



DESCRPTORES DE PLÁNTULA Y NUEVO AGRUPAMIENTO DEL GERMOPLASMA DE *TARA SPINOSA* DE LA REGIÓN CAJAMARCA, PERÚ

Seedling descriptors and new grouping of the *Tara spinosa* germoplasm from the Cajamarca region, Peru

Jim J. Villena-Velásquez^{1*}, Alejandro Seminario-Cunya¹, Sergio Soto-Sánchez², Miguel A. Valderrama-Cabrera³ & Juan F. Seminario³

Resumen: *Tara spinosa* (Molina) Britton & Rose (Fabaceae), conocida como “tara” o “taya”, probablemente oriunda del Perú, crece desde el nivel de mar hasta los 3000 m s.n.m., y es importante por los taninos y la goma contenidos en sus vainas y semillas, respectivamente. Los objetivos fueron definir y validar los descriptores morfológicos de la plántula y caracterizar el germoplasma de “tara” de la región Cajamarca (58 entradas de nueve provincias) integrando descriptores de fruto, semilla y plántula. Se identificaron siete descriptores de plántula altamente discriminantes, siendo los del cotiledón los más importantes. La caracterización del germoplasma de “tara” de Cajamarca con 18 descriptores integrados (seis de fruto, cinco de semilla y siete de plántula) permitió un nuevo agrupamiento, en siete grupos, lo que indica estrecha variabilidad (86% de duplicados).

Palabras clave: *Caesalpinia spinosa*, descriptores, plántulas, “tara”, “taya”.

Summary: *Tara spinosa* (Molina) Britton & Rose (Fabaceae), known as “tara” or “taya”, probably native to Peru, grows from sea level to 3000 m a.s.l., and is important for the tannins and gum contained in its pods and seeds, respectively. The objectives were to define and validate morphological seedling descriptors and to characterize “tara” germplasm from the Cajamarca region (58 entries from nine provinces) by integrating fruit, seed and seedling descriptors. Seven highly discriminating seedling descriptors were identified, with cotyledon descriptors being the most important. Characterization of “tara” from Cajamarca germplasm with 18 integrated descriptors (six fruit, five seed and seven seedling) allowed a new clustering, in seven groups, indicating close variability (86% duplicates).

Key words: *Caesalpinia spinosa*, descriptors, seedlings, “tara”, “taya”.

Introducción

Tara spinosa (Molina) Britton & Rose (Gagnon *et al.*, 2013; Gagnon *et al.*, 2016; IPNI, 2023) es una especie probablemente originaria del Perú, donde se conoce principalmente, como “tara” o “taya”. En otros países se conoce

como “guarango” y “dividivi” (Villena & Seminario, 2021). Esta planta es valiosa, desde el punto de vista económico, principalmente, por los taninos y la goma presentes en sus vainas y semillas, respectivamente. Las características morfológicas proporcionan información sobre el impacto de los fenómenos

¹ Universidad Nacional Autónoma de Chota-UNACH. Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, Facultad de Ciencias Agrarias, Jr. José Osoreo 418, Chota, Perú. E-mail: jairovillenasvelasquez@gmail.com

² Universidad Nacional de Cajamarca (UNC). Escuela Profesional de Ingeniería Forestal. Av. Atahualpa N° 1050, Cajamarca, Perú.

³ Programa de Raíces y Tubérculos Andinos, Universidad Nacional de Cajamarca (UNC), Av. Atahualpa 1050, Cajamarca-Perú.

ambientales y genéticos en las plantas y particularmente en las forestales (Cervantes *et al.*, 2016; Tamošaitis *et al.*, 2021). Por lo tanto, la descripción de la variabilidad, basada en características morfológicas clave, es un paso crucial para el proceso de mejoramiento y uso del germoplasma, puesto que, los morfotipos pueden tener respuestas diferentes a las condiciones ecológicas y de manejo (Leakey, 2019; Salako *et al.*, 2019; Gbèdomèdji *et al.*, 2022). Los estudios sobre variabilidad morfológica en *Tara spinosa* han seguido enfoques divergentes y no han permitido esclarecer el nivel de variación en el Perú, donde es más abundante este recurso (Bonilla *et al.*, 2016). La caracterización morfológica es importante para establecer programas de mejora genética y selección de variedades, para identificar características morfológicas favorables, vinculadas a factores ambientales, como primer paso en el mejoramiento de especies forestales (Dah *et al.*, 2016; Hounkpèvi *et al.*, 2016; Gbèdomèdji *et al.*, 2022). Las evaluaciones de Villena *et al.* (2019) sobre frutos y semillas de *Tara spinosa* silvestre, permitieron identificar descriptores morfológicos, con los cuales se describieron siete morfotipos, en 56 entradas de la región Cajamarca (Perú), denominados como: MI, MII, MIII, MIV, MV, MVI y MVII. Posteriormente, Villena & Seminario (2021) reportaron dos nuevos morfotipos (MVIII y MIX), representados por las entradas E57 (Santa Apolonia, Cajamarca) y E58 (Chancay Baños, Santa Cruz) y sumando en total 58 entradas. Sin embargo, los descriptores propuestos tienen aplicabilidad limitada al fruto y la semilla, siendo necesario observar las características de la plántula, en donde podrían presentarse variaciones discriminantes.

Los estudios sistemáticos comparativos que utilizan caracteres de plántulas son escasos, probablemente, debido a que requieren la siembra y observación de múltiples materiales y porque, los especímenes de plántulas están mínimamente representados en los herbarios. Desde el punto de vista florístico, los caracteres morfológicos de las plántulas permiten identificar taxones en etapas tempranas de desarrollo, porque pueden presentar descriptores cualitativos

discriminantes (Schütz *et al.*, 2019). En Leguminosae, las investigaciones sobre morfología de las plántulas han permitido la determinación de grupos en diferentes niveles taxonómicos (Abozeid *et al.*, 2017) y los rasgos de los estadios de plántula, como el hipocótilo, el epicótilo y los primeros eófilos, son los que muestran variaciones importantes (Tillich, 2007; Schütz *et al.*, 2019). Dentro de estos estadios, la longitud relativa, la forma y la superficie del hipocótilo; los tipos, las formas y el tamaño de los cotiledones; los caracteres de los entrenudos; la filotaxis de las dos primeras hojas; el ápice de las dos primeras hojas y de las hojas subsiguientes son usadas para distinguir los taxones investigados en diferentes niveles taxonómicos (Dias de Freitas *et al.*, 2014; Hartmann & Rodrigues, 2015; Abozeid *et al.*, 2017). Así fue demostrado en *Aeschynomene americana* L., *A. evenia* C. Wright, *A. filosa* Mart. ex Benth., *A. fluminensis* Vell., *A. pratensis* Small, *A. rudis* Benth., *A. sensitiva* Sw. (Schütz *et al.*, 2019) y, en especies del género *Trigonella* L. (Abozeid *et al.*, 2017). En el contexto descrito, la presente investigación tuvo como objetivos: 1) definir y probar los descriptores morfológicos de plántula de “tara” de la región Cajamarca y; 2) caracterizar germoplasma de “tara” de la región Cajamarca, con descriptores de fruto, semilla y plántula, integrados.

Materiales y Métodos

Definición de descriptores de plántula y descripción de la plántula de “tara”

Se usaron semillas de nueve entradas (E20, E28, E31, E37, E42, E45, E47, E57 y E58), representativas de los nueve morfotipos definidos en un estudio previo, con 58 entradas de la región Cajamarca (Fig. 1), y con descriptores de fruto y semilla (Villena *et al.*, 2019; Villena & Seminario, 2021). El poder germinativo varió entre 51% (E58, de Chancay Baños) y 92% (E20, de Celendín) y el promedio fue de 81% [DS (desvío estándar) = 13,9%; CV (coeficiente de variación) = 17,2%]. Antes de la siembra, las semillas fueron escarificadas mediante un pequeño corte en un extremo apical, para permitir la

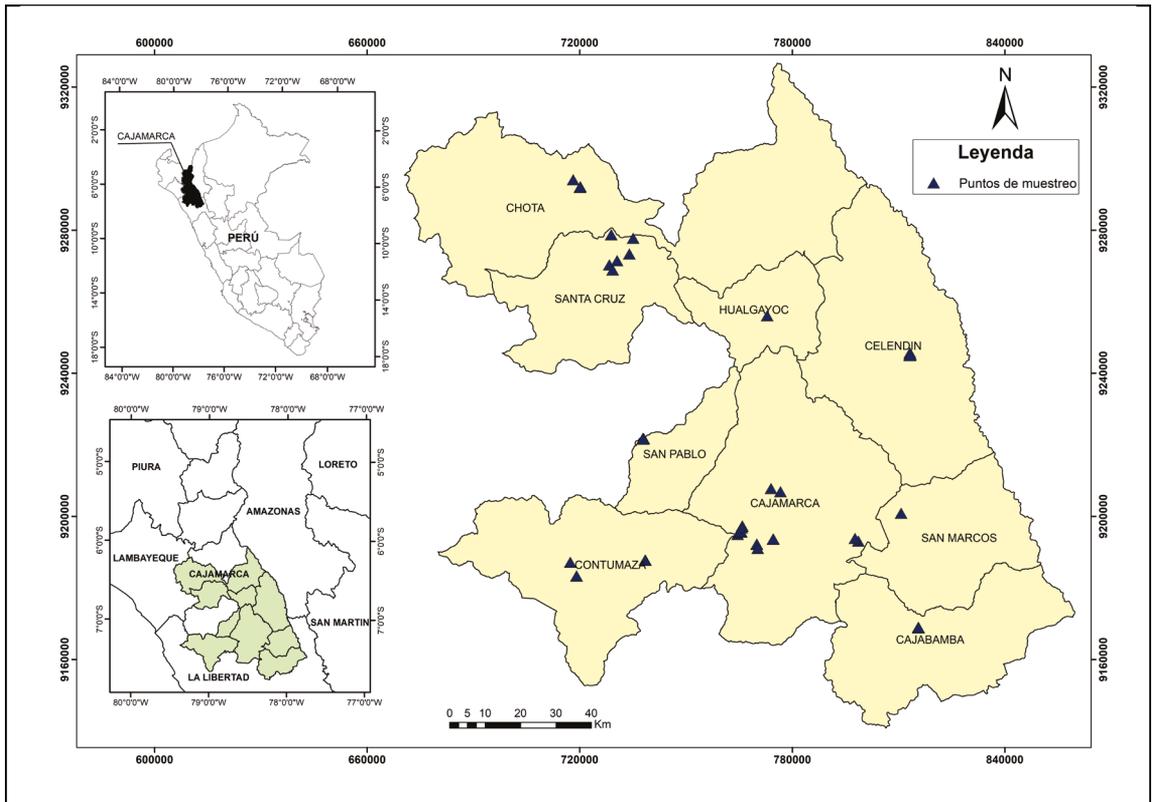


Fig. 1. Distribución geográfica de las 58 entradas de “tara”, de nueve provincias de la Región Cajamarca, utilizadas en el estudio.

imbibición y, se remojaron durante 24 horas, a temperatura ambiente (Das, 2014; Guerrero *et al.*, 2016).

Se muestrearon 58 árboles silvestres de *T. spinosa*, de 22 localidades, en 15 distritos de nueve provincias de la región Cajamarca (Fig. 1); de los cuales, se colectaron 50 frutos por árbol, haciendo un total de 2900 frutos y 1450 semillas caracterizados (25 semillas/árbol). Se sembraron 25 semillas de cada entrada, en bolsas de polietileno negro de 1 kg de capacidad, llenas con sustrato hasta 85% de su capacidad. El sustrato estuvo compuesto de tierra agrícola, turba y arena en la proporción 3:2:1 y fue desinfectado mediante solarización durante dos días. Después de la emergencia se observaron las plántulas periódicamente, con atención en sus aspectos morfológicos, tomando nota de las semejanzas y diferencias entre entradas y de este modo, se seleccionaron y definieron los descriptores (nombres y

definiciones) y sus estados (nombres, definiciones y códigos) (Ramírez & Goyes, 2004; Moreno *et al.*, 2022), siguiendo los procedimientos establecidos por Crisci & López (1983) y Palacio *et al.* (2020). Los colores se determinaron utilizando la *Colour Chart* de la The Royal Horticultural Society (RHS, 1995). Se priorizaron los caracteres cualitativos (observables a simple vista), porque son más estables y de alta heredabilidad (Villena *et al.*, 2019; Pfennig, 2021). Las observaciones se realizaron en el momento en que los órganos de las plántulas estaban totalmente expuestos. El producto de esta primera etapa fue una lista de descriptores, en una primera aproximación, con sus respectivos estados, que involucraban los estadios de cotiledón, protófilo y metafílo. Estos descriptores seleccionados se aplicaron a 25 plántulas, siguiendo el procedimiento antes descrito. En esta etapa se descartaron los caracteres que no presentaron variación y

se obtuvo una lista mejorada de descriptores. Con la aplicación de los descriptores definidos y otras observaciones generales, se describió la plántula de “tara” hasta el estado de metáfilo.

Validación de los descriptores de plántula definidos

Para comprobar la pertinencia y eficiencia de la lista de descriptores antes definida, se aplicaron a una muestra de cinco plántulas por cada entrada, de los nueve morfotipos identificados por Villena *et al.* (2019) y Villena & Seminario (2021), con descriptores de fruto y semilla; y se realizaron análisis de agrupamiento de datos y componentes principales (ACP) (Villena *et al.*, 2019; Zhu *et al.*, 2020; Palacio *et al.*, 2020; Gbèdomèdji *et al.*, 2022). Los datos de caracterización se registraron en una matriz básica de datos (MBD) realizada en Excel (versión 2010). Esta matriz contiene en las columnas los descriptores y en las filas la identificación de las entradas; de modo que, en la intersección de la columna (descriptor) y la fila (entrada) se registró el estado correspondiente a ese descriptor y para cada entrada.

La información de la MBD, fue exportada y analizada mediante el lenguaje de programación R y el algoritmo k-means (medias) el cual generó un fenograma de *clusters* o grupos, según la similitud morfológica, basado en la distancia euclidiana promedio entre las entradas (Kassambara & Mundt, 2020; Vega *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2024). Es decir, permitió identificar materiales morfológicamente diferentes y los duplicados. Luego, se realizó el ACP, con el propósito de seleccionar los caracteres más discriminantes y con mayor aporte a la variación del material en estudio (Kassambara, 2019; Tamošaitis *et al.*, 2021).

Caracterización de germoplasma de “tara” de Cajamarca con descriptores de fruto, semilla y plántula, integrados

Se realizó la caracterización, integrando los descriptores aquí definidos y los descriptores de fruto y semilla definidos previamente por Villena *et al.* (2019) y Villena & Seminario (2021). De este modo, se obtuvo una MBD basada en 18 descriptores: seis de fruto, cinco de semilla y siete de plántula. Se siguieron los

procedimientos descritos en el acápite anterior y se obtuvo un fenograma de agrupamiento de las entradas, según el grado de similitud. Además, se realizó el ACP, para determinar la contribución de estos descriptores a la variación total.

Resultados

Descriptores morfológicos para plántulas de “tara” y descripción de la plántula

Aplicada la lista de descriptores a plántulas, desde la germinación hasta el estadio de metáfilo (Fig. 3), se encontraron diferencias principalmente en el estadio de cotiledón y en los estadios de protófilo y metáfilo. La lista estandarizada de descriptores y sus estados (y la forma de la toma de los datos), para plántulas de “tara”, quedó definida con cuatro de cotiledón, dos de protófilo y uno de metáfilo, como se describen a continuación.

Descriptores de cotiledón

Se registraron cuando los cotiledones estaban expuestos totalmente y antes de la emergencia del primer par de hojas verdaderas: Forma de lámina del cotiledón (FLC): obovada elíptica, oblonga redondeada y reniforme (Fig. 2A-C).

Ápice de lámina del cotiledón (ALC): redondeado, emarginado (Fig. 2D-E).

Margen de lámina del cotiledón (MLC): entero, ondulado (Fig. 2F-G).

Relación largo/ancho de los cotiledones (L/Ac): las medidas se registraron en cotiledones totalmente expuestos, en cinco plántulas. El largo se tomó desde la base del cotiledón, hasta el ápice. El ancho se tomó en posición transversal al largo y en el punto de mayor amplitud.

1 Baja ($< 0,76$ cm)

3 Intermedia ($\geq 0,76 \leq 1,12$ cm)

5 Alta ($> 1,12$ cm)

Descriptores de protófilo

Color del haz del protófilo (CHP)

1 Verde (144A)

3 Verde (138A)

Color del envés del protófilo (CEP)

- 1 Verde (138A)
- 3 Verde con pigmentación púrpura grisáceo (138A-185A)

Descriptores de metáfilo

Color del haz del metáfilo (CHM).

- 1 Verde (144A)
- 3 Verde (138A)

Según estos descriptores de plántula y otras características generales (Fig. 3), una plántula de “tara” en la etapa de metáfilo presenta los cotiledones con lámina obovada elíptica, oblonga redondeada o reniforme; ápice redondeado, con margen ondulado o entero; haz y envés de color verde (138A); de 1 a 3,5 cm de largo y 1 a 2,7 cm de ancho. El hipocótilo es cilíndrico de superficie glabra y de color blanco a amarillo verdoso, en diferentes tonalidades (145B, 149D y 138B), de 2,4 a 5,4 cm de largo. El epicótilo es de color verde (144A-138A), con pigmentación púrpura grisáceo en dos tonalidades (184C y 185A),

de 0,2 a 1 cm de largo. El protófilo es pinnado con dos o tres pares de folíolos, opuestos o ligeramente alternos. La lámina de los folíolos es elíptica, de base más ancha que el ápice, el ápice es acuminado o uncinado, la base es oblicua y el margen entero. El haz es de color verde (138A) y el envés verde o verde con pigmentación púrpura grisáceo (185A), bordes de color púrpura grisáceo (185A), nervadura central de color verde (138A), retinervada; de 1 a 2,8 cm de largo y de 0,6 a 1,8 cm de ancho. Pecíolo de 1 a 2,5 cm de largo. El protófilo maduro mide de 2 a 5,5 cm de largo y de 1,5 a 4 cm de ancho. El metáfilo tiene la misma forma que el protófilo y mide de 1,8 a 7 cm de largo y de 1,6 a 9 cm de ancho.

Análisis de agrupamiento

El fenograma generado (Fig. 4), muestra la variabilidad morfológica en los primeros estadios de crecimiento de la plántula de “tara”. Al coeficiente de distancia de 0,00 (que implica máxima similitud), la variabilidad morfológica

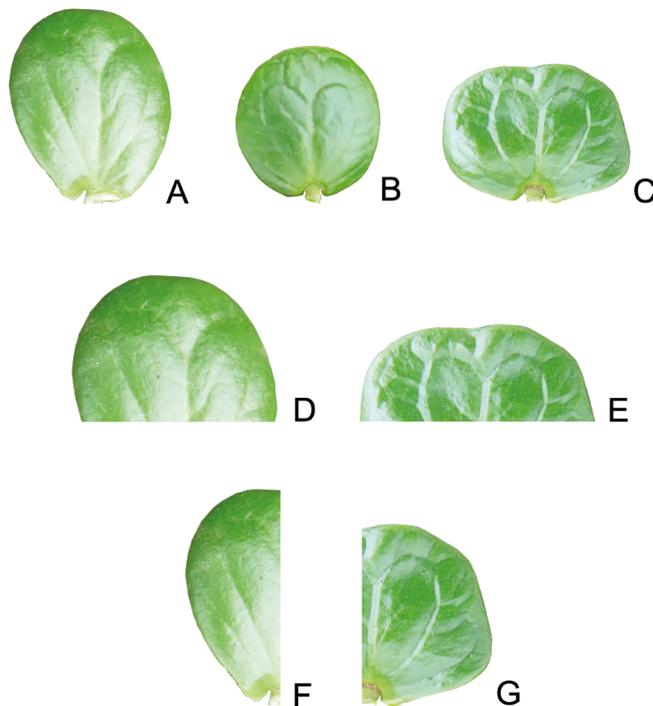


Fig. 2. Descriptores del cotiledón. Forma de lámina del cotiledón (FLC), A: Obovada elíptica. B: Oblonga redondeada. C: Reniforme. Ápice de lámina del cotiledón (ALC), D: Redondeado. E: Emarginado. Margen de lámina del cotiledón (MLC), F: Entero. G: Ondulado.

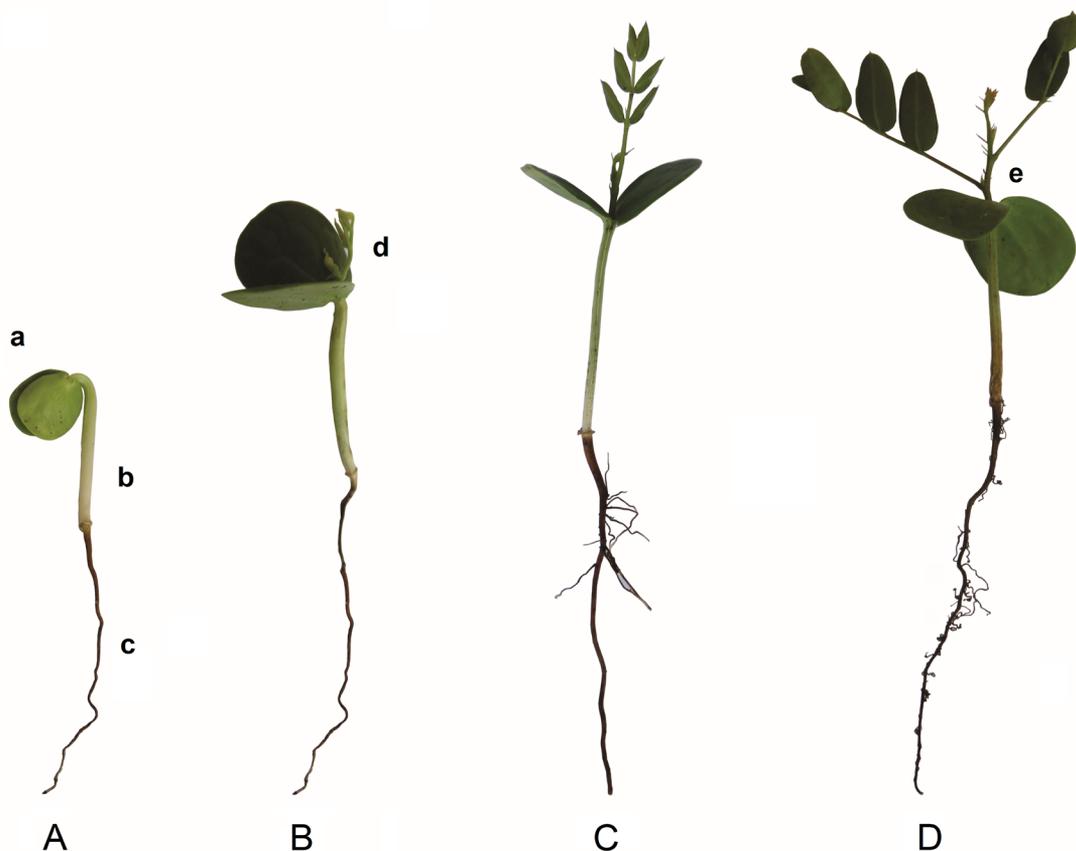


Fig. 3. Plántula de *Tara spinosa*. A: Estadio de germinación completa (16 días). B: Estadio cotiledonar (24 días). C: Estadio de protófilo (34 días). D: Estadio de metáfilo (45 días). Referencias: a. Cotiledones, b. Hipocótilo, c. Raíz, d. Plúmula, e. Epicótilo.

de los materiales evaluados (nueve entradas), consta de cuatro grupos; es decir 44,4% de entradas presentan caracteres morfológicos de plántula similares. Considerando el coeficiente de distancia de 7,0 se generan cuatro grupos: G1, conformado por la entrada E47; G2 compuesta por la entrada E58, G3 constituido por E57, G4 agrupa a E28, E20, E31, E45, E37 y E42.

Las entradas E47 (G1) “Globosa”, E58 (G2) “Titán” y E57 (G3) “Enana” se destacan porque se separan del resto en cualquier coeficiente de distancia (Fig. 4), lo que indica que estos morfotipos son únicos y completamente diferentes en la morfología y color de plántula. Además, son los únicos casos en donde, el agrupamiento con caracteres de plántula coincide con el agrupamiento con caracteres de fruto y semilla (Villena *et al.*, 2019). La entrada E47,

se distribuye exclusivamente en el distrito y provincia de Cajamarca, y es probable que esta diferenciación se deba a su evolución bajo aislamiento y adaptación a condiciones ambientales específicas, que le ha permitido convertirse en un fenotipo único (Chen *et al.*, 2021).

Análisis de componentes principales (ACP)

Los dos primeros componentes (CP) contribuyen con 61,49% de la variación y hasta el tercer componente, se explica el 74,45% de la variación (Tabla 1). El CP1 expresa el 41,03% de la variación entre entradas y está asociado a cuatro caracteres del cotiledón (forma, ápice, margen y relación L/Ac, forma de vaina, apariencia superficial de vaina, amplitud da vaina, relación L/Av y ubicación del hilo). El

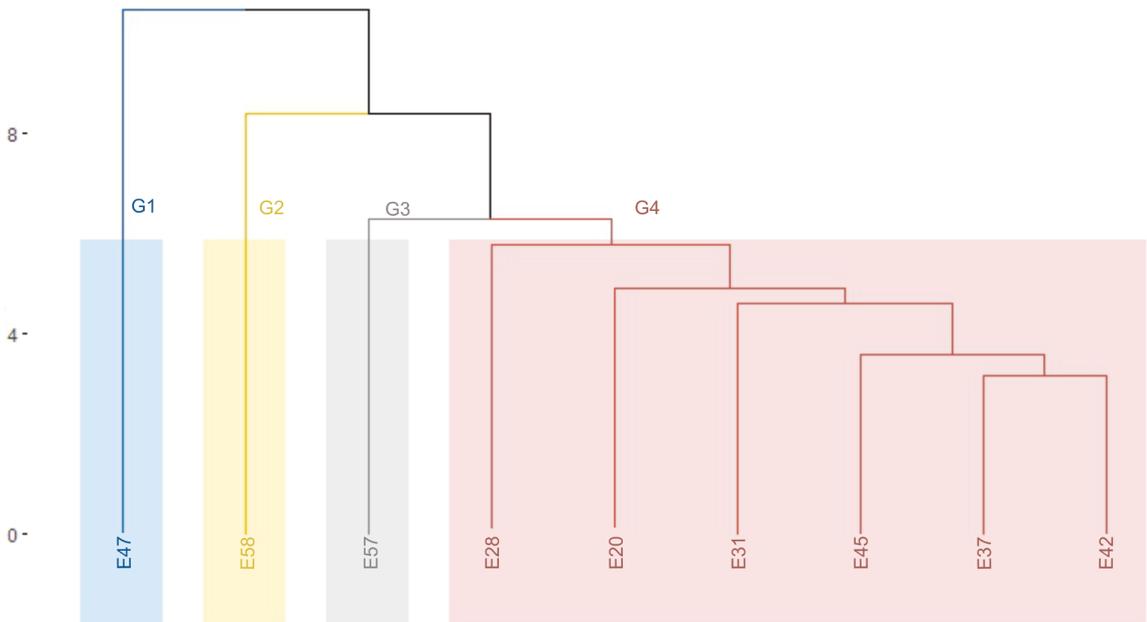


Fig. 4. Fenograma que agrupa nueve entradas de *Tara spinosa*, de nueve provincias de Cajamarca, caracterizadas con siete descriptores morfológicos de plántula, mediante el algoritmo k-medias, basado en la distancia euclidiana

CP2 explica 20,46% de la variación total y está ligado a los caracteres: color del haz del protófilo (0,80), color envés del protófilo (0,76) y color del haz del metáfilo (0,76) y color de vaina opuesto al sol (-0,66). El 12,97% de dicha variación, lo explica el CP 3, asociado al color de vaina del lado del sol (0,89) y forma de la semilla (0,64). Estos resultados sugieren la necesidad de realizar la caracterización con la integración de descriptores de plántula, fruto y semilla, como se muestra a continuación.

Caracterización de germoplasma de “tara” de Cajamarca con descriptores integrados de fruto, semilla y plántula.

Análisis de agrupamiento

En el fenograma (Fig. 5) se observa que al coeficiente de distancia 0,00 (de máxima similitud), el germoplasma en estudio consta de 39 grupos o morfotipos, de los cuales, 29 están constituidos por una sola entrada. Es decir, a este nivel, 46,5% de entradas son duplicadas. Al coeficiente de distancia de 7,00 se identificaron siete grupos. Este agrupamiento se considera el más conveniente para discriminar las entradas,

debido a que los morfotipos diferenciados son observables a simple vista y reconocibles en campo. A estos morfotipos se les asignó un nombre para su identificación dentro de la base de datos, siguiendo la nomenclatura usada por Villena *et al.* (2019) (Tabla 2). Tres grupos (G2, G4 y G6) están constituidos cada uno por entradas únicas (E58, E47 y E57, respectivamente). Los grupos G1 y G5 son los grupos más grande, con 23 y 19 entradas respectivamente. Es decir, a este nivel, 72,41% de entradas son duplicadas. Estos materiales son de amplia distribución geográfica, en nueve provincias de la región Cajamarca. El grupo G7 reúne entradas correspondientes a los morfotipos Ista (L/As), Jancos (L/Av) y Barbada (presencia de pelos glandulares en vaina), siendo esta última reportada solo para Celendín.

Análisis de componentes principales (ACP)

El análisis muestra el valor discriminante de 18 caracteres morfológicos probados en 58 entradas de “tara” (Tabla 3). Los cinco primeros componentes principales (15 descriptores) acumulan 75,79% de la variación total. Existe una contribución de los descriptores de plántula (7), vaina (6) y semilla (2).

Tabla 1. Características morfológicas asociadas a los tres primeros componentes principales de nueve entradas de *Tara spinosa*, según siete descriptores morfológicos de plántula.

Componentes principales	Caracteres	Coeficiente de correlación	Valor propio	Proporción de varianza total explicada	
				Absoluta (%)	Acumulada (%)
CP1	FLC	0,834	7,38	41,03	41,03
	ALC	0,858			
	MLC	0,858			
	L/Ac	-0,834			
	FV	0,721			
	ASV	0,932			
	AV	0,799			
	L/Av	0,59			
	UH	0,858			
CP2	CHP	0,763	3,68	20,46	61,49
	CHM	0,763			
	CL/Sombra	-0,66			
CP3	C L/Sol	0,896	2,33	12,97	74,45
	FS	0,643			
	TV	0,57			

Nota: FLC: Forma de lámina de cotiledón, ALC: Ápice de cotiledón, MLC: Margen de lámina de cotiledón, L/A c: Relación: largo/ancho de cotiledón, FV: forma de vaina, ASV: Apariencia superficial de vaina, AV: Ancho de vaina, L/Av: Relación largo - ancho de vaina, UH: Ubicación del hilo, CHP: Color de haz del protófilo, CHM: Color haz del metafílo, C L/Sombra: Color lado de sombra, C L/Sol: Color lado del sol, FS: Forma de semilla, TV: Tamaño de vaina.

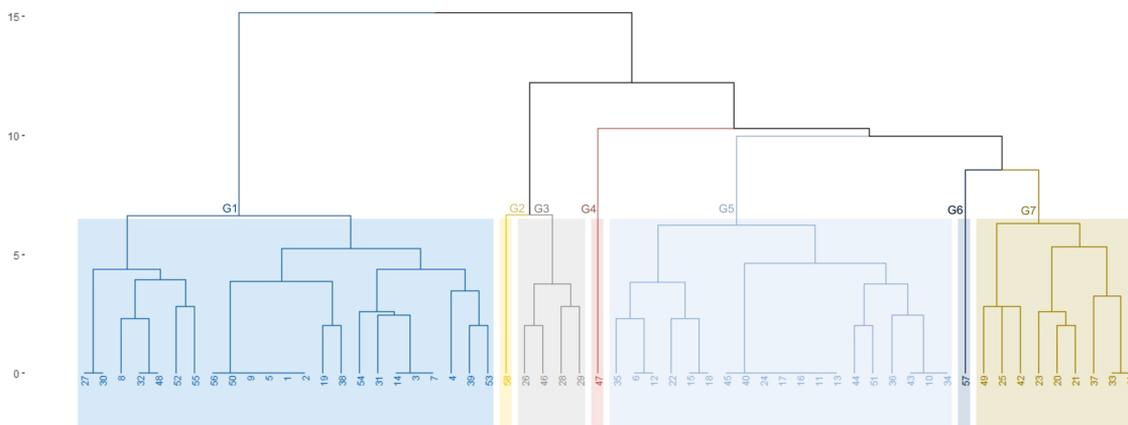


Fig. 5. Agrupamiento de 58 entradas de *Tara spinosa* de la región Cajamarca, mediante el algoritmo k-medias, basado en la distancia euclidiana promedio y caracterizadas con 18 descriptores morfológicos.

Tabla 2. Agrupamiento de morfotipos de 58 entradas de “tara” de la región Cajamarca, discriminados mediante 18 descriptores cualitativos de fruto, semilla y plántula.

Código Morfotipo	Morfotipos	Entradas	%	Distribución geográfica
M1	Roja	27, 30, 8, 32, 48, 52, 55, 56, 50, 9, 5, 1, 2, 19, 38, 54, 31, 14, 3, 7, 4, 39, 53	39,66	Cajamarca, Cajabamba, Celendín, Chota, Hualgayoc, San Marcos, San Pablo, Santa Cruz
M2	Titán	58	1,72	Santa Cruz
M3	Gigante	26, 28, 29, 46	6,90	Cajamarca
M4	Globosa	47	1,72	Cajamarca
M5	Blanca	6, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 22, 24, 34, 35, 36, 40, 43, 44, 45, 51	32,76	Cajamarca, Cajabamba, Celendín, Contumazá, San Pablo, Santa Cruz
M6	Enana	57	1,72	Cajamarca
M7	Barbada, Ista, Blanca, Jancos, Roja	49, 25, 42, 23, 20, 21, 37, 33, 41	15,52	Cajamarca, Celendín, Contumazá, San Pablo

En el biplot de los dos primeros ejes del ACP con 18 descriptores integrados de plántula, vaina y semilla (Fig. 6), se observa que FLC y ASV están estrechamente correlacionadas, asimismo, están correlacionadas negativamente con L/Ac. Similar comportamiento se observa en la correlación (positiva) entre CHP y CHM. También, la correlación es positiva entre MLC, UH y ALC, pero es negativa entre L/As, CS y PG. Finalmente, se puede corroborar que los descriptores que más aportan a la

discriminación del material vegetativo son ALC, UH, MLC, FLC, CHP, CHM, L/Ac, FV, FS y L/Av.

Propuesta de identificación de morfotipos

Se seleccionaron 15 descriptores de acuerdo al ACP, los que se refieren a características de vaina (7), semilla (2) y plántula (6). Con estos descriptores (Tabla 3) se elaboró la siguiente clave dicotómica, que permite identificar nueve morfotipos.

Clave para el reconocimiento de morfotipos

- | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1. Forma de cotiledón reniforme. Semilla trapezoidal, con hilo basal lateral. “Globosa”</p> <p>1'. Forma de cotiledón no reniforme</p> <p>2. Semilla obovada globosa y con hilo basal central</p> <p>3. Semilla obovada globosa, aplanada en un costado. “Enana”</p> <p>3'. Semilla obovada globosa, no aplanada en un costado</p> <p>4. Forma de lámina obovada elíptica. “Gigante”</p> <p>4'. Forma de lámina oblonga redondeada</p> <p>5. Relación largo ancho de semilla</p> | <p>6. Alta con vaina intermedia. ... “Ista”</p> <p>6'. Intermedia con vaina intermedia. “Blanca”</p> <p>5'. Relación largo ancho de vaina</p> <p>7. Intermedia con semilla intermedia. Roja”</p> <p>7'. Baja con semilla intermedia. ... “Jancos”</p> <p>2'. Semilla obovada aplanada y con hilo basal central</p> <p>8. Vaina con pelos glandulares. “Barbada”</p> <p>8'. Vaina sin pelos glandulares. “Titán”</p> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Tabla 3. Caracteres morfológicos asociados a los cinco primeros CP de siete grupos de *Tara spinosa*, según 15 descriptores morfológicos.

Componentes principales	Caracteres	Coeficiente de correlación	Valor propio	Proporción de varianza total explicada	
				Absoluta (%)	Acumulada (%)
CP1	FLC	0,7742	4,88	27,12	27,12
	ALC	0,8801			
	MLC	0,8801			
	L/A c	-0,7742			
	ASV	0,7874			
	UH	0,8801			
CP2	CHP	-0,644	3,25	18,08	45,21
	CHM	-0,6437			
	FV	0,6209			
CP3	CEP	-0,8151	2,59	14,40	59,61
	CL/Sol	0,7189			
	CL/Sombra	0,7654			
CP4	PG	0,7157	1,63	9,08	68,69
	FS	0,6373			
CP5	RPS	0,648	1,27	7,09	75,79

Nota: FLC: Forma de lámina de cotiledón, ALC: Ápice de cotiledón, MLC: Margen de lámina de cotiledón, L/A c: Relación largo/ancho de cotiledón, ASV: Apariencia superficial de vaina, UH: Ubicación de hilo, L/AV: Relación largo/ancho de vaina, L/As: Relación largo/ancho de semilla, CHP: Color haz de protófilo, CEP: Color envés protófilo, CHM: Color haz de metafílo, CL/Sol: Color de vaina del lado al sol, CL/Sombra: Color de vaina del lado a la sombra, FS: Forma de semilla, PG: Presencia de pelos glandulares

Discusión

Los caracteres de las plántulas no se han tomado en cuenta en gran parte de los estudios taxonómicos y de variabilidad intraespecífica, sin embargo, son importantes porque permiten identificar diferencias en estadios juveniles, sin necesidad de esperar la floración y fructificación (Abozeid *et al.*, 2017). Los descriptores de plántula definidos y validados en este estudio, cumplen con los propósitos y estándares requeridos -pertinencia y eficiencia-, son observables a simple vista, fáciles de registrar, altamente

discriminatorios y permiten diferenciar cluster o grupos en el germoplasma. Su aplicación en el germoplasma de la región Cajamarca, discriminó siete grupos, en vez de nueve grupos identificados anteriormente con la aplicación de descriptores de fruto y semilla (Villena *et al.*, 2019; Villena & Seminario, 2021). Por otro lado, los dos primeros CP expusieron el 45,2% de la variación total y los caracteres del cotiledón tuvieron la contribución más alta. El uso de estos caracteres discriminantes permite la descripción más clara de la plántula de “tara”. Estos resultados concuerdan con los encontrados por Schütz *et al.* (2019) quienes

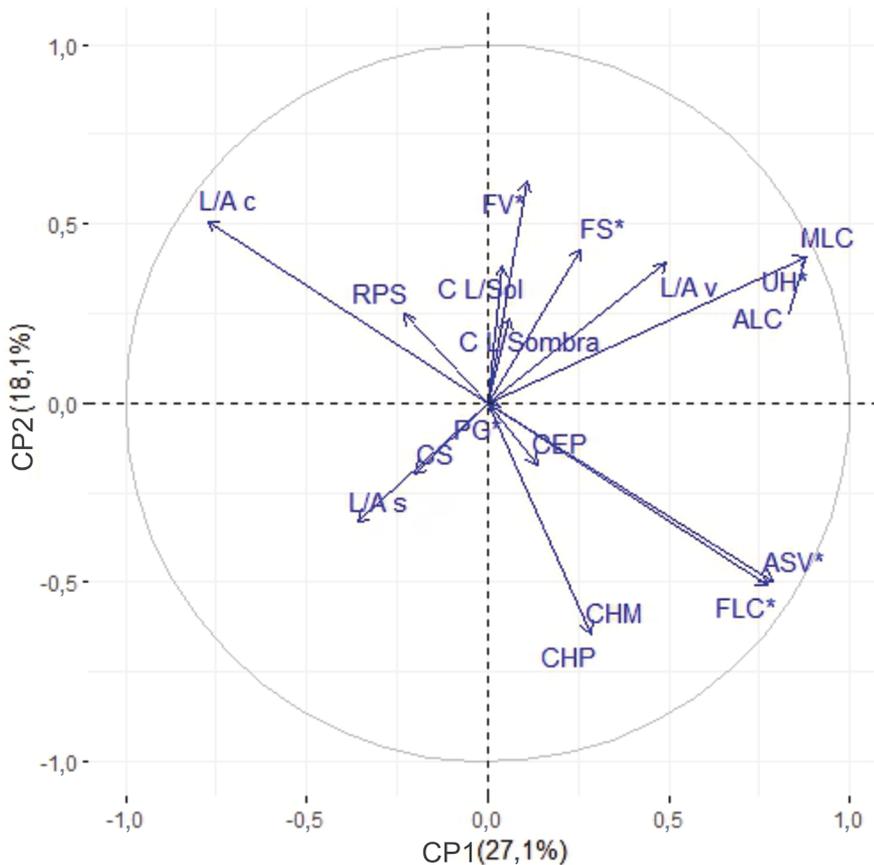


Fig. 6. Biplot del Análisis de Componentes Principales considerando 18 descriptores integrados de plántula, vaina y semilla en 58 entradas de “tara” de la región de Cajamarca.

observaron diferencias a nivel de plántula en el hipocótilo, los cotiledones, epicótilo y los eófilos en *Aeschynomene americana* L., *A. fluminensis* Vell., *A. filosa* Mart. ex Benth., *A. evenia* C. Wright, Abozeid *et al.* (2017) en *Trigonella anguina* Delile, *T. arabica* Delile, *T. balansae* Boiss. & Reut, *T. coerulescens* (M. Bieb.) Halácsy, *T. corniculata* (L.) L., *T. cretica* (L.) Boiss., *T. foenum-graecum* L. y *T. grandiflora* Bunge, Ferreira & Barbosa (2015) en *Caesalpinia echinata* Lam., Joseau *et al.* (2013) en *Prosopis chilensis* (Molina) Stuntz, *P. alba* Griseb, *P. flexuosa* DC., *P. nigra* (Griseb.) Hieron. y Burghardt *et al.* (2000) en *P. strombulifera* (Lam.) Benth.

La caracterización de los materiales en estudio mediante la aplicación de los descriptores integrados de fruto, semilla y

plántula, resulta eficiente, los discrimina y agrupa mejor, diferenciando menos morfotipos (siete) que cuando se aplica solo descriptores de fruto y semilla -nueve morfotipos- (Villena *et al.*, 2019; Villena & Seminario, 2021). Es necesario aplicar estos descriptores en materiales de “tara” de otros ámbitos, para probar su pertinencia. Los morfotipos Barbada, Ista, Blanca, Jancos, Roja identificados por Villena *et al.* (2019), formaron un solo grupo (G7). El morfotipo G2 (“Titán”) se separa por el color del haz del protófilo y del metáfilo, y tamaño de vaina, G3 (“Gigante”) por la forma de los cotiledones, G4 (“Globosa”) se diferencian del resto de morfotipos por sus características de fruto, semilla y cotiledón, mientras que G6 (“Enana”) por la forma de semilla. Se resalta que G7 incluyó la

entrada E20, que se caracteriza por presentar pelos glandulares en la superficie de la vaina (muy visibles en estado verde y caedizos a la madurez), colectada en la provincia de Celendín. Los grupos G2, G3, G4 y G6 probablemente exclusivos de Cajamarca, es decir, ya que sus caracteres diferenciales no fueron reportados en otras regiones del Perú, como en los estudios de Balaguer et al. (2011); Neri et al. (2018); Sangay & Duponnois (2018); Cordero *et al.* (2021). Tampoco, se han registrado en Ecuador (Narváez *et al.*, 2010); Núñez *et al.*, 2017; Núñez Ramos *et al.*, 2021), y en Bolivia (Canelas, 2013). El grupo G4, presenta cotiledones reniformes, solo se colectó en la provincia de Cajamarca. El grupo G3, se caracteriza por presentar el tamaño de vaina más grande (17,3 cm), de metáfilo verde (144A), colectado en la localidad de Chancay Baños, provincia de Santa Cruz, Cajamarca.

La caracterización del germoplasma de “tara” con descriptores de fruto, semilla y plántula permite una mejor visión de la variabilidad intraespecífica y debe ser la base para el estudio de otras características morfológicas (altura de planta, tamaño y forma de copa) y químicas (contenido de taninos y goma) y su relación con la calidad de sitio forestal. Así, se ha demostrado relaciones importantes entre las características del suelo y del clima con las características morfométricas en poblaciones naturales y agroforestales (Villena *et al.*, 2022; Murga *et al.*, 2023), sin embargo, sería importante el estudio de estas relaciones, en función de los morfotipos identificados.

Conclusiones

Se identificaron y validaron siete descriptores cualitativos para caracterizar y agrupar germoplasma de “tara” en el estadio de plántula, de los cuales, los referidos al cotiledón tienen especial relevancia. La integración de 18 descriptores morfológicos (seis de fruto, cinco de semilla y siete de plántula), permitió identificar siete morfotipos en el germoplasma de “tara” de la Región Cajamarca (58 entradas, de nueve provincias), lo que significa que existe estrecha variabilidad

en el germoplasma regional. La aplicación de los descriptores de cotiledón, fruto y semilla, permite una primera aproximación a la variación del germoplasma en estudio. Este agrupamiento debe compararse con la caracterización molecular, para una visión más completa sobre la variación. Tres morfotipos (“Barbada”, “Globosa” y “Titán”) aquí identificados probablemente son endémicos de esta región. La lista de 18 descriptores integrados (de fruto, semilla y plántula), constituye una herramienta importante para el estudio de la variabilidad morfológica de la “tara” de modo global, como base para el mejor aprovechamiento del recurso.

Agradecimientos

Expresamos nuestro agradecimiento a la Estación Experimental Baños del Inca del Instituto Nacional de Innovación Agraria, por las facilidades para realizar las evaluaciones de campo (emergencia, repique y crecimiento de plántulas). A los agricultores Reinaldo Perales Aguinaga, Elmer Montenegro Vega y Américo Arribasplata Ishpilco, por la donación de las muestras para el estudio, a Marco Zafra Villena por la elaboración del mapa de ubicación.

Bibliografía

- ABOZEID, A., TURKI, Z., EL-SHAYEB, F. & TANG, Z. (2017). Embryo and seedling morphology of some *Trigonella* L. species (Fabaceae) and their taxonomic importance. *Flora* 230: 57-65. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2017.02.026>
- BALAGUER, L., ARROYO-GARCÍA, R., JIMÉNEZ, P., JIMÉNEZ, M. D., VILLEGAS, L., CORDERO, I., DE CASAS, R. R., FERNÁNDEZ-DELGADO, R., RON, M. E., MANRIQUE, E., VARGAS, P., CANO, E., PUEYO, J. J. & ARONSON, J. (2011). Forest restoration in a fog oasis: Evidence indicates need for cultural awareness in constructing the reference. *PLoS ONE* 6(8): e23004. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023004>
- BONILLA, H., LÓPEZ, A., CARBAJAL, Y. & SILES, M. (2016). Morphometric analysis in “tara” fruits from Yauyos and Ayacucho to identify traits of agromorphological interest. *Scientia Agropecuaria* 7: 157-164. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.03.01>

- BURGHARDT, A. D., BRIZUELA, M. M. & PALACIOS, R. A. (2000). Variabilidad en plántulas de algunas especies de *Prosopis* L. (Fabaceae): En busca de descriptores morfológicos. *Multequina* 9: 23-33.
- CANELAS, G. (2013). Validación de un descriptor de tara *Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze de los valles interandinos de Bolivia. Tesis de pregrado Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia. 71 pp.
- CERVANTES, E., MARTÍN, J. J. & SAADAOU, E. (2016). Updated methods for seed shape analysis. *Scientifica* 5691825: 1-10. <https://doi.org/10.1155/2016/5691825>
- CHEN, R., RAN, J., HU, W., DONG, L., JI, M., JIA, X., LU, J., GONG, H., AQEEL, M., YAO, S., AN, L., HE, J. S., NIKLAS, K. J. & DENG, J. (2021). Effects of biotic and abiotic factors on forest biomass fractions. *National Science Review* 8: nwab025. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwab025>
- CORDERO, I., JIMÉNEZ, M. D., DELGADO, J. A., BALAGUER, L., PUEYO, J. J. & RINCÓN, A. (2021). Local adaptation optimizes photoprotection strategies in a Neotropical legume tree under drought stress. *Tree Physiology* 41: 1641-1657. <https://doi.org/10.1093/TREEPHYS/TPAB034>
- CRISCI, J. & LÓPEZ, M. (1983). Introducción a la teoría y práctica de la taxonomía numérica. Secretaría de la Organización de Estados Americanos (OEA).
- DAH, D., ADOUKONOU, H., NAFAN, D., ADJANOHOON, A., NOUMAVO, P. A., SINA, H., DAUDA, B. O. & BABAMOUSA, L. (2016). Morpho-agronomic variability of three kola trees accessions [*Cola nitida* (Vent.) Schott et Endl., *Cola acuminata* (P. Beauv.) Schott et Endl., and *Garcinia kola* Heckel] from Southern Benin. *Genetic Resources and Crop Evolution* 63: 561-579. <https://doi.org/10.1007/s10722-015-0362-z>
- DAS, N. (2014). The effect of seed sources variation and presowing treatments on the seed germination of *Acacia catechu* and *Elaeocarpus floribundus* species in Bangladesh. *International Journal of Forestry Research* 214: 984194. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1155/2014/984194>
- DIAS DE FREITAS, A. D., MARTINS LEÃO, N. V., RAIMUNDA, DE VILHENA POTIGUARA, C., SOUZA REIS, A. & VENICIO SOUSA, D. (2014). Caracterização morfológica do fruto, semente e desenvolvimento pós-seminal de *Aspidosperma spruceanum* Benth. ex Mull. Arg. (Apocynaceae). *Centro Científico Conhecer - Goiânia* 10: 863-873.
- FERREIRA, R. & BARBOSA, S. (2015). Caracterização morfológica de frutos, sementes, plántulas e mudas de Pau-Brasil. *Revista Árvore* 39: 505-512. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000300011>
- GAGNON, E., BRUNEAU, A., HUGHES, C. E., DE QUEIROZ, L. & LEWIS, G. P. (2016). A new generic system for the pantropical *Caesalpinia* group (Leguminosae). *PhytoKeys* 71: 1-160. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.71.9203>
- GAGNON, E., LEWIS, G. P., SOLANGE SOTUYO, J., HUGHES, C. E. & BRUNEAU, A. (2013). A molecular phylogeny of *Caesalpinia* sensu lato: Increased sampling reveals new insights and more genera than expected. *South African Journal of Botany* 89: 111-127. <https://doi.org/10.1016/J.SAJB.2013.07.027>
- GBÈDOMÈDJI, A., FANDY, H., ADOMOU, A. C. & YÉDOMONHAN, H. (2022). Influence of morphological characteristics of fruits and provenances on seedling emergence and early growth in *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. and *Detarium senegalense* J. F. Gmel. (Fabaceae) in Benin. *Heliyon* 8: e10945. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10945>
- GUERRERO, R., LOMBARDI, I., GONZALES, H., SERRUDO, C. & CALDERÓN, A. (2016). Determinación de la viabilidad de semilla de *Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze y su correlación con el contenido de goma y tanino. *Revista Forestal del Perú* 31: 69-80.
- HARTMANN, L. D. S. & RODRIGUES, R. S. (2015). Morfologia de plántulas de *Ormosia smithii* Rudd e sua relevância sistemática em *Ormosia* (Leguminosae, Papilionoideae). *Boletim Do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais* 10: 279-288. <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v10i2.487>
- HOUNKPÈVI, A., AZIHO, A. F., KOUASSI, É. K., POREMBSKI, S. & GLÈLÈ KAKAÏ, R. (2016). Climate-induced morphological variation of black plum (*Vitex doniana* Sw.) in Benin, West Africa. *Genetic Resources and Crop Evolution* 63: 1073-1084. <https://doi.org/10.1007/s10722-016-0409-9>
- IPNI. (2023). International Plant Names Index. Published on the Internet <http://www.ipni.org>, The Royal Botanic Gardens, Kew, Harvard University Herbaria & Libraries and Australian National Herbarium (Consulta 03/2023).
- JOSEAU, M. J., VERGA, A. R., PILAR DÍAZ, M. DEL & JULIO, N. B. (2013). Morphological diversity of populations of the genus "*Prosopis*" in the semiarid Chaco of Northern Cordoba and Southern Santiago Del Estero. *American Journal of Plant Sciences* 04: 2092-2111. <https://doi.org/10.4236/ajps.2013.411261>

- KASSAMBARA, A. (2019). Practical guide to principal component methods in R: Multivariate analysis (Edition 1). Statistical tools for high-throughput data analysis.
- KASSAMBARA, A. & MUNDT, F. (2020). Factoextra: Extract and visualize the results of multivariate data analyses. In CRAN- R Package.
- LEAKEY, R. R. B. (2019). From ethnobotany to mainstream agriculture: socially modified *Cinderella* species capturing ‘trade-ons’ for ‘land maxing’. *Planta* 250: 949-970. <https://doi.org/10.1007/s00425-019-03128-z>
- MORENO, S. O., UPTON, J. L., MONSALVO, V. S. & CASAS, M. J. (2022). Repetibilidad de características útiles como descriptores morfológicos en clones de *Cedrela odorata* L. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 13: 4-32.
- MURGA-ORRILLO, H., ABANTO-RODRIGUEZ, C., FERNANDES, L., DIONISIO, S., CHU-KOO, F. W., SCHWARTZ, G., BUSTAMANTE, E. N., STEWART, P. M., SANTOS, R., AMORIM, S., VOURLITIS, G. L., LOBO, F. D. A. & BARDALES-LOZANO, R. M. (2023). Tara (*Caesalpinia spinosa*) in natural and agroforestry systems under an altitudinal gradient in the peruvian Andes : responses to soil and climate variation. *Agronomy* 13: 1-17. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/agronomy13020282>
- NARVÁEZ, A., CALVO, A. & TROYA, A. M. (2010). Las poblaciones naturales de la tara (*Caesalpinia spinosa*) en el Ecuador: una aproximación al conocimiento de la diversidad genética y el contenido de taninos por medio de estudios moleculares y bioquímicos. En BARRIONUEVO M. DE LOS A. & G. MEDINA (eds.), Serie Investigación y Sistematización No. 7. Programa Regional ECOBONA-INTERCOOPERATION, Laboratorio de Biotecnología Vegetal Escuela de Ciencias Biológicas Pontificia Universidad Católica del Ecuador PUCE. Quito.
- NERI, J., COLLAZOS, R., OLIVA, M., HUAMÁN HUAMAN, E. & VÁSQUEZ GARCÍA, J. (2018). Aplicación de la escarificación física y mecánica en la emergencia y crecimiento de semillas de tara (*Caesalpinia spinosa*). *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable* 2: 45. <https://doi.org/10.25127/aps.20182.392>
- NÚÑEZ, J., QUIALA, E., DE FERIA, M., MESTANZA, S., GÓMEZ KOSKY, R., CUADRADO, F., & LEIVA MORA, M. (2017). Establecimiento de un banco clonal de *Caesalpinia spinosa* (Mol.) O. Kuntz mediante selección de árboles plus e injerto. *Biotecnología Vegetal* 17: 41-49.
- NÚÑEZ, J., QUIALA, E., POSADA, L., MESTANZA, S., SARMIENTO, L., DANIELS, D., ARROYO, C. R., NARANJO, B., VIZUETE, K., NOCEDA, C. & GÓMEZ-KOSKY, R. (2021). Morphological and physiological responses of tara (*Caesalpinia spinosa* (Mol.) O. Kuntz) microshoots to ventilation and sucrose treatments. *In Vitro Cellular & Developmental Biology* 57: 1-14. <https://doi.org/10.1007/s11627-020-10104-w>
- PALACIO, F. X., APODACA, M. J. & CRISCI, J. V. (2020). Análisis multivariado para datos biológicos: Teoría y su aplicación utilizando el lenguaje R. 1° Ed. Buenos Aires, Argentina.
- PFENNIG, D. W. (2021). Phenotypic plasticity & evolution: Causes, consequences, controversies (First edit). CRC Press. Taylor & Francis Group, LLC. <https://doi.org/10.1201/9780429343001>
- RAMÍREZ, B., & GOYES R. (2004). Generalidades, morfología y anatomía de plantas superiores (1° Edición). Editorial Universidad del Cauca, Colombia.
- SALAKO, V. K., KÉGBÉ, A. M., CHADARÉ, F. J., KAFOUTCHONI, K. M., AMAGNIDÉ, A., GBEDOMON, R. C., ASSOGBADJO, A. E., AGBANGLA, C. & GLÈLÈ KAKAÏ, R. (2019). Potential for domestication of *Borassus aethiopum* Mart., a wild multipurpose palm species in Sub-Saharan Africa. *Genetic Resources and Crop Evolution* 66: 1129-1144. <https://doi.org/10.1007/s10722-019-00777-7>
- SANGAY, S. & DUPONNOIS, R. (2018). Ecological characteristics of Tara (*Caesalpinia spinosa*), a multipurpose legume tree of high ecological and commercial value. *Agricultural Research Updates* 22: 189-208.
- SCHÜTZ, R., DA SILVA HARTMANN, L. & SILVA FLORES, A. (2019). Seedling morphology of some Brazilian taxa of *Aeschynomene* (Leguminosae) and its systematic relevance. *Flora* 255: 69-79. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2019.04.002>
- TAMOŠAITIS, S., JURKŠIENĖ, G., PETROKAS, R., BUCHOVSKA, J., KAVALIAUSKIENĖ, I., DANUSEVIČIUS, D. & BALIUCKAS, V. (2021). Dissecting taxonomic variants within *Ulmus* spp. Complex in natural forests with the aid of microsatellite and morphometric markers. *Forests* 12: 1-19. <https://doi.org/10.3390/f12060653>
- THE ROYAL HORTICULTURAL SOCIETY (RHS). (1995). In Colour Chart. London.
- TILLICH, H. J. (2007). Seedling diversity and the homologies of seedling organs in the order Poales (monocotyledons). *Annals of Botany* 100: 1413-1429. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm238>

- VEGA, C., AGUILAR, D., BESSEGA, C., TEICH, I., ACOSTA, M. C., COSACOV, A., EWENS, M., VILARDI, J., SÉRSIC, A. N. & VERGA, A. (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*). En PASTORINO, M. J. & P. MARCHELLI (eds.), Low Intensity Breeding of Native Forest Trees in Argentina, pp. 245-269. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-56462-9_9
- VEGA, C. D., TEICH, I., ACOSTA, M. C., LAUENSTEIN, D. L., VERGA, A. R. & COSACOV, A. (2020). Morphological and molecular characterization of a hybrid zone between *Prosopis alba* and *P. nigra* in the Chaco region of northwestern Argentina. *Silvae Genetica* 69: 44-54. <https://doi.org/10.2478/sg-2020-0007>
- VILLENA, J. J., MUÑOZ CHÁVARRY, P., SEMINARIO, J. F. & MARTÍNEZ SOVERO, G. (2022). Caracteres morfométricos como indicadores de calidad de sitio de *Tara spinosa* (Leguminosae, Caesalpinioideae) en Cajamarca, Perú. *Lilloa* 59: 33-50. <https://doi.org/10.30550/j.lil/2022.59.1/2022.04.01>
- VILLENA, J. J. & SEMINARIO, J. (2021). Origen y domesticación de *Tara spinosa* (Leguminosae, Caesalpinioideae). *Lilloa* 58: 131-159. <https://doi.org/10.30550/j.lil/2021.58.2/2021.11.14>
- VILLENA, J., SEMINARIO, J. F. & 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: 555-574. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.262.26203>
- ZHANG, H., LI, J., ZHANG, J. & DONG, Y. (2024). Speeding up k-means clustering in high dimensions by pruning unnecessary distance computations. *Knowledge-Based Systems* 284, article 111262. <https://doi.org/10.1016/J.KNOSYS.2023.111262>
- ZHU, Y., CHEN, C., GUO, Y., FU, S. & CHEN, H. Y. H. (2020). Forest ecology and management linking leaf-level morphological and physiological plasticity to seedling survival and growth of introduced Canadian sugar maple to elevated precipitation under warming. *Forest Ecology and Management* 457: 117758. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117758>

