo se desarrolló en la zona de bosque alto andino de la Granja Experimental Botana de la Universidad de Nariño. Corregimiento de Catambuco, Municipio de Pasto, departamento de Nariño, cuyas coordenadas son: 01°09'29.37" N y 77°16'33.24" O, a una altura de 2820msnm, con temperatura promedio de 13°C, el nivel de precipitación aproximadamente es de 967mm anual y 75% de humedad relativa (Bacca *et al.*, 2020). Área perteneciente

a la zona de vida bosque húmedo montano bajo (bh – MB) (Zapata-Molina *et al.*, 2020).

Caracterización morfológica

De acuerdo con la metodología propuesta por Cervantes *et al.* (2017), se tomaron en total 10 individuos por cada especie en los cuales se evaluaron 15 descriptores de hojas (Tabla 1). Se recolectaron dos hojas compuestas para las especies de *C. arborea* y *W. mariquitae* en ellas se muestrearon cinco folíolos centrales ubicados a los dos costados de la hoja, mientras que para *V. triphyllum* y *L. subseriata* se utilizaron de 10-20 hojas simples para cada especie dependiendo de las condiciones de acceso y fitosanitarias.

Las muestras presentaron características como: hojas maduras, completas y sin problemas fitosanitarios (figura 1), ubicadas en los cuatro puntos cardinales de las ramas de la parte media y periférica de la copa (Castañeda-Garzón *et al.*, 2021). Las hojas fueron colocadas en bolsas de papel previamente etiquetadas con la especie y número de individuo. Con el propósito de evitar la deshidratación, los datos morfométricos cualitativos y cuantitativos se registraron inmediatamente después de la colecta, para estos últimos se utilizó un calibrador digital de precisión 0,1mm marca Truper (Truper Inc., Colombia) (Castañeda-Garzón *et al.*, 2021) y la estimación cromática de la lámina foliar se realizó mediante inspección visual directa con la carta de colores de Munsell, bajo condiciones de iluminación estandarizadas (Kehlenbeck *et al.*, 2015).

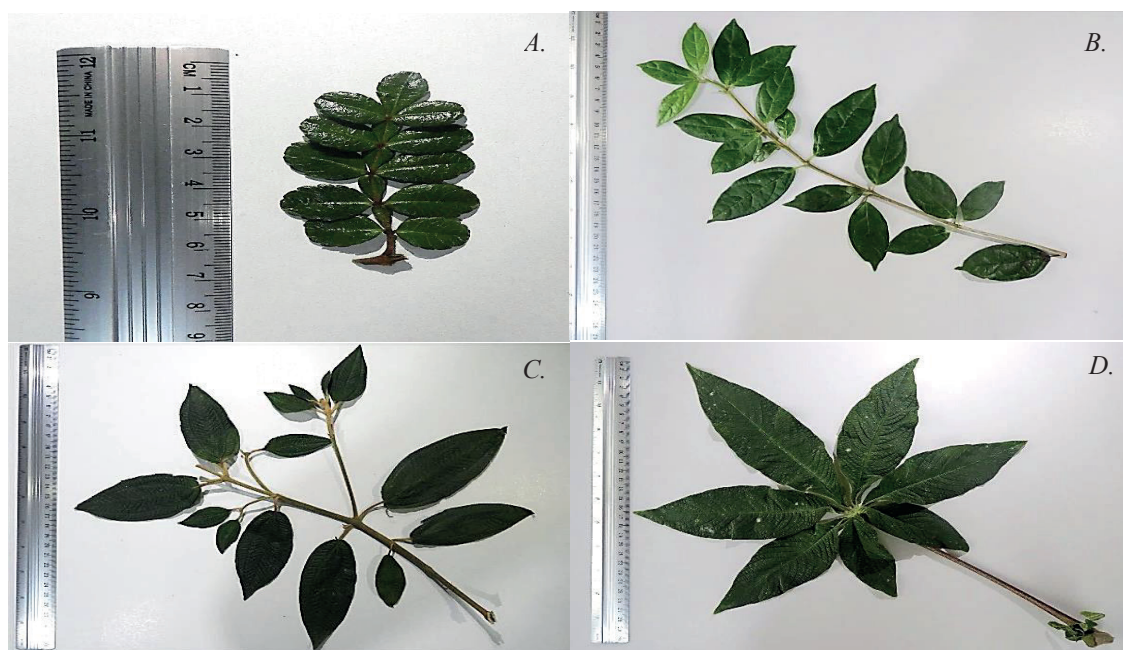


Figura 1. Medidas morfométricas de hojas. A; *Weinmannia mariquitae* Szyszyl, B; *Viburnum triphyllum* Benth, C; *Leandra subseriata* Naudin, D; *Cleome arborea* Kunth.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1. Descriptores cuantitativos y cualitativos de hoja.

No	Descriptor	Variable	Abreviatura
1	Longitud peciolo principal	Cuantitativa	LPEC ppal
2	Grosor peciolo principal	Cuantitativa	GPEC
3	Largo hoja	Cuantitativa	LH
4	Ancho hoja	Cuantitativa	ANH
5	Forma hoja	Cualitativa	FH
6	Borde hoja	Cualitativa	BORH
7	Ápice hoja	Cualitativa	APH
8	Base hoja	Cualitativa	BH
9	Pubescencia haz	Cualitativa	PUBHAZ
10	Pubescencia envés	Cualitativa	PUBENV
11	Color hoja haz	Cualitativa	CHHAZ
12	Color hoja envés	Cualitativa	CHENV
13	Ondulación Lámina Foliar	Cualitativa	OH
14	Venación haz	Cualitativa	VHAZ
15	Venación envés	Cualitativa	VENV

Fuente: Elaboración propia.

Análisis estadístico

El registro de los datos se realizó en una matriz de Excel discriminando la especie. La aplicación de las pruebas estadísticas se realizó a través del programa InfoStat® 2020. Los datos morfométricos cuantitativos se sometieron al análisis de componentes principales (ACP) mientras que a los datos cualitativos se les aplicó un análisis de frecuencias con el fin de categorizarlos para posteriormente realizar el análisis de correspondencias múltiples (ACM) (Castañeda-Garzón *et al.*, 2021; Meneses, 2019).

Resultados

En la tabla 2 se describe de manera general las cuatro especies evaluadas, información que parte de los datos de frecuencia de descriptores cualitativos estimados.

Tabla 2. Caracterización de descriptores predominantes de las especies *C. arborea* W. *mariquitae* V. *triphylum* y *L. subseriata*.

<i>C. arborea</i>			<i>W. mariquitae</i>		<i>V. triphyllum</i>		<i>L. subseriata</i>	
Descriptor	Categoría	%	Categoría	%	Categoría	%	categoria	%
FH	Palatisecta	79	Elíptica	100	Elíptica	70	Ovada	56
BORH	Entero	45	Serrulado	100	Entero	100	Aserrado	100
APH	Acuminado	81	Redondeado	83	Apiculado	100	Agudo	86
BH	Cuneada	77	Redondeada	73	Redondeada	53	Obtuso	64
PUBHAZ	Presente	100	Presente	100	Presente	51	Presente	100
PUBENV	Presente	100	Presente	100	Ausente	100	Presente	100
CHHAZ	7,5GY 4/6	22	7,5GY 4/6	64	7,5GY 4/4	32	7,5GY 5/8	37
CHMENV	5GY 7/10	30	5GY 6/4	16	7.5GY 5/4	22	5GY 7/10	38
OH	Ondulada	100	Plana	99	Plana	100	Ondulada	100
VHAZ	Hundida	100	Hundida	100	Hundida	82	Intermedia	58
VVEN	Hundida	100	Alzada	100	Alzada	91	Alzada	63

Fuente: Elaboración propia.

De igual manera, como complemento de la información descriptiva presentada anteriormente, en la tabla 3 se observa las medidas resumen de los registros

encontrados para *C. arborea* W. *mariquitae* V. *triphylum* y *L. subseriata*.

Tabla 3. Medidas morfométricas de las variables cuantitativas para las especies *C. arborea* W. *mariquitae* V. *triphylum* y *L. subseriata*.

Especie	<i>C. arborea</i>				<i>W. mariquitae</i>				<i>V. triphyllum</i>				<i>L. subseriata</i>			
	LI	\bar{x}	LS	SD	LI	\bar{x}	LS	SD	LI	\bar{x}	LS	SD	LI	\bar{x}	LS	SD
Descriptor	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
LPECppal	95,7	147,5A	199,2	40,41	8,8	20,7B	45,8	6,7	3,8	7,9C	13,0	1,8	3,2	5,9C	8,6	1,3
GPEC	2,8	6,7A	10,6	2,6	1,0	1,7B	2,5	0,3	0,9	1,6BC	2,8	0,4	0,2	0,8C	1,5	0,3
LH	34,9	118,6A	202,4	34,1	42,9	91,7B	140,8	19,8	47,0	76,1C	107,6	14,5	8,1	14,0D	19,9	2,7
ANH	16,6	32,9A	49,2	32,5	22,0	38,8B	61,7	8,2	18,4	34,9B	53,5	8,1	4,0	9,2C	14,3	2,0

Letras diferentes difieren significativamente. Tukey; Alfa=0,05. LI; límite inferior, X; media, LS; límite superior, SD; desviación estándar.

Fuente: Elaboración propia.

El ACP para *C. arborea* permitió agrupar las variables en dos componentes principales que explicaron el 69% (figura 2A) de la varianza total de la muestra. El PC1 explicó el 37% de la varianza total. En su medida,

las cuatro variables aportaron a la conformación de dicho factor; ANH (r=0,73), LH (r=0,70), GEPC (r=-0,54) y LPEC ppal (-0,12), sin embargo, si tomamos en cuenta el coeficiente de correlación podemos observar que ANH y

LH fueron las más importantes. El segundo componente explicó el 33% de la variabilidad el cual se encuentra influenciado por GEPC ($r=0,56$), LH ($r=0,41$), LPECppal ($r=0,87$) y ANH ($r=0,28$), en el cual la variable LPEC ppal tuvo mayor relevancia. Además, teniendo en cuenta el ángulo de los vectores se puede establecer que existe una estrecha correlación entre ANH-LH ($P=0,0008$) con el 60%, mientras que si comparamos ANH con LPEC ppal no presenta correspondencia.

De acuerdo con ACP para *L. subseriata* agrupó las variables en dos componentes principales que explicaron el 83% de la variación total. El PC1 explicó el 61% de la variación. Las variables evaluadas aportaron de manera

diferencial sobre este factor; ANH ($r=0,87$), LH ($r=0,87$), GEPC ($r=-0,82$) y LPEC ppal ($r=0,52$). Sin embargo, si consideramos la información presentada en la figura 2B y el coeficiente de correlación mencionado anteriormente podemos establecer que LH y ANH son las dos primeras variables morfológicas que más se destacan para esta especie. El segundo componente explicó el 22% de la variabilidad a diferencia de LPEC ppal ($r=0,84$), los valores de correlación de las variables son bajos con respecto al componente uno; GEPC ($r=-0,35$), ANH ($r=-0,23$) y LH ($r=0,07$). Por otra parte, Los individuos formaron dos grupos; las variables que definieron el primer grupo fueron LPEC ppal-LH ($P<0,0001$) mientras que el segundo grupo estuvo conformado por GEPC-ANH ($P<0,0001$).

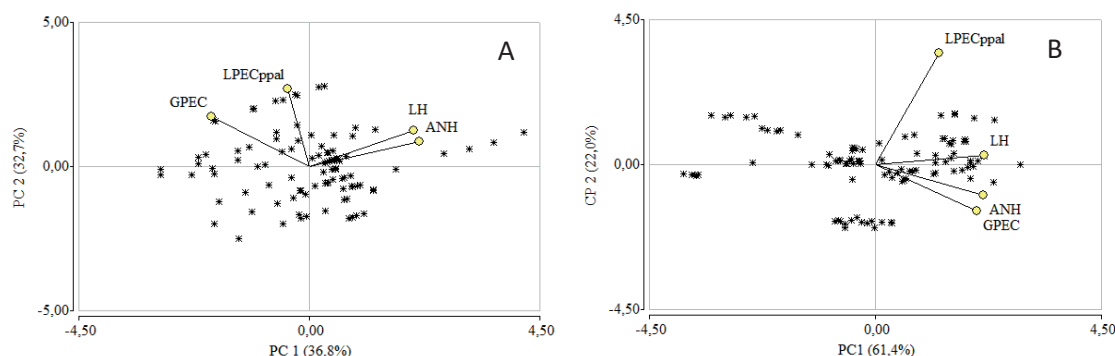


Figura 2. Análisis de componentes principales de los rasgos morfológicos foliares. A. *C. arborea*. Correlación cofenética=1,00. B. *L. subseriata*. Correlación cofenética=1,00.

Fuente: Elaboración propia.

Para las variables cualitativas de *C. arborea*, la contribución de los cinco primeros ejes explica un porcentaje de 51,79% de la variabilidad total. El primer eje explicó el 25,58%, el segundo; 10,43%, el tercero 5,82%, el cuarto; 5,36% y el quinto 4,60%. El 50% de la muestra presentó una correlación positiva con la variable APH; 10_11, CHHAZ; 8, CHENV; 11 y correlación inversa con CHHAZ; 4_8_11_9 y CHENV; 7-8. El 50% restante se correlaciono con las variables CHHAZ; 1_10_4_11 y CHENV; 4_9_1_3_8-11. Si en la misma tabla se contempla los aportes realizados por cada variable en los diferentes componentes se puede observar que FH, APH, BH, CHHAZ, CHENV tuvieron los valores más altos.

Para las variables cualitativas de *L. subseriata* la contribución de los cinco primeros factores explica un porcentaje de 40,58% de la variabilidad total. El primer factor explicó el 9,87%, el segundo factor 8,41%, el tercer factor 8,08%, el cuarto factor 7,18% y el quinto factor 7,03%. Se forman tres grupos; el primero presenta correlación con las variables BH 2, CHHAZ 5_4 y CHENV 8. El segundo grupo se correlacionó con BH_4, VHAZ 2_1, FH 4_1, VENV 2_1; BORH 1; PUBHAZ 1, PUBENV 1, CHENV 10_7, CHEHAZ 1_7_2. El tercer grupo presentó asociación con las variables CHEHAZ 3_8, CHENV 1_9, BH 1_3. Si se contempla los aportes realizados por cada variable en los diferentes componentes, se establece que

BH, CHHAZ, CHENV, APH fueron los descriptores más importantes; información relevante para análisis descriptivo de esta especie sobre este ecosistema.

Para *W. mariquitae* en el ACP se agruparon las variables en dos componentes principales que explicaron el 89% de la varianza. El PC1 explicó el 64% de la varianza total. Las variables con mayor coeficiente de correlación en orden decreciente son; ANH ($r=0,95$), LH ($r=0,94$), LPECppal ($r=0,88$) y GEPC ($r=0,06$). Además, observando el ángulo de los vectores (figura 3A) se puede apreciar una estrecha relación entre estas tres primeras variables. En este sentido, serían los descriptores morfológicos que caracterizan a esta especie para su identificación. El segundo componente explicó el 25% de la variabilidad, en el cual a diferencia de GEPC ($r=0,87$), los valores de correlación son bajos; LPECppal ($r=0,08$), ANH ($r=-0,07$) y ANH ($r=-0,06$). En el gráfico se identifica un grupo que correlaciona todas las variables de la siguiente manera: ANH-LH ($P<0,0001$), LPECppal-LH ($P<0,0001$), LPECppal-ANH ($P<0,0001$).

En este sentido el ACP de *V. triphyllum* permitió agrupar las variables en dos componentes principales que explicaron el 88% de la varianza total de la población (figura 3B). El PC1 manifestó el 69% de la varianza total. Las variables con mayor coeficiente de correlación y que

más aportaron a la conformación de dicho factor fueron ANH ($r=0,88$), LH ($r=0,86$), GEPC ($r=-0,80$) y LPEC ppal ($r=0,78$). El segundo componente explicó el 20% de la variabilidad, el cual se encuentra influenciado por LPEC

ppal ($r=0,48$), GEPC ($r=0,44$), LH ($r=-0,44$) y ANH ($r=-0,40$). Se definió un grupo con todas las variables; LPEC ppal, ANH, LH y GEPC ($P<0,0001$).

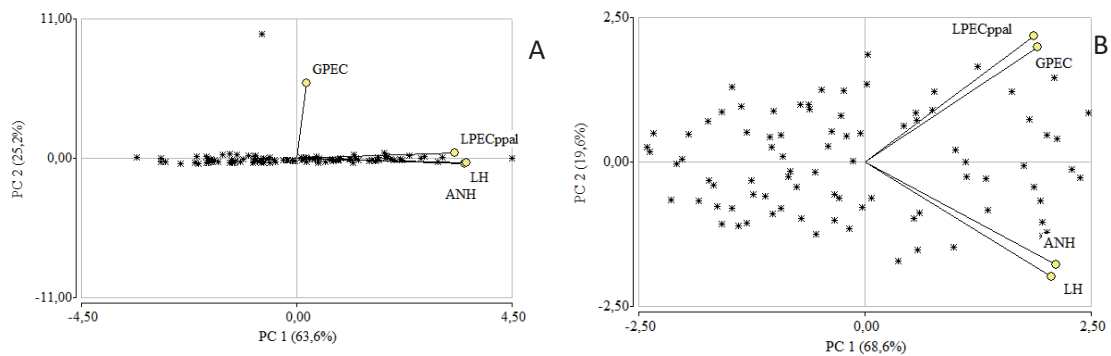


Figura 3. Análisis de componentes principales de los rasgos morfológicos foliares. A. *W. mariquitae*. Correlación cofenética=0,93. B. *V. triphyllum*. Correlación cofenética=1,00.

Fuente: elaboración propia.

Para las variables cualitativas de *W. mariquitae* la contribución de los cinco primeros factores explica un porcentaje de 35,34% de la variabilidad total. El primer factor explicó el 9,4%, el segundo factor 7,8%, el tercer factor 6,66%, el cuarto factor 6,58% y el quinto factor 5,90%. Se forman tres grupos; el primero correlaciona las categorías BH_1, CHHENV 1_5_8_10_12_15, CHHAZ_5 y APH_2. El segundo grupo está conformado por CHHAZ_1, CHENV 1_4_6_7_11_14, PUBHAZ_1, VHAZ_1, OH_1, APH_1 y BH_2. Y el tercer grupo lo conforman CHENV 2_9_13, CHHAZ_2_6_14 y BH_3.

Para las variables cualitativas de *V. triphyllum* la contribución de los cinco primeros factores explicó un porcentaje de 29,54% de la variabilidad total. El primer factor explicó el 6,84%. El segundo factor 6,24%. El tercer factor 5,88%. El cuarto factor 5,54% y el quinto factor 5,03%. Se correlacionaron las siguientes categorías PUBHAZ_2, VHAZ_2, CHHAZ 13_16_4_12, CHENV 1_2_3_5_8_10, FH_2, BH_3. Si se contempla los aportes realizados por cada variable en los diferentes componentes se establece que BH, CHHAZ, CHENV fueron los descriptores de mayor valor.

Discusión

La información acerca de los descriptores cualitativos y cuantitativos, permite conocer los rasgos morfológicos y taxonómicos que caracterizan a *C. arborea*, *W. mariquitae*, *V. triphyllum* y *L. subseriata*. Teniendo en cuenta su relevancia descrita en el inicio del documento, esta información coadyuva a procesos de identificación y recolección del material vegetal en campo, que pueden contribuir a programas de restauración, enriquecimiento vegetal y modelos agroecológicos adaptados a la región, en zonas perturbadas por acciones antrópicas o naturales, información que en la actualidad es escasa.

De la misma manera lo menciona Melissa y Torres (2016) quienes indican que la investigación científica sobre caracterización de vegetación en este ecosistema aún es incipiente, se hace necesario hacer estudios que describa a nivel de detalle la cobertura vegetal de este ecosistema de alta fragilidad, el cual según Roa-García y Torres-González (2021), se ve afectado drásticamente por disturbios de tipo agrícola y pecuario. Sumado a esto la información en revistas científicas que concentren sus esfuerzos de investigación en ecosistemas de montaña son limitadas, exceptuando la revista de investigaciones altoandinas de Perú quien en sus últimos volúmenes ha conllevado a brindar conocimientos de alternativas de sostenibilidad ecológica económica y cultural (Escobar-Mamani et al., 2020).

En lo concerniente a la información morfométrica; nos da una dimensión de descriptores más relevantes, como es el caso de longitud y grosor del peciolo, así como longitud y ancho de la hoja. De ello, se puede apreciar que *C. arborea* y *W. mariquitae* presentan hojas relativamente grandes comparadas con el resto de las especies evaluadas. Lohbeck et al. (2015), menciona que plantas con este tipo de características presentan mejor captación de luz e intercambio de gases, lo cual permite una alta capacidad fotosintética, se dice también que son indicadores de mayor vida útil de hojas y tolerante a daños por factores ambientales. Al respecto Jáuregui y Ruiz-Zapata (2011), establecen que el género *Cleome* dada sus características fisiológicas ha despertado interés en estudios relacionados con estructura de lámina foliar como mecanismo fotosintético.

Por otra parte Bernal et al. (2020), establece que las especies de este tipo de bioma presentan hojas pequeñas, gruesas y coriáceas, en la presente investigación este tipo de características fueron propias de la especie *W. mariquitae*. Esta diferencia de medidas morfométricas encontradas para las especies mencionadas nos da una idea de la

complejidad y gran diversidad que este tipo de ecosistemas puede albergar, el cual nos invita a seguir estudiando para comprender mejor su dinámica de crecimiento, la población que lo conforma y el potencial uso que podrían tener bajo sistemas de producción. En este sentido Lohbeck et al. (2015), menciona que es importante identificar los múltiples rasgos de las especies ya que de esta manera se establece que estrategias toman las plantas para avanzar en temas de adaptación ante gradientes ambientales y con ello comprender mejor los procesos de regeneración y desarrollo. Información que puede ser relevante para procesos de domesticación e implementación de nuevos sistemas agroecológicos que busquen suplir las necesidades locales, tal como se muestra en la investigación realizada por Quiñones *et al.* (2020), quienes luego de caracterizar la vegetación nativa la seleccionaron y priorizaron de acuerdo a los rasgos funcionales para posteriormente implementar diseños agroecológicos de sistemas silvopastoriles, brindando una alternativa forrajera en épocas donde el alimento para el ganado es escaso.

Al igual como se mencionó anteriormente en el análisis de componentes principales para las cuatro especies evaluadas se pudo apreciar que los rasgos morfológicos con mayor presencia fueron ancho de la hoja, largo de la hoja y longitud del peciolo principal; es decir, variables que tienen que ver con el área foliar, factor relevante que las plantas han considerado como estrategia para mejorar la captura de energía lumínica para procesos fotosintéticos. Gómez et al. (2021), indican que la superficie o área foliar de una planta se relaciona específicamente con la cantidad de luz que una especie puede recolectar, puede ser además un indicador del estrés ambiental. Castillo et al. (2014), mencionan que esta característica se emplea como indicador de procesos fisiológicos y morfológicos que dependen de la actividad fotosintética, así como la respiración, la división celular y otros factores.

Cervantes et al. (2017) indican que, en el análisis de contribución de variables para identificar rasgos morfológicos, incluir muchas de las mismas puede afectar la clasificación, se deben considerar descriptores que mayor aporte realicen a este tipo de estudios. De este modo, en el análisis de correspondencia múltiple bajo las condiciones ambientales del sitio de estudio, podríamos mencionar que los descriptores que identifican mejor las cuatro especies fueron; base de la hoja, color de la hoja en el envés y color de la hoja en el haz. Al respecto Ureta-Leones et al. (2018), establecen que los caracteres o atributos tanto cualitativos como cuantitativos de una planta son resultados de las condiciones ambientales y características genéticas que se expresan según el caso.

Los resultados de esta investigación son importantes ya que a diferencia de muchas especies actualmente no

se cuenta con estudios de caracterización morfológica de *C. arborea*; *W. mariquitae*; *V. triphyllum* y *L. subseriata*, probablemente obedezca a la bioeconomía presente en la región, la cual concentra sus esfuerzos económicos y de investigación generando paquetes tecnológicos para especies introducidas y con alto valor comercial como es el caso de pino o eucalipto de las que se obtiene materia prima para diversos productos para la industria maderera y de papel (Pérez Reyes et al., 2020; Rizza, 2020).

De esta manera la presente investigación se propone como una primera aproximación, para la caracterización de materiales promisorios en sistemas agroecológicos. Los resultados obtenidos acerca de la identificación morfológica de hojas facilitarán el seguimiento. Permitirá proponer estrategias de conservación y uso sostenible de los recursos naturales como es el caso de sistemas agroforestales y constituirá una forma de recuperar paisajes degradados por acciones agropecuarias y ambientales (Villena et al., 2019).

Conclusiones

Este trabajo contribuye a identificar los rasgos morfológicos más relevantes de cuatro especies arbustivas del bosque alto andino las cuales podrían ser potenciales en la implementación de sistemas agroecológicos que coadyuven a la sostenibilidad de zonas perturbadas por acciones agropecuarias. Y sobre todo fortalece a la interacción entre el ser humano y el medio ambiente en los Andes.

Para la especie *C. arborea* los descriptores cuantitativos que más aportaron fueron ancho de hoja y longitud del peciolo. Con relación a las variables cualitativas que mayor aporte hicieron fueron ápice de la hoja, forma de la hoja, color de la hoja en el haz y color de la hoja en el envés.

Para *L. subseriata* se estableció que los descriptores cuantitativos más relevantes fueron largo de la hoja, ancho de la hoja y longitud del peciolo principal, mientras que las variables cualitativas más relevantes fueron base de la hoja, color de la hoja en el haz y color de la hoja en el envés.

Los descriptores cuantitativos más relevantes para *W. mariquitae* fueron ancho de la hoja, largo de la hoja y grosor del peciolo. Respecto a las variables cualitativas los descriptores que más aportaron fueron color de la hoja en el envés, color de la hoja en el haz y base de la hoja.

Para *V. triphyllum* los descriptores sobresalientes fueron ancho de hoja, largo de hoja y grosor del peciolo. Por su parte el análisis de correspondencia señaló que las variables más destacadas fueron base de la hoja, color de la hoja en el haz y color de la hoja en el envés.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) por apoyar la realización de este trabajo mediante la asesoría de sus investigadores. A la universidad de Nariño a través Vicerrectoría de Investigaciones Postgrados y Relaciones Internacionales por financiar este estudio.

Referencias

- Bacca A., P. P., y Burbano M., D. L. (2018). Restauración ecológica de disturbios antrópicos presentes en la zona alto andina. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(2), 36–50. <https://doi.org/10.22267/rcia.183502.90>
- Bacca, P. P., Burbano, D. L., y Moreno, A. S. (2020). Evaluation of pre-germination treatments on four native species of the High Andean forest. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 37(1), 80–89. <https://doi.org/10.22267/rcia.203701.130>
- Bernal, R., S.R. Gradstein y M. Celis (eds.). 2020. Catálogo de Plantas y Líquenes de Colombia. v1.1. Universidad Nacional de Colombia. Dataset/Checklist. <https://doi.org/10.15472/7avdhn>
- Blancas, I., Nicolás, A., Corzo, M., Ximena, A., Sánchez, Á., Ximena, A., y Corzo, M. (2020). Cambios en las áreas nevadas y tendencias en la cobertura de nieve para el 2030 en el sur del Perú. *Terra. Nueva Etapa*, XXXVI(59). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72166221002>
- Candelaria, H., Mamani, J. W. T., y Peralta, A. H. (2020). Efecto de factores ambientales y socioeconómicas del hogar sobre la desnutrición crónica de niños menores de 5 años en el Perú. *Journal of High Andean Research*, 22(1), 49–56. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2020.657>
- Cardona Iglesias, J. L., Avellaneda Avellaneda, Y., y Castro Rincón, E. (2021). Estimación del consumo de forraje para dos biotipos bovinos lecheros en el trópico altoandino de Nariño, Colombia: Consumo materia seca bovinos. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 23(4), 220–228. <https://doi.org/10.18271/ria.2021.301>
- Castañeda-garzón, S. L., Moreno-barragán, J., y Argüelles-cárdenas, J. H. (2021). Caracterización morfológica y dasométrica de *Mimosa trianae* y *Cassia moschata* de la colección de AGROSAVIA Morphological and dasometric characterization of *Mimosa trianae* and *Cassia moschata* from AGROSAVIA. *Revista Temas Agrarios*, 26(1), 46–57. <https://doi.org/10.21897/rt.v26i1.2553>
- Castillo, O. S., Zaragoza, E. M., Alvarado, C. J., Barrera, M. G., y Dasgupta-Schubert, N. (2014). Using the conservative nature of fresh leaf surface density to measure foliar area. *International Agrophysics*, 28(4), 413–421. <https://doi.org/10.2478/intag-2014-0032>
- Cervantes, J., Taltempa, J., García-Lamont, F., Castilla, J. S. R., Rendon, A. Y., y Jalili, L. D. (2017). Análisis Comparativo de las técnicas utilizadas en un Sistema de Reconocimiento de Hojas de Planta. *RIAI - Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial*, 14(1), 104–114. <https://doi.org/10.1016/j.riai.2016.09.005>
- Chao, A., Lee, S. M., Rangel-Ch, J. O., Velázquez, A., Lozano-botache, L. A., Chao, A., Infante-Betancour Jhon, Jara-Muñoz Adolfo, Rivera-Díaz Orlando, Sataloff, R. T., Johns, M. M., Kost, K. M., Redondo Brenes, A., Vílchez Alvarado, B., Chazdon, R. L., Solano Peralta, D. F., Buitrago, J., López, L., Carvajal-Vanegas, D., ... Isaacs, P. (2019). Caracterización de ecosistemas de referencia y propagación de especies nativas de interés para restauración ecológica en la jurisdicción de Corpochivor. *Journal of the American Statistical Association*, 11(1), 80.
- Escobar, M., F., B. D., y Haller, A. (2020). Investigación de montaña sobre y para la región andina. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 22(4), 311–312. <https://doi.org/10.18271/ria.2020.191>
- Gómez, A. M., Garzón-Salcedo, L. C., Espinoza Manrique, W. E., Cárdenas Castillo, S. D., Guzmán Sanabria, D., y Bermúdez Duarte, D. F. (2021). Efecto de la coplanaridad entre cámara y hoja para la determinación de área foliar en *Eichhornia crassipes* con imágenes digitales. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 16(1), 19–30. <https://doi.org/10.18359/rfcb.4916>
- Guardamino, L., y Drenkhan, F. (2017). Evolution and Potential Threat of Glacial Lakes in the Cordillera Vilcabamba evolución y potencial amenaza de lagunas glaciares en la cordillera de Vilcabamba (Cusco y Apurímac , Perú) ENTRE 1991 Y 2014 Evolution and Potential Threat of Glacial Lakes in. February, 21–36. <https://www.researchgate.net/publication/313852763>
- Haller, A., y Branca, D. (2020). Montología: una perspectiva de montaña hacia la investigación transdisciplinaria y el desarrollo sustentable. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 22(4), 313–332. <https://doi.org/10.18271/ria.2020.193>
- Jáuregui, D., y Ruiz-Zapata, T. (2011). Anatomía del peciolo en especies de *Cleome* L. presentes en Venezuela.

- ACTA BOT. VENEZ.*, 34(2), 321–335. https://www.researchgate.net/publication/269101475_Anatomia_del_peciolo_en_especies_de_cleome_l_presentes_en_Venezuela_petiole_anatomy_of_Cleome_L_species_present_in_Venezuela/citation/download
- Kehlenbeck, K., Padulosi, S., y Alercia, A. (2015). *Descriptors for Baobab (Adansonia digitata L.) Biodiversity*. https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/56591/2015_Baobab%20Descriptors.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Lanz, B., Dietz, S. y Swanson, T. (2018). The Expansion of Modern Agriculture and Global Biodiversity Decline: An Integrated Assessment. *Ecological Economics*, 144, 260–277. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLECON.2017.07.018>.
- Lohbeck, M., Lebrija-Trejos, E., Martínez-Ramos, M., Meave, J. A., Poorter, L., y Bongers, F. (2015). Functional trait strategies of trees in dry and wet tropical forests are similar but differ in their consequences for succession. *PLoS ONE*, 10(4), 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123741>
- Marshall, D. M., Muhaidat, R., Brown, N. J., Liu, Z., Stanley, S., Griffiths, H., Sage, R. F., y Hibberd, J. M. (2007). *Cleome*, a genus closely related to *Arabidopsis*, contains species spanning a developmental progression from C3 to C4 photosynthesis. *Plant Journal*, 51(5), 886–896. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3113X.2007.03188.x>
- Melissa, A. H., y Torres, G. A. M. (2016). Caracterización florística de un bosque alto andino en el parque nacional natural puracé, Cauca, Colombia. *Boletín Científico Del Centro de Museos*, 20(1), 27–39. <https://doi.org/10.17151/bccm.2016.20.1.3>
- Meneses, J. (2019). *Aspectos básicos del análisis multivariante* (Universita). https://www.researchgate.net/publication/336232083_Introduccion_al_analisis_multivariante
- Moreno, E. M., Torres, T. C., García, E. A., González, A. M. C., Terrazas, T., León, M. T. B. C., de La Cruz Lázaro, E., y Torres, R. M. (2015). Caracterización morfológica de hojas de Nanche (*Byrsonima crassifolia* (L.) H. B. K.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(4), 15–19. [url http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v33nspe4/v33nspe4a5.pdf](http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v33nspe4/v33nspe4a5.pdf)
- Muhaidat, R., Sage, R. F., y Dengler, N. G. (2007). Diversity of Kranz anatomy and biochemistry in C4 eudicots. *American Journal of Botany*, 94(3), 362–381. <https://doi.org/10.3732/ajb.94.3.362>
- Obregón-La Rosa, A. J., Augusto-Eliás-Peñafiel, C. C., Contreras-López, E., Arias-Arroyo, G. C., y Bracamonte-Romero, M. (2021). Características físico-químicas, nutricionales y morfológicas de frutas nativas. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 23(1), 17–25. <https://doi.org/10.18271/ria.2021.202>
- Ortiz, S., Consuegra, C., Van der Hammen, M. C., y Pérez, D. (2021). Perspectivas urbano-rurales sobre la circulación de dos frutos silvestres del bosque altoandino en sistemas agroalimentarios de Bogotá, Colombia. *Revista Etnobiología*, 19(1), 81–95. <https://revistaetnobiologia.mx/index.php/etno/article/view/397>
- Pérez Reyes, C. M., Fuentes González, M. W., y Geadá López, G. (2020). Capacidad reproductiva de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari en la unidad de producción de semilla mejorada Marbajita. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 8(2), 333–343. <http://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/611>
- Quiñones, J., Cardona, L., y Castro, E. (2020). Ensilaje de arbustivas forrajeras para sistemas de alimentación ganadera del trópico altoandino Fodder. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(3), 285–301. <https://doi.org/10.18271/ria.2020.662>
- Quispe Rojas, W. R., y Elias Nuñez, E. (2020). Distribución potencial de puya *raimondii* harms en futuros escenarios del cambio climático. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 22(2), 170–181. <https://doi.org/10.18271/ria.2020.605>
- Reyes-Palomino, S. E., y Cano Ccoa, D. M. (2022). Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 24(1), 53–64. <https://doi.org/10.18271/ria.2022.328>
- Rizza, D. (2020). Polyploid induction of *Eucalyptus dunnii* Maiden to generate variability in breeding programs. *Agrociencia Uruguay*, 24(2), 1–9. <https://doi.org/10.31285/agro.24.381>
- Roa-García, C. E., y Torres-González, A. M. (2021). Caracterización florística y estructural como línea de base para la restauración ecológica de bosques en la microcuenca del río Barbas, Colombia. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 45(174), 190–207. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1167>

- Rodríguez Espinosa, U., Ruíz Caicedo, J. C., Cortés Castillo, D. V., y Caballero Díaz, H. (2020). Plantas útiles del páramo y su potencial en la sostenibilidad ambiental: caracterización etnobotánica, Sumapaz Colombia. *Revista Iberoamericana Ambiente y Sustentabilidad*, 3(2), 125–137. <https://doi.org/10.46380/rias.v3i2.92>
- Romero-Saritama, J. M., y Pérez Ruiz, C. (2016). Rasgos morfológicos de semillas y su implicación en la conservación ex situ de especies leñosas en los bosques secos tumbesinos. *Ecosistemas*, 25(2), 59–65. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2016.25-2.07>
- Ruiz D, Martinez J, F. A. (2018). Agricultura sostenible en ecosistemas de altamontaña. *Nature*, 388, 539–547. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v13n1/v13n1a15.pdf>
- Ureta Leones, D. A., García Quintana, Y., Arteaga Crespo, Y., Morales Moreno, A., Lazo Pérez, Y., y Jalca, I. (2018). Método de clasificación a partir del diagnóstico de calidad morfológica en vivero para la selección de especies forestales promisorias en programas de restauración. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 7(3), 142–150. <http://revistas.proeditio.com/revistamazonica>
- Voznesenskaya, E., N. Koteyeva, S. Chuong, A. Ivanova, J. Barroco, L. Craven y G. Edwards. 2007. Physiological, anatomical and biochemical characterization of photosynthetic types in genus cleome (Cleomaceae). *Funct. Pl. biol.* 34: 247-267. <https://www.publish.csiro.au/fp/FP06287>
- Villena, J., Cunya, J., y Valderrama, M. (2019). Variabilidad morfológica de la “tara” *Caesalpinia spinosa* (Molina.) Kuntze (Fabaceae), en poblaciones naturales de Cajamarca: descriptores de fruto y semilla. *Arnaldoa*, 26(2), 555–574. <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.262.26203>
- Wilson, S., Alavi, N., Pouliot, D. y Mitchell, G. W. (2020). Similarity between agricultural and natural land covers shapes how biodiversity responds to agricultural expansion at landscape scales. *Agriculture, Ecosystems Environment*, 301, 107052. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2020.107052>
- Zapata-Molina, J. J., Portillo-Lopez, P. A., Meneses-Buitrago, D. H., Lagos-Burbano, E., Castro-Rincón, E. (2020). Agronomic evaluation of forages with inclusion of dolomite amendment in {Nariño}, {Colombia}. *Pastos y Forrajes*, 43(4), 345–351. <https://doi.org/10.15517/am.v32i2.43207>