

CARACTERIZACIÓN AGROMORFOLÓGICA DE ACCESIONES DE *Neltuma* spp. DEL BANCO DE GERMOPLASMA DE INIA, PERÚ

Sheyla Y. Chumbimune-Vivanco¹, Miguel Chapoñan-Vásquez¹, Sandra Mendez-Farroñan¹, Deysi Rojas-Llamo¹ y David E. Lindo-Seminario¹

RESUMEN

El algarrobo (*Neltuma* spp.) es un componente clave de los bosques secos del Perú, reconocido por sus beneficios ecológicos, económicos y ambientales. Sin embargo, enfrenta importantes amenazas y su identificación es compleja debido a la similitud morfológica entre especies del género. Se caracterizó fenotípicamente 26 accesiones de *Neltuma* spp. para generar información de base que apoye estudios genéticos y estrategias de conservación, evaluando 52 descriptores (30 cuantitativos y 22 cualitativos) durante tres años en el Banco de Germoplasma de la EEA Vista Florida-INIA (Lambayeque). El análisis factorial de datos mixtos (AFDM) explicó el 39,9 % de la varianza total, destacando la contribución de caracteres foliares y de fruto. El análisis de Spearman mostró correlaciones significativas entre variables vegetativas (diámetro, altura y copa) y entre caracteres foliares y reproductivos. El análisis de conglomerados definió tres grupos, con *N. alba* var. *panta* diferenciándose por su mayor largo de vaina, tamaño de semilla y vigor vegetativo. Se confirmó una amplia variabilidad morfológica en *Neltuma* spp., lo que constituye una base para futuros estudios de conservación, caracterización y eventual selección.

Palabras clave adicionales: Análisis multivariado, bosque seco, caracterización agromorfológica, diversidad, *Neltuma* spp.

ABSTRACT

Agromorphological characterization of *Neltuma* spp. accessions from the INIA germplasm bank, Peru

The carob tree (*Neltuma* spp.) is a key component of Peru's dry forests, recognized for its ecological, economic, and environmental benefits. However, it faces significant threats, and its identification is complex due to the morphological similarity among species within the genus. Twenty-six accessions of *Neltuma* spp. were phenotypically characterized to generate baseline information to support genetic studies and conservation strategies, evaluating 52 descriptors (30 quantitative and 22 qualitative) over three years at the EEA Vista Florida-INIA Germplasm Bank (Lambayeque). Mixed-data factor analysis (MFDA) explained 39.9 % of the total variance, highlighting the contribution of leaf and fruit traits. Spearman's correlation analysis revealed significant correlations between vegetative variables (diameter, height, and canopy) and between leaf and reproductive traits. Cluster analysis identified three groups, with *N. alba* var. *panta* distinguished by its greater pod length, seed size, and vegetative vigor. Widespread morphological variability in *Neltuma* spp. was confirmed, providing a foundation for future studies on conservation, characterization, and eventual selection.

Additional Keywords: Agromorphological characterization, diversity, dry forest, multivariate analysis, *Neltuma* spp.

Editor Asociado. Dra. Iris Pérez Almeida

INTRODUCCIÓN

Los árboles del género *Neltuma* (algarrobos) se distribuyen en zonas tropicales áridas y secas de América (Hughes *et al.*, 2022); y en el Perú forman parte de los bosques secos de La Libertad, Lambayeque, Piura y Tumbes, que representan el 3,11% del territorio nacional (MINAM, 2019;

Barboza *et al.*, 2024). Estos ecosistemas, entre los más vulnerables a nivel mundial (Roa *et al.*, 2022), cumplen funciones ecológicas clave, como mejorar la fertilidad y la humedad del suelo, generar microclimas (Beresford y Whaley, 2021) y actuar como sumideros de carbono (Duval y Cámara, 2021).

El algarrobo tiene una gran importancia

Recibido: Diciembre 18, 2025

Aceptado: Agosto 19, 2026

¹Estación Experimental Agraria Vista Florida. Subdirección de Recursos Genéticos de la Dirección de Recursos Genético y Biotecnología. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Lambayeque. Perú.

e-mail: ychv8290@gmail.com; miguelchaponanvasquez@gmail.com; sandrajmfar@gmail.com; deysirojasllamo@gmail.com; dlindo@inia.gob.pe (autor de correspondencia)

económica, destacando el uso de su madera como fuente de energía y de sus frutos para alimentación y la elaboración de derivados como la harina y la algarrobina (Salazar *et al.*, 2021). Sin embargo, a pesar de estos beneficios, se considera el recurso genético más amenazado de América del Sur (Van Zonneveld *et al.*, 2018). Sus poblaciones están en declive debido a amenazas sinérgicas: el cambio climático, que afecta su ciclo reproductivo y distribución (Berdugo *et al.*, 2020), y la intensa presión antrópica (expansión agrícola, tala, sobrepastoreo), que ha transformado drásticamente el bosque seco y deteriorado su hábitat (Montano *et al.*, 2022).

A ello se suma la compleja situación taxonómica: las especies presentan gran similitud morfológica, hibridación y variación ambiental, lo que dificulta su clasificación (Joseau *et al.*, 2013; Trenchard *et al.*, 2008). Estudios recientes proponen dividir el antiguo género *Prosopis* en *Anonychium*, *Neltuma* y *Strombocarpa*, quedando sólo tres especies dentro del género *Prosopis* (Hughes *et al.*, 2022), lo que genera vacíos críticos para su conservación. Cabe señalar que muchos de los estudios citados en este trabajo fueron realizados bajo la denominación de *Prosopis*. No obstante, tras la reclasificación propuesta por Hughes *et al.* (2022), estos aportes resultan igualmente válidos y aplicables al género *Neltuma*, lo que permite aprovecharlos como referencia para la presente investigación.

Los estudios de caracterización permiten identificar distintas especies dentro de un mismo género, lo que resulta fundamental para orientar las estrategias de conservación y manejo (Rosales *et al.*, 2023). En el caso de *Neltuma* (anteriormente *Prosopis*), los trabajos abarcan desde la caracterización morfológica de poblaciones naturales (Verga *et al.*, 2009; Joseau *et al.*, 2013; Towanou *et al.*, 2015) hasta investigaciones más detalladas. Estas últimas han sido orientadas hacia la diferenciación de especies a partir de la morfometría foliar (Foroughbakhch *et al.*, 2024), la caracterización de frutos y semillas (García *et al.*, 2022) y el análisis de subproductos como la harina de algarroba (Rodríguez *et al.*, 2018; Fernández *et al.*, 2023). Estos enfoques morfológicos se han visto reforzados por análisis genéticos mediante marcadores moleculares para evaluar la diversidad y la diferenciación entre los grupos de *Prosopis*

(Castillo *et al.*, 2021; Vega *et al.*, 2021; Bessega *et al.*, 2021).

En respuesta a las distintas amenazas que enfrentan los algarrobos y a la dificultad en su clasificación taxonómica, el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), a través de la EEA Vista Florida, conserva 28 accesiones y 10 especies identificadas en el Banco de Germoplasma de Algarrobo (BGA). El presente estudio se centra en la caracterización fenotípica detallada de esta colección, con el fin de diferenciar las accesiones y especies conservadas. Esta información es fundamental para futuros estudios sobre la variabilidad genética del género y para orientar estrategias de conservación y uso sostenible.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. El Banco de Germoplasma de algarrobo se encuentra ubicado en el Lote 7.2 de la Estación Experimental Agraria (EEA) Vista Florida del INIA, ubicada en el km 8 de la carretera Chiclayo-Ferreñafe (distrito de Picsi, provincia de Chiclayo, Lambayeque, Perú). Geográficamente, el sitio se ubica a 6°43'38.5"S y 79°47'29.6"W, a una altitud de 30 msnm. (Figura 1). El clima histórico de la zona es árido y cálido, con una humedad relativa baja, temperaturas medias que oscilan entre 27 y 29 °C en invierno y superan los 30 °C en verano, y una precipitación anual promedio histórica de 25 mm (SENAMHI, 2025). Durante el periodo en evaluación se registraron condiciones climáticas atípicas en la costa norte del Perú. El ENFEN reportó la persistencia de El Niño costero durante el verano de 2024, con temperaturas del aire por encima de lo normal en la costa norte y lluvias entre normales y superiores a lo normal; además, SENAMHI informó que 2024 fue el año más cálido registrado en el Perú (ENFEN, 2024; SENAMHI, 2025). Respecto a las características edáficas, los análisis realizados por el Laboratorio de Suelos de la EEA Vista Florida revelaron un suelo de textura franco-arcillo-arenosa, con un pH fuertemente alcalino (9,16), materia orgánica de 2,37 %, carbonatos de 8,60 %, conductividad eléctrica de 1163 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}$ y una capacidad de intercambio catiónico (CIC) de 15,71 meq.100 g⁻¹.

Manejo agronómico y fitosanitario. Durante las tres campañas agrícolas evaluadas, el manejo

Chumbimune *et al.* Accesiones de *Neltuma* spp. del banco de germoplasma de INIA, Perú

agronómico se mantuvo estandarizado en toda la colección. El requerimiento hídrico se cubrió mediante riego por gravedad, aplicado con una frecuencia de 90 días o en función de la capacidad de campo, a excepción de los periodos de lluvia extrema. La fertilización edáfica consistió en la aplicación semestral de una fórmula 20-20-25 (N-P-K). Para el mantenimiento del dosel y de la arquitectura de las accesiones, se realizaron podas de formación y de limpieza en las etapas de prefloración y postcosecha. El control de arvenses

(malezas) se realizó manualmente en las parcelas. En cuanto al manejo fitosanitario, el monitoreo y control de plagas endémicas principalmente la mosquilla del brote (*Enallodiplosis discordis*) y pulgones, se gestionó mediante tratamientos químicos preventivos y curativos cada 60 días. Estas labores se suspendieron una vez que las vainas iniciaron su desarrollo completo, procediendo posteriormente a la recolección en el estado de madurez fisiológica óptima.

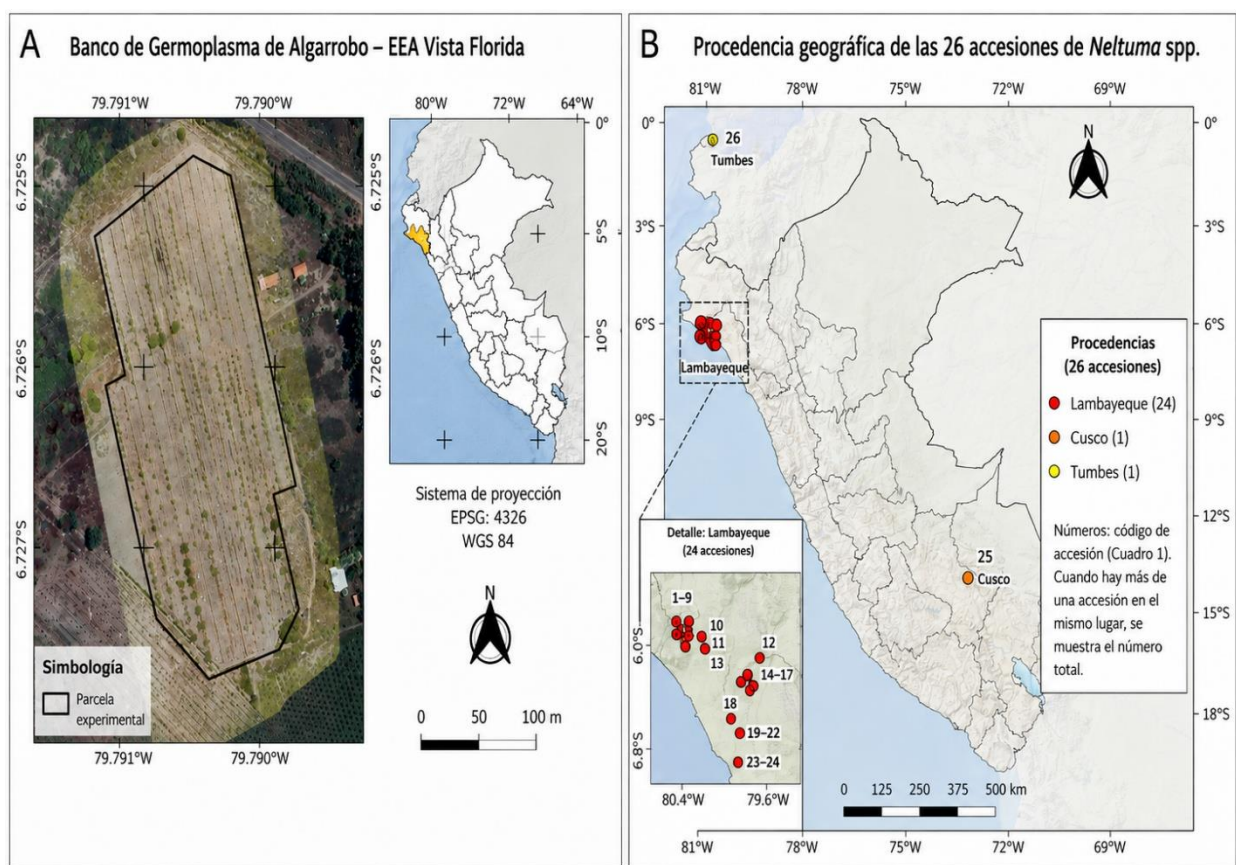


Figura 1. Localización del sitio experimental y procedencia geográfica de las 26 accesiones de *Neltuma* spp. evaluadas. **(A)** Ubicación del Banco de Germoplasma de Algarrobo en la Estación Experimental Agraria Vista Florida, Lambayeque, Perú. **(B)** Procedencia geográfica de las accesiones evaluadas según las coordenadas registradas en el Cuadro 1; 24 accesiones corresponden a Lambayeque, una a Cusco y una a Tumbes.

Material vegetal. El ensayo se estableció a partir de una colección inicial de 38 accesiones de algarrobo. Para garantizar una amplia representatividad ecogeográfica, las semillas originales fueron recolectadas en doce provincias de nueve departamentos del Perú (Lambayeque,

Apurímac, Arequipa, Ayacucho, Huancavelica, Huánuco, Cusco, La Libertad y Tumbes). De la población base, 28 accesiones provinieron del Banco de Semillas del INIA y 10 fueron donadas por el Herbario de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo (UPRG). Tras seis meses de desarrollo

en vivero, los plantones fueron instalados en campo definitivo.

Respecto a la identidad taxonómica, los materiales provenientes de la UPRG fueron identificados a nivel de especie empleando las claves botánicas de Burkart (1976). No se dispone de números de voucher o códigos de herbario asociados a estos materiales, debido a que dicha información no fue consignada en la documentación disponible. De los 10 materiales provenientes de la UPRG, cuatro formaron parte del panel definitivo y corresponden a las accesiones identificadas a nivel de especie en el Cuadro 1; los seis restantes fueron excluidos de la evaluación final por no completar el ciclo fenológico. En contraste, la asignación morfológica precisa de las 28 accesiones del INIA presentó una alta dificultad metodológica debido a la introgresión y frecuente hibridación natural que caracteriza a este género. Con el fin de salvaguardar el rigor científico y evitar clasificaciones erróneas ante la ausencia de marcadores moleculares, estos materiales fueron conservados y evaluados bajo el complejo *Prosopis* spp, posteriormente asignado como *Neltuma* spp.

Finalmente, para el análisis agromorfológico y estadístico, la colección fue sometida a un estricto criterio de depuración, con un panel definitivo de 26 accesiones: 22 del INIA y 4 de la UPRG (Cuadro 1). Se excluyeron 12 genotipos de la evaluación debido a que no lograron completar los ciclos fenológicos reproductivos necesarios a causa de ausencia de floración, lo que impidió la recolección de datos completos para los caracteres de vaina y semilla. Las accesiones con código pasaporte excluidas fueron: PER1003640, PER1003641, PER1003643, PER1003644, PER1003647, PER1003651, PER1003657, PER1003661, PER1003663, PER1003664, y las accesiones excluidas sin código pasaporte corresponden a *Neltuma calderensis* y *Neltuma* spp.

Diseño experimental. Las plantas fueron instaladas con un distanciamiento de 5 m entre plantas y 10 m entre hileras. Se instalaron las 38 accesiones, cada una representada en promedio por 10 plantas. Para efectos de las evaluaciones, la unidad experimental estuvo constituida por una planta individual, considerándose como repeticiones las plantas pertenecientes a una

misma accesión. Las evaluaciones se realizaron durante tres campañas agrícolas, desde el año 2022 hasta inicios del 2025.

Descriptores morfológicos. Para la caracterización agromorfológica se evaluó un total de 52 descriptores botánicos, divididos en 22 cualitativos y 30 cuantitativos (Cuadros 2 y 3). La ubicación de los principales caracteres morfológicos evaluados en la hoja bipinnada, inflorescencia, flor, vaina y semilla se presenta esquemáticamente en la Figura 2. Este conjunto fue seleccionado y adaptado a partir de diversas fuentes estandarizadas, incluyendo la lista del International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR, 1982) para frijol aplicable por su homología en leguminosas, literatura científica especializada y los lineamientos técnicos establecidos por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA, 2020) para el algarrobo.

Para garantizar la reproducibilidad y controlar el sesgo fenológico, todas las evaluaciones *in situ* se realizaron cuando las accesiones alcanzaron entre 3 y 4 años en campo definitivo, asegurando que se encontraran en una fase reproductiva estable. La recolección de datos se restringió estrictamente a momentos fenológicos homólogos: anthesis plena para los descriptores florales y madurez fisiológica completa para frutos y semillas. El muestreo individual consistió en la evaluación aleatoria de 30 hojas, 30 inflorescencias, 30 vainas y 100 semillas por planta. Con el fin de evitar sesgos provocados por el microclima o el sombreado diferencial, estas muestras fueron recolectadas exclusivamente del tercio medio de la copa, distribuidas equitativamente en los cuatro puntos cardinales.

Las variables cualitativas fueron determinadas mediante observación visual directa y categorizadas según los rangos establecidos por los autores de referencia (Cuadro 2). Para la evaluación rigurosa de las variables cromáticas (color de tallo, espina, hoja, vaina y semilla), se utilizó la carta de colores estandarizada Munsell Plant Tissue Color Book bajo condiciones de luz natural. En el caso de los caracteres cuantitativos, se empleó un calibrador pie de rey digital (precisión de 0,01 mm) expresando los resultados morfológicos en milímetros (mm), y una balanza analítica para reportar los pesos en gramos (g).

Chumbimune et al. Accesiones de *Neltuma* spp. del banco de germoplasma de INIA, Perú**Cuadro 1.** Ubicación geográfica de 26 accesiones de Banco de Germoplasma de Algarrobo.

N° de accesión	Código pasaporte	Nombre científico	Latitud (S)	Longitud (W)
1	PER1003629	<i>Neltuma</i> spp.	6,53987	80,02366
2	PER1003630	<i>Neltuma</i> spp.	6,53997	80,02264
3	PER1003631	<i>Neltuma</i> spp.	6,54750	80,01212
4	PER1003632	<i>Neltuma</i> spp.	6,54765	80,01234
5	PER1003633	<i>Neltuma</i> spp.	6,55182	80,00602
6	PER1003634	<i>Neltuma</i> spp.	6,55200	80,00577
7	PER1003635	<i>Neltuma</i> spp.	6,55327	80,00439
8	PER1003636	<i>Neltuma</i> spp.	6,55329	80,00417
9	PER1003637	<i>Neltuma</i> spp.	6,5546	80,00449
10	PER1003638	<i>Neltuma</i> spp.	6,29256	79,67452
11	PER1003639	<i>Neltuma</i> spp.	6,29308	79,6715
12	PER1003642	<i>Neltuma</i> spp.	6,29416	79,67464
13	PER1003645	<i>Neltuma</i> spp.	6,2935	79,67515
14	PER1003646	<i>Neltuma</i> spp.	6,31913	79,77728
15	PER1003648	<i>Neltuma</i> spp.	6,32389	79,7693
16	PER1003649	<i>Neltuma</i> spp.	6,32389	79,76611
17	PER1003650	<i>Neltuma</i> spp.	6,32547	79,76453
18	PER1003652	<i>Neltuma</i> spp.	6,70768	79,75166
19	PER1003653	<i>Neltuma</i> spp.	6,68556	79,75345
20	PER1003654	<i>Neltuma</i> spp.	6,68611	79,75388
21	PER1003655	<i>Neltuma</i> spp.	6,72718	79,77994
22	PER1003656	<i>Neltuma</i> spp.	6,72612	79,78128
23	PER1003659	<i>Neltuma chilensis</i>	6,619167	79,78994
24	PER1003660	<i>Neltuma limensis</i>	6,619167	79,78994
25	PER1003658	<i>Neltuma alba</i> var, <i>panta</i>	13,55111	72,66671
26	PER1003662	<i>Neltuma purpurea</i>	3,483597	80,38341

Con el objetivo de eliminar el error sistemático inter-operario, la totalidad de las evaluaciones en campo y laboratorio fue ejecutada por un único evaluador entrenado. Finalmente, respecto a la gestión de datos, aquellas observaciones con valores faltantes (NA) derivados del aborto floral natural o de la pérdida mecánica de estructuras anatómicas previas a la evaluación fueron excluidas del análisis multivariado mediante un enfoque de casos completos. Este rigor en el procesamiento de datos garantizó la prevención de distorsiones estadísticas durante la estimación de la diversidad morfológica de la colección.

Análisis de datos. Los datos fueron procesados estadísticamente empleando el programa R (R Core Team versión 3.1, Auckland, Nueva Zelanda). Como primer paso, se realizó un análisis factorial de datos mixtos (AFDM) mediante las herramientas “FactoMineR” (Lê et al., 2008) y “factoextra” (Kassambara y Mundt, 2017), aplicado conjuntamente a los descriptores

cualitativos y cuantitativos, con el objetivo de identificar los caracteres con mayor contribución a la variabilidad del germoplasma. Posteriormente, para los descriptores cuantitativos se calcularon coeficientes de correlación de Spearman con las herramientas “Hmisc” (Harrell, 2022) y “corrplot” (Wei y Simko, 2021), y se aplicaron pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis ($p \leq 0,05$), seguidas de comparaciones múltiples, a fin de determinar qué variables influyeron significativamente en la diferenciación entre accesiones. Finalmente, la estructura del material se evaluó mediante un análisis de conglomerados jerárquicos basado en una matriz de distancias calculada con el coeficiente de Gower y el método de agrupamiento Ward.D2, cuya representación gráfica se elaboró como un dendrograma circular con apoyo de las herramientas *circlize* (Gu et al., 2014) y *dendextend* (Galili, 2015).

Cuadro 2. Descriptores cualitativos en la caracterización agromorfológica de *Neltuma* spp.

Categoría	Abreviatura	Descriptor	FUENTE
Planta	HABCRE	Hábito crecimiento	Adaptado de Joseau <i>et al.</i> (2013)
	DFOLL	Densidad de follaje	Jiménez (2008)
	COLTAL	Color de tallo	Adaptado de Vásquez (2010)
	CORTAL	Corteza de tallo	Adaptado de Vásquez (2010)
	FORESP	Forma de espinas	Burkart (1937)
Espina	COLESP	Color de espinas	INIA (2025)*
	TIPES	Tipo de espinas	Burkart (1937)
	PRES	Presencia de espina	Joseau <i>et al.</i> (2013)
	CURESP	Curva en las espinas	Vilela (1996)
Hoja	FORHOJ	Forma de la hoja	Burghardt (2000)
	APIHO	Ápice de la hoja	Burghardt (2000)
	BAHO	Base de la hoja	Burghardt (2000)
	COLHOJ	Color de la hoja	INIA (2025) *
Flor	TIPINF	Tipo de inflorescencia	Burghardt y Espert (2007)
	NUMFLOINF	Número de flores en inflorescencia	Muchugi <i>et al.</i> (2023)
Fruto	COVA	Color de vaina	Moreno <i>et al.</i> (2021)
	FOVA	Forma de vaina	IBPGR (1982)
	FOBOVA (BFR)	Forma de borde de vaina	Verga <i>et al.</i> (2009)
Semilla	COLSEM	Color de semilla	Zemouri <i>et al.</i> (2020)
	FORSEM	Forma de semilla	IBPGR (1982)
	FORPLESEM	Forma pleurograma en semilla	Leython y Jáuregui (2008)
	PORPLESEM	Porcentaje pleurograma semilla	Leython y Jáuregui (2008)

*Propuestos por INIA.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis factorial de datos mixtos-AFDM. Se realizó el Análisis Factorial de Datos Mixtos (AFDM) debido a la naturaleza mixta de los datos, que incluían variables cualitativas y cuantitativas. Esta metodología permite integrar ambos tipos de caracteres y clasificar las accesiones en clases sintéticas, definidas por patrones conjuntos de variabilidad fenotípica con posible base genética, lo que proporciona una representación conjunta de caracteres agronómicos y morfológicos (Pacheco *et al.*, 2009).

El AFDM reveló que los dos primeros ejes explicaron el 39,9 % de la varianza total, donde la Dim1 representó el 31,8 % y la Dim2 explicó el 8,1 %, siendo la primera la de mayor aporte a la

diferenciación entre accesiones (Figura 3). El gráfico factorial muestra la contribución de cada variable: los tonos cálidos (naranja) reflejan alta contribución, mientras que los tonos fríos (violeta) corresponden a menor impacto.

En la primera dimensión (Dim1) predominaron variables de alta contribución que pueden agruparse en dos categorías principales (Figura 3). Por un lado, destacaron los caracteres de la hoja, tales como el Largo del pecíolo (LARPEC), el Largo del raquis (LARRAQ), el largo de la hoja de media. (LARHOJMED) y el área foliar (ARFOL). Por el otro, sobresalieron los caracteres del árbol, representados por el Hábito de crecimiento (HABCRE), Diámetro de copa (DIACOP), Color de tallo (COLTAL) y Diámetro de planta (DIAPLA). Estos resultados coinciden

Chumbimune et al. Accesiones de *Neltuma* spp. del banco de germoplasma de INIA, Perú

con lo reportado en estudios sobre este género, donde se ha destacado que las características de la morfometría foliar, como el largo de las estructuras de la hoja y el área foliar, son

determinantes para explicar la variabilidad morfológica de estas poblaciones (Joseau *et al.*, 2013; Orquera *et al.*, 2024).

Cuadro 3. Descriptores cuantitativos en la caracterización agromorfológica de *Neltuma* spp.

Categoría	Abreviatura	Descriptor	Fuente
Planta	ENTPLA	Entrenudos de planta	Sivalingam <i>et al.</i> (2011)
	DIAPLA	Diámetro de planta	Brizuela <i>et al.</i> (2007)
	DIACOP	Diámetro de copa	González <i>et al.</i> (2010)
	ALTPLA	Altura de planta	Brizuela <i>et al.</i> (2007)
Espina	LARESP	Largo de espinas	Moreno <i>et al.</i> (2021)
	ANCESP	Ancho de espinas	Moreno <i>et al.</i> (2021)
Hoja	LARPEC	Largo de peciolo	Brizuela <i>et al.</i> (2007)
	DIAPEC	Diámetro de peciolo	INIA (2025) *
	DISHOJMED	Distanciamiento de la hoja media	Adaptado de Brizuela <i>et al.</i> (2007)
	LARHOJMED	Largo de la hoja media	Adaptado de Brizuela <i>et al.</i> (2007)
	ANCHOJMED	Ancho de la hoja media	Adaptado de Brizuela <i>et al.</i> (2007)
	DIAHOJMED	Diámetro de la hoja media	INIA (2025) *
	LARRAQ	Largo del raquis del foliolo	Adaptado de Brizuela <i>et al.</i> (2007)
	DIARRAQ	Diámetro del raquis	INIA (2025) *
	LARPIN	Largo de la pinna	Brizuela <i>et al.</i> (2007)
	NUMHOJ	Número de hojas	Brizuela <i>et al.</i> (2007)
	ARFOL	Área foliar	Verga <i>et al.</i> (2009)
	NUMFOL	Número foliolos	Adaptado de Verga <i>et al.</i> (2009)
Flor	NUDIFLO	Número de días hasta la floración	Bioversity International (2007)
	LARINF	Largo de inflorescencia	Adaptado de Sivalingam <i>et al.</i> (2011)
	LARFLO	Largo de flor	Bioversity International (2007)
	ANCFLO	Ancho de flor	Adaptado de Bioversity International (2007)
Fruto	NDMV	Número de días hasta la maduración de la vaina	Bioversity International (2007)
	LARVA	Largo de vaina	INIA, 2020
	ANVA	Ancho de vaina	INIA, 2020
	ESPVA	Espesor de vaina	INIA, 2020
Semilla	LARSEM	Largo de semilla	Fontana <i>et al.</i> (2015)
	ANCSEM	Ancho de semilla	Fontana <i>et al.</i> (2015)
	INDSEM	Índice de semilla	Fontana <i>et al.</i> (2015)
	PES100SEM	Peso de 100 semillas	Fontana <i>et al.</i> (2015)

*Propuestos por INIA.

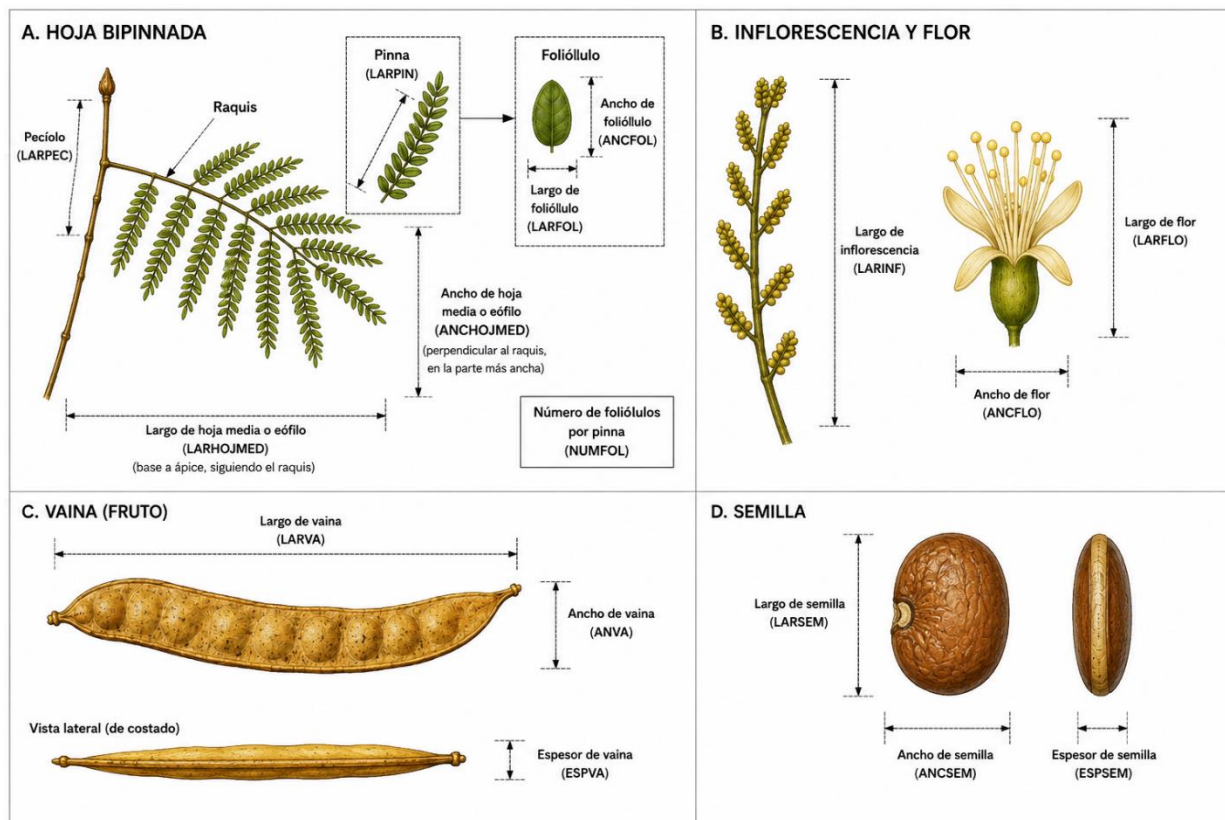


Figura 2. Representación esquemática de los principales caracteres morfológicos evaluados en accesiones de *Neltuma* spp.: (A) hoja bipinnada, (B) inflorescencia y flor, (C) vaina y (D) semilla. Las abreviaturas corresponden a los descriptores empleados en la caracterización agromorfológica. Fuente: elaboración propia con base en las descripciones morfológicas de Burkart (1976) e INIA (2020).

Respecto a la segunda dimensión (Dim2), las variables de mayor contribución (Figura 3) también se agruparon en categorías específicas. En primer lugar, los caracteres de fruto, como el número de días hasta la maduración de la vaina (NDMV). En segundo lugar, los caracteres de la semilla, incluyendo el índice de semilla (INDSEM), que se obtiene de la relación entre largo y ancho. Finalmente, destacaron los caracteres de la flor, representados por el Largo (LARFLO) y el Ancho de la flor (ANCFLO). Esta agrupación es consistente con investigaciones que señalan que la diferenciación entre especies de algarrobo resulta más compleja en ausencia de información reproductiva (flores y frutos) (Trenchard *et al.*, 2008). Por ejemplo, Arshad *et al.* (2005) identificaron variables relacionadas con el fruto como significativas en el primer componente, y variables asociadas al tamaño de la

semilla en el segundo componente. De forma similar, Fontana *et al.* (2015) reportaron una mayor variabilidad en el peso, largo y ancho de la semilla, mientras que Moreno *et al.* (2021) destacaron que las características de la vaina contribuyen sustancialmente a explicar la variación fenotípica.

Análisis de correlación. El análisis de Spearman entre variables cuantitativas evidenció asociaciones positivas y significativas ($r > 0,60$, $p \leq 0,05$) entre caracteres vegetativos (Figura 4). Se resalta la fuerte correlación entre diámetro de planta y altura ($r = 0,88$), y entre diámetro de planta y diámetro de copa ($r = 0,87$), lo que indica que los individuos más altos presentan mayor cobertura aérea. Estos hallazgos son consistentes con reportes en especies del género (Cisneros *et al.*, 2019; López *et al.*, 2024). En descriptores foliares, se observaron correlaciones significativas con el

Chumbimune *et al.* Accesiones de *Neltuma* spp. del banco de germoplasma de INIA, Perú

diámetro, altura y copa ($r = 0,40-0,64$). Además, el largo y ancho del metafoliolo se asociaron estrechamente con el área foliar. También se identificaron correlaciones positivas con largo de vaina y negativas con descriptores florales. Este patrón refleja la plasticidad de las hojas, capaces

de modificar su morfología según las condiciones ambientales (Silva *et al.*, 1999), lo que ha motivado estudios enfocados en morfometría foliar como indicador de variabilidad intraespecífica (Foroughbakhch *et al.*, 2024).

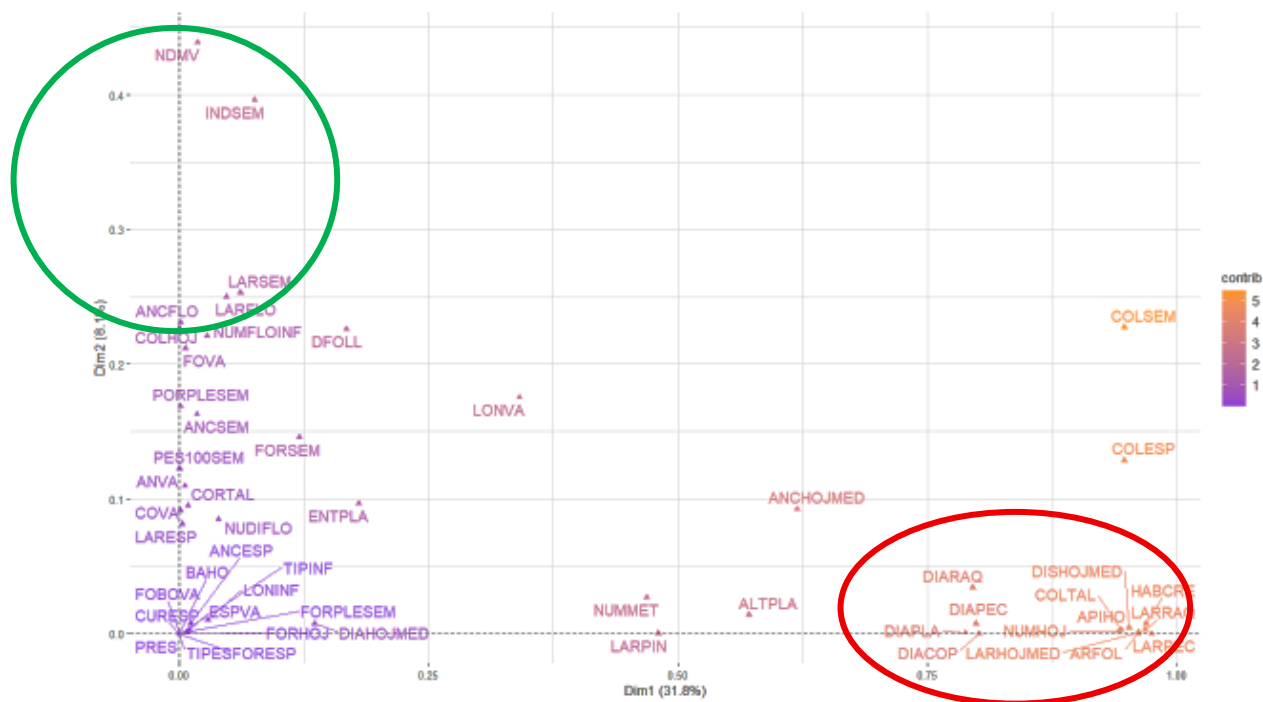


Figura 3. Representación de las variables activas utilizadas en el Análisis Factorial de Datos Mixtos (AFDM) aplicado a 26 accesiones de *Neltuma* spp.

De igual manera, se observó una correlación significativa entre el número de días hasta la floración y el número de días hasta la maduración de las vainas (0,75), resultado similar al encontrado por Vásquez *et al.* (2024) en *Phaseolus* spp. Esto tiene sentido porque son estados fenológicos consecutivos; la marchitez de la flor da lugar a la formación de los frutos (Lazo, 2024). En cuanto a las semillas, se identificaron correlaciones positivas significativas entre el ancho y el largo de las semillas con el peso de 100 semillas, lo cual también fue reportado por Arshad *et al.* (2005) para *P. cineraria* en Pakistán.

En general, aunque se identificaron correlaciones significativas entre algunos caracteres vegetativos, fenológicos y de semilla, la mayoría de las relaciones entre descriptores presentó correlaciones débiles o no significativas. Esto evidencia la complejidad de la variabilidad

fenotípica en *Neltuma* spp., similar a lo descrito por García *et al.* (2022) en *P. laevigata*.

Identificación y caracterización de grupos del germoplasma. El análisis de conglomerados mediante el coeficiente de Gower segregó la colección en tres grupos distintos (Figura 5), un número óptimo validado por el método del codo. El Grupo 1 reunió a la gran mayoría de la población evaluada (22 accesiones). El grupo 2 incluyó tres accesiones (identificadas como *N. limensis*, *N. chilensis* y un genotipo adicional). Finalmente, el grupo 3 estuvo conformado por un único individuo (*N. alba* var. *panta*), que exhibió una divergencia morfológica sustancial frente al resto de la colección. Al contrastar esta agrupación morfológica con el mapa ecogeográfico de procedencia de las accesiones evaluadas, no se observó un patrón de agrupamiento estrictamente geográfico. Este

resultado sugiere que la variación fenotípica observada podría deberse a múltiples factores, además de la procedencia, entre ellos diferencias genéticas entre accesiones y posibles procesos de hibridación previamente descritos para el género. Sin embargo, dado que el presente estudio se basó

exclusivamente en caracteres agromorfológicos y no incorporó marcadores moleculares, estas posibles explicaciones deben considerarse hipótesis que requieren validación mediante estudios genéticos posteriores.

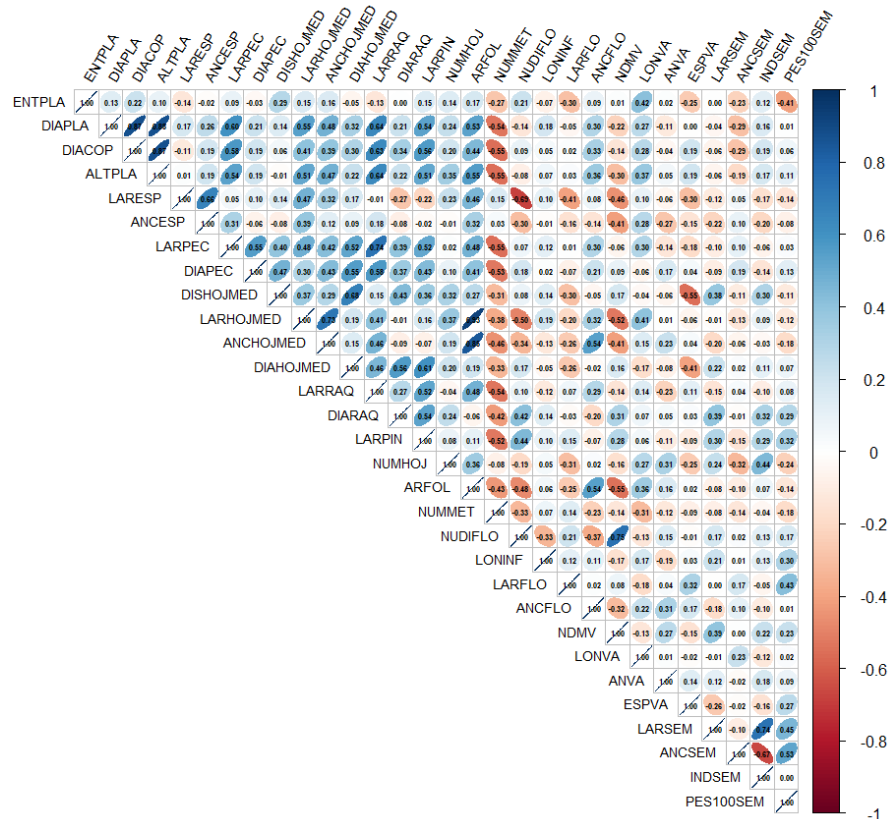
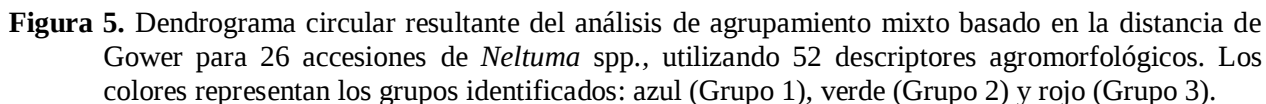


Figura 4. Correlograma de Spearman entre 26 accesiones de *Neltuma* spp., elaborado a partir de 30 variables cuantitativas agromorfológicas (Cuadro 2). Cada celda muestra el coeficiente de correlación (r) entre pares de variables, acompañado de una escala de color que indica la dirección e intensidad de la relación: azul = correlación positiva, rojo = correlación negativa; los colores más intensos corresponden a valores absolutos de r más altos.

A nivel cuantitativo, la prueba de Kruskal-Wallis corroboró la existencia de diferencias altamente significativas entre los grupos formados (Cuadro 4). En relación con la arquitectura de la planta, el Grupo 3 (*N. alba* var. *panta*) registró las magnitudes máximas en el diámetro del tronco (24,54 cm), el diámetro de copa (938,33 cm), la altura total (674 cm) y las dimensiones de las espinas (17,11 mm de largo y 2,8 mm de ancho en la base). Este vigor vegetativo excepcional en sus primeros años coincide con el patrón de crecimiento acelerado descrito por Castillo *et al.* (2022). Respecto a la morfometría foliar, se

constató que la mayoría de los caracteres foliares también presentaron diferencias significativas, destacando nuevamente las dimensiones superiores del Grupo 3.

La única excepción fue el número de foliolo o foliólulos por pinna, el cual se mantuvo constante, una característica anatómica que se alinea con las descripciones clásicas realizadas por Vilela (1996) para *N. alba*. La ubicación anatómica detallada de estos y otros caracteres biométricos evaluados en las estructuras vegetativas y reproductivas (hoja bipinnada, fruto y árbol) se encuentra esquematizada en los Cuadros 2 y 3.



En semillas, “largo” e “índice de semilla” fueron discriminantes: grupo 3=7,01 mm y 1,79; grupo 1=6,27 mm y 1,52; grupo 2=6,13 mm y 1,38. Estos resultados coinciden con Fontana *et al.* (2015), quienes destacaron el largo como carácter clave, y se ubican dentro de lo descrito por Villarreal *et al.* (2013) ($6,97 \pm 0,51$). Sin embargo, solo el grupo 3 superó los índices reportados por Fontana *et al.* (2015) (1,76; 1,73 y 1,64). En contraste, el ancho y peso de 100 semillas no difirieron, contrario a lo señalado por los mismos autores sobre su alta variabilidad.

En conjunto, los resultados evidencian una marcada variabilidad intra e interespecífica en *Neltuma*, aportando información para su conservación y mejoramiento. No obstante, la evaluación se limitó a 26 accesiones y tres años iniciales de desarrollo, lo que resalta la necesidad de incorporar más procedencias, análisis moleculares y evaluaciones prolongadas en futuros estudios.

Cuadro 4. Valores promedios de descriptores de planta, hoja, flor, fruto y semillas para tres grupos conformados por accesiones de *Neltuma* spp. Letras diferentes presentan diferencias estadísticas significativas según la prueba de Kruskal-Wallis ($p \leq 0,05$).

		Grupos			p-valor
Descriptores		1	2	3	
Planta	ENTPLA	2,49 a	2,61 ab	2,78 b	0,03
	DIAPLA	9,10 a	10,81 ab	24,54 b	0,01
	DIACOP	389,55 a	465,33 ab	938,33 b	0,01
	ALTPLA	324,77 a	442,67 ab	674,00 b	0,01
	LARESP	9,60 ab	5,13 a	17,11 b	0,02
	ANCESP	1,53 ab	0,87 a	2,85 b	0,01
Hoja	LARPEC	8,11 a	9,82 ab	27,01 b	0,01
	DIAPEC	0,68 a	0,79 ab	1,72 b	0,02
	DISHOJMED	3,68 a	3,76 a	18,31 b	0,02
	LARHOJMED	4,73 a	4,91 a	28,15 b	0,02
	ANCHOJMED	1,57 a	1,59 ab	3,37 b	0,02
	DIAHOJMED	0,35 a	0,35 a	0,48 b	0,03
	LARRAQ	13,79 a	19,03 ab	136,99 b	0,01
	DIARAQ	0,41 a	0,42 ab	0,85 b	0,02
	LARPIN	14,33 a	33,83 ab	45,48 b	0,02
	NUMHOJ	19,95 a	19,67 a	51,33 b	0,01
	ARFOL	0,08 a	0,07 ab	0,97 b	0,02
	NUMMET	5,00 b	4,33 ab	4,00 a	0,01
Flor	NUDIFLO	1253,00 a	1282,00 ab	1310,00 b	0,04
	LARINF	104,79 a	103,06 a	90,04 a	0,12
	LARFLO	6,82 a	6,87 a	6,53 a	0,18
	ANCFLO	6,82 a	6,87 a	6,53 a	0,20
Fruto	NDMV	1316,00 a	1332,00 a	1351,00 a	0,27
	LARVA	142,45 a	151,85 ab	223,20 b	0,01
	ANVA	15,57 a	11,80 a	13,39 a	0,83
	ESPVA	7,34 a	7,77 a	7,74 a	0,60
Semilla	LARSEM	6,27 a	6,13 a	7,01 b	0,03
	ANCSEM	4,13 a	4,48 a	3,90 a	0,10
	INDSEM	1,52 a	1,38 a	1,79 b	0,01
	PES100SEM	3,65 a	3,78 a	3,60 a	0,07

CONCLUSIONES

El análisis de agrupamiento segregó la colección en tres conglomerados morfológicos. Destaca particularmente el Grupo 3, representado por una única accesión (*N. alba* var. *panta*), la cual exhibió valores significativamente superiores en largo de vaina, tamaño de semilla y vigor vegetativo. Si bien este genotipo individual se perfila como una accesión sobresaliente con un interesante potencial prospectivo, su utilidad en

futuros programas de selección requerirá validaciones a mayor escala. Por su parte, el Grupo 2 (que incluyó a *N. chilensis* y *N. limensis*) presentó características morfológicas intermedias, mientras que el Grupo 1 concentró a la mayoría del germoplasma evaluado con los valores biométricos más bajos. En conjunto, estos resultados evidencian la amplia variabilidad fenotípica conservada en la colección y proporcionan una base agromorfológica sólida para el diseño de estrategias de conservación, uso

sostenible y mejoramiento genético del género *Neltuma*.

LITERATURA CITADA

1. Arshad, M., M. Ashraf y N. Arif. 2005. Morphological Variability of *Prosopis cineraria* (L.) Druce, from the Cholistan Desert, Pakistan. *Genetic Resources and Crop Evolution* 53(8): 1589-1596.
2. Barboza, E., N. Bravo, A. Cotrina, W. Salazar, D. Gálvez, J. Gonzales et al. 2024. Modeling the current and future habitat suitability of *Neltuma pallida* in the dry forest of northern Peru under climate change scenarios to 2100. *Ecology and Evolution* 14(8): e70158.
3. Berdugo, M., M. Delgado, S. Soliveres, R. Hernández, Y. Zhao, J.J. Gaitán et al. 2020. Global ecosystem thresholds driven by aridity. *Science* 367(6479): 787-790.
4. Beresford-Jones, D. y O.Q. Whaley. 2021. *Prosopis* in the history of the coast of Peru. In: P. Felker (ed.). *Prosopis as a Heat Tolerant Nitrogen Fixing Desert Food Legume*. Elsevier. Amsterdam. pp. 95-103
5. Bessega, C., C. Pometti, R. Fortunato, F. Greene, C.M. Santoro y V. McRostie. 2021. Genetic studies of various *Prosopis species* (Leguminosae, Section Algarobia) co-occurring in oases of the Atacama Desert (northern Chile). *Ecology and Evolution* 11(5): 2375-2390.
6. Bioversity International. 2007. Descriptores para Feijão frade ou caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). J. Pedro y A. Alves (trads.). Bioversity International. Rome, Italy.
7. Brizuela, M.M., A.D. Burghardt, S.I. Martínez, D.N. De Panis y R.A. Palacios. 2007. Crecimiento y exomorfología de plántulas de *Prosopis alba* Griseb. y *Prosopis hassleri* Harm en condiciones uniformes de cultivo. *Revista Científica Agropecuaria* 11(1): 15-21.
8. Burghardt, A.D., M.M. Brizuela y R.A. Palacios. 2000. Variabilidad en plántulas de algunas especies de *Prosopis* (Fabaceae): en busca de descriptores morfológicos. *Multequina* 9(1): 23-33.
9. Burghardt, A.D. y S.M. Espert. 2007. Phylogeny of *Prosopis* (Leguminosae) as shown by morphological and biochemical evidence. *Australian Systematic Botany* 20(4): 332-339.
10. Burkart, A. 1937. Estudios morfológicos y etológicos en el género *Prosopis*. *Darwiniana* 3(1): 27-48.
11. Burkart, A. 1976. A monograph of the genus *Prosopis* (Leguminosae subfam. Mimosoideae). *Journal of the Arnold Arboretum* 57: 450-525.
12. Castillo, R. 2022. Actualización del conocimiento de las especies de *Prosopis* (Fabaceae-Mimosoideae) que crecen en Chile. *Revista Chilena de Flora y de Vegetación* 25(1): 11-55.
13. Castillo, M.L., U. Schaffner, B.W. Van Wilgen, N.M. Montaña, R.O. Bustamante, A. Cosacov et al. 2021. Genetic insights into the globally invasive and taxonomically problematic tree genus *Prosopis*. *AoB Plants* 13(1): plaa069.
14. Cisneros, A.B., J.G. Moglia y J.A. Álvarez. 2019. Morfometría de copa en *Prosopis alba* Griseb. *Ciência Florestal* 29(2): 863-884.
15. Duval, V.S. y R. Cámara-Artigas. 2021. Diversidad y captura de carbono en un bosque secundario de caldén (*Prosopis caldenia*) en La Pampa, Argentina. *Estudios Geográficos* 82(291): e073.
16. ENFEN (Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño). 2024. Comunicado Oficial ENFEN N.º 01-2024. Instituto del Mar del Perú. Lima, Perú.
17. Fernández, M.C., V. Aschero, J.E. Chaar, N.S. Naves, J.A. Alvarez y P.E. Villagra. 2023. Variabilidad morfológica de las vainas y propiedades nutricionales de la harina de *Prosopis flexuosa* en el gradiente latitudinal del Monte, Argentina. *Bosque (Valdivia)* 44(1): 127-135.
18. Fontana, M.L., V.R. Pérez y C.V. Luna. 2015. Influencia de la procedencia geográfica sobre los parámetros morfométricos de semillas de *Prosopis alba*. *Multequina*, 24(1): 33-45.
19. Fontana, M.L., V.R. Pérez y C.V. Luna. 2018. Características evolutivas en *Prosopis* spp.:

- citogenética, genética e hibridaciones. *Rodriguésia* 69(2): 409-421.
20. Foroughbakhch Pournavab, R., M. Ngangyo Heya, E.A. Castillo González, A. Rocha Estrada, L.R. Salas Cruz y M.A. Alvarado Vázquez. 2024. Leaf Architecture in the Morphological Diversity of the Genus *Prosopis* in the Semi-Desert Area of Northeastern Mexico. *Diversity* 16(6): 351.
 21. Galili, T. 2015. Dendextend: An R package for visualizing, adjusting and comparing trees of hierarchical clustering. *Bioinformatics* 31(22): 3718-3720.
 22. García, L., G.J. Labrada-Delgado, E. Montalvo-González y S. Loza-Cornejo. 2022. Caracteres morfométricos y anatómicos de frutos y semillas de una población de *Prosopis laevigata* (Fabaceae) en Lagos de Moreno, Jalisco, México. *Acta Botánica Mexicana* 129: e2057.
 23. González-Rodríguez, H., R.G. Ramírez-Lozano, I. Cantú-Silva, M.V. Gómez-Meza y J.I. Uvalle-Sauceda. 2010. Composición y estructura de la vegetación en tres sitios del estado de Nuevo León, México. *Polibotánica* 29: 91-106.
 24. Gu, Z., L. Gu, R. Eils, M. Schlesner y B. Brors. 2014. circlize implements and enhances circular visualization in R. *Bioinformatics* 30(19): 2811-2812.
 25. Harrell, F.E. Jr. 2022. Hmisc: Harrell miscellaneous. R package 4. 7-1. CRAN. <https://CRAN.R-project.org/package=Hmisc>
 26. Hughes, C.E., J.J. Ringelberg, G.P. Lewis y S.A. Catalano. 2022. Disintegration of the genus *Prosopis* L. (Leguminosae, Caesalpinioideae, mimosoid clade). *PhytoKeys* 205: 147-189.
 27. IBPGR (International Board for Plant Genetic Resources). 1982. *Phaseolus vulgaris* descriptors. International Board for Plant Genetic Resources. Rome, Italy. 32 p.
 28. INIA (Instituto Nacional de Innovación Agraria). 2020. Manual técnico para la conservación y propagación de especies de algarrobo (*Prosopis* spp.). INIA. Lima, Perú.
 29. Jiménez-González, O.E. 2008. Índice de confort de la vegetación. Nodo: Arquitectura. Ciudad. *Medio Ambiente* 3(5): 49-70.
 30. Joseau, M.J., A.R. Verga, M. Del Pilar Díaz y N.B. Julio. 2013. Morphological Diversity of Populations of the Genus *Prosopis* in the Semiarid Chaco of Northern Córdoba and Southern Santiago Del Estero. *American Journal of Plant Sciences* 4(11): 2092-2111.
 31. Kassambara, A. y F. Mundt. 2017. Factoextra: Extract and visualize the results of multivariate data analyses. R package.
 32. Lazo Clemente, J.I. 2024. Fenología de seis especies forestales en el Santuario Histórico Bosque de Pómac-Lambayeque. Tesis de pregrado. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú.
 33. Lê, S., Josse, J. y F. Husson. 2008. FactoMineR: An R package for multivariate analysis. *Journal of Statistical Software* 25(1): 1-18.
 34. Leython, S. y D. Jáuregui. 2008. Morfología de la semilla y anatomía de la cubierta seminal de cinco especies de *Calliandra* (Leguminosae-Mimosoideae) de Venezuela. *Revista de Biología Tropical* 56(3): 1075-1086.
 35. López, L.L., M.C. Cañete y V.R. Pérez. 2024. Morfometría de copa de *Neltuma alba* (Griseb.) en plantaciones jóvenes de Formosa, Argentina. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú* 21(48): 39-47.
 36. MINAM (Ministerio del Ambiente). 2019. Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú. Memoria descriptiva. MINAM. Lima, Perú.
 37. Montano, M.E., C.A. Durán y C. Duarte. 2022. Destrucción del Bosque Seco Tropical en el Valle Geográfico del Río Cauca. *Historia Ambiental Latinoamericana y Caribeña (HALAC) Revista de la Solcha* 12(3): 287-324.
 38. Moreno-Contreras, M.G., T.S. Herrera-Flores, E. M. Licea-de Anda, A. A. Arratia-Castro y A. Medina-Haro. 2021. Diversidad morfológica del mezquite (*Prosopis* spp.) en la región de Pénjamo, Guanajuato, México. *Entreciencias Diálogos En la Sociedad del Conocimiento* 9(23): 1-17.
 39. Muchugi, A., J. Hanson, E. Habte, Y. Sime, A. Alemayehu, A. Alercia, A.L. Cerutti y F. Lopez. 2023. Key descriptors for fodder trees. International Livestock Research Institute.

Chumbimune et al. Accesiones de *Neltuma* spp. del banco de germoplasma de INIA, Perú

- Addis Ababa, Ethiopia; Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.
40. Orquera, R.M., L. Marinori y J.M. Zabala. 2024. Caracterización morfológica de poblaciones de *Neltuma alba* en el sur de su distribución en Argentina. In XXXVIII Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia, Entre Ríos, Argentina.
 41. Pacheco, C.A., C.H.M. Vergara y G.A. Ligarreto. 2009. Clasificación de 85 accesiones de arveja (*Pisum sativum* L.), de acuerdo con su comportamiento agronómico y caracteres morfológicos. *Agronomía Colombiana* 27(3): 323-332.
 42. Prokopiuk, D., G. Cruz, N. Grados, O. Garro y A. Chiralt. 2000. Estudio comparativo entre frutos de *Prosopis alba* y *Prosopis pallida*. *Multequina* 9(1): 35-45.
 43. Roa, T.V., C.C. Calvache-Sánchez, A.B. Rivera, S.S.M. Benavides y P. Carvajal. 2022. Interacción entre murciélagos frugívoros y plantas en el Bosque seco Tropical del Valle del Cauca, Colombia. *Biota Colombiana* 24(1): e1078.
 44. Rosales-Islas, E., D. Barrera-Tello, A. Sánchez-González, D.M. Galván-Hernández, S. Hernández-León y P. Octavio-Aguilar. 2023. Caracterización morfológica y genética de las poblaciones de *Abies* en Hidalgo, México: importancia de la identidad taxonómica para el aprovechamiento forestal. *Botanical Sciences* 101(2): 417-434.
 45. Salazar, P., G. Mendieta-Leiva, R.M. Navarro-Cerrillo, G. Cruz, N. Grados y R. Villar. 2021. An ecological overview of *Prosopis pallida*, one of the most adapted dryland species to extreme climate events. *Journal of Arid Environments* 193: 104576.
 46. SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología). 2021. Climas del Perú: Mapa de Clasificación Climática Nacional. SENAMHI. Lima, Perú.
 47. SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología). 2025. 2024 se convierte en el año más cálido registrado en el Perú. SENAMHI. Lima, Perú.
 48. Silva, H., J.P. Martínez, C. Baginsky y M. Pinto. 1999. Efecto del déficit hídrico en la anatomía foliar de seis cultivares de poroto *Phaseolus vulgaris*. *Revista Chilena de Historia Natural* 72: 219-235.
 49. Sivalingam, P.N., D.K. Samadia, D. Singh, H. K. Chandal, H. Khan y S.K. Sharma. 2011. Characterization of *Prosopis cineraria* (L.) Druce germplasm with suitable horticultural traits from the hot arid region of Rajasthan, India. *Genetic Resources and Crop Evolution* 58(7): 1095-1103.
 50. Trenchard, L.J., P.J.C. Harris, S.J. Smith y N.M. Pasiecznik. 2008. A review of ploidy in the genus *Prosopis* (Leguminosae). *Botanical Journal of the Linnean Society* 156(3): 425-438.
 51. Towanou, H., G.D.S.J. Charlemagne, O. Christine y S. Nestor. 2015. Morphological Variability of *Prosopis Africana* (Guill., Perrott. Et Rich.) Taub in Benin, West Africa. *American Journal of Plant Sciences* 6(7): 1069-1079.
 52. Van Zonneveld, M., E. Thomas, N.P. Castañeda-Álvarez, V. Van Damme, C. Alcazar, J. Loo y X. Scheldeman. 2018. Tree genetic resources at risk in South America: A spatial threat assessment to prioritize populations for conservation. *Diversity and Distributions* 24(6): 718-729.
 53. Vásquez, J., N.C. Vilca-Valqui, R. Malqui, E. Fernández, E. Duarez y R. Ayala. 2024. Caracterización agromorfológica de accesiones de *Phaseolus* spp., en la región amazonas, Perú. *Bioagro* 36(2): 129-142.
 54. Vásquez-Núñez, L., J. Ecurra-Puicón y A. Huamán-Mera. 2010. Los algarrobos del Perú. INCAGRO-Escuela de Postgrado UNPRG. Lambayeque, Perú.
 55. Vega, C., D. Aguilar, C. Bessega, I. Teich, M. C. Acosta, A. Cosacov et al. 2021. Genetic Variation Patterns of “Algarrobos” from the “Great American Chaco” (*Prosopis alba*, *P. nigra*, *P. hassleri*, *P. fiebrigii*, *P. ruscifolia*, *P. chilensis*, and *P. flexuosa*). In: M.J. Pastorino y P. Marchelli (eds.). *Low Intensity Breeding of Native Forest Trees in Argentina*. Springer. Cham. pp. 245-269.
 56. Verga, A., D. Lauenstein-López, C. López, M. Navall, J. Joseau, C. Gómez et al. 2009. Caracterización morfológica de los algarrobos

- (*Prosopis* sp.) en las regiones fitogeográficas Chaqueña y Espinal norte de Argentina. Quebracho - Revista de Ciencias Forestales 17(1): 31-40.
57. Vilela, A.E. 1996. Morfología y anatomía foliar de especies sudamericanas del género *Prosopis* (Leguminosae-Mimosoideae): un enfoque adaptativo. Biblioteca Digital FCEN-UBA. Universidad de Buenos Aires. 206 p.
58. Villarreal-Garza, J.A., A. Rocha-Estrada, M. Cárdenas-Ávila, S. Moreno-Limón, M. González-Álvarez y V. Vargas-López. 2013. Caracterización morfométrica, viabilidad y germinación de semillas de mezquite y huizache en el noreste de México. Phytom (Buenos Aires) 82(2): 169-174.
59. Wei, T. y V. Simko. 2021. corrplot: Visualization of a correlation matrix. R package version 0.92. CRAN. <https://CRAN.R-project.org/package=corrplot>
60. Zemouri, Z., A. Djabeur, N. Frimehdi, O. Khelil y M. Kaid-Harche. 2020. The seed diversity of Carob (*Ceratonia siliqua* L.) and the relationship between seeds color and coat dormancy. Scientia Horticulturae 274: 109679.