

Artículo de investigación

Variabilidad fenotípica de accesiones de caupí *Vigna unguiculata* del Banco de Germoplasma del INIA

Phenotypic variability of cowpea accessions *Vigna unguiculata* from the INIA Germplasm Bank

Luis Humberto León-Mendoza^{1*} , Raúl Castro-Angulo¹ , Carlos Angulo-Villacorta¹ , Johnny Campos-Cedano¹ ,
Lady Vásquez-Inuma¹ , Misael Sangama-Arirama¹ , Jhordy Solano-Vargas¹ , Boris Martínez-Zapata¹ 

¹ Instituto Nacional de Innovación Agraria, Estación Experimental Agraria San Ramón. Dirección de Recursos Genéticos y Biotecnología, Carretera San Ramón km 3.5-Río Shanusi, distrito de Yurimaguas, provincia de Alto Amazonas, Perú. lleon@inia.gob.pe, raul89.15@gmail.com, cangulovillacorta@gmail.com, jcampos@inia.gob.pe, ladyliliana.vasquezinuma@gmail.com, ariramamisael@gmail.com, jhsol1921@gmail.com, bmartinezz@inia.gob.pe.

* Autor por correspondencia: lleon@inia.gob.pe

Recibido: 16 de octubre de 2025. Revisado: 08 de abril de 2026. Aceptado: 28 de abril de 2026

Editor: Angelica Plata Rueda

Citación: León-Mendoza, L. H., Castro-Angulo, R., Angulo-Villacorta, C., Campos-Cedano, J., Vásquez-Inuma, L., Sangama-Arirama, M., Solano-Vargas, J. y Martínez-Zapata, B. (2026). Variabilidad fenotípica de accesiones de caupí *Vigna unguiculata* del Banco de Germoplasma del INIA. *Acta Biol. Colomb.*, 31(1), 108-117. <https://doi.org/10.15446/abc.v31n1.123378>

RESUMEN

El caupí (*Vigna unguiculata*) es un cultivo transitorio adaptado a climas tropicales y subtropicales, importante para la seguridad alimentaria. En este contexto, el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) en 2021 implementó la colección de leguminosas tropicales para su propagación, conservación y estudio. Este estudio evaluó su variabilidad fenotípica e identificó accesiones promisorias mediante descriptores agromorfológicos. En 2022-2023 se evaluaron 23 accesiones con 10 descriptores (7 cuantitativos y 3 cualitativos); se detectó variación sólo en tres descriptores cuantitativos, y los cualitativos mostraron alta concordancia. En 2024 se evaluaron 26 descriptores (14 cualitativos, 12 cuantitativos), encontrándose diferencias significativas en todos los descriptores; los de mayor partición fueron peso de 100 semillas y tamaño del pedúnculo. El análisis multivariado de componentes explicó el 60,3 % de la varianza total, Dim1 separó principalmente los rasgos biométricos de la semilla y Dim2 la variación fenológica. Los índices de Shannon-Weaver y Gini-Simpson evidenciaron que el patrón del hilio, textura de la testa, forma de la semilla, color del hilio y pigmentación de la vaina inmadura presentaron mayor capacidad discriminante y diversidad. Se seleccionaron accesiones promisorias con registro PER, valores superiores en el número de vainas por planta, tamaño de la vaina, número de lóculos por vaina y peso de 100 semillas, así como, el hábito de crecimiento y patrón de crecimiento compatibles con el destino de uso (consumo humano o forraje verde). Con base en estos criterios, se seleccionaron accesiones promisorias para consumo humano (PER1005854 y PER1005858) y para forraje/coertura (PER1005851, PER1005852, PER1005853 y PER1005857).

Palabras clave: Accesiones, Amazonia peruana, descriptores agromorfológicos, evaluación multivariada, leguminosas tropicales.

ABSTRACT

Cowpea (*Vigna unguiculata*) is a short-cycle crop adapted to tropical and subtropical climates and is important for food security. In this context, in 2021, the Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) implemented the tropical legume collection for its propagation, conservation, and study. This study evaluated its phenotypic variability and identified promising accessions using agromorphological descriptors. In 2022-2023, 23 accessions were evaluated using 10 descriptors (seven quantitative and three qualitative); variation was detected only in three quantitative descriptors, and the qualitative descriptors showed high concordance. In 2024, 26 descriptors (14 qualitative and 12 quantitative) were evaluated, and significant differences were found in all descriptors; the traits with the greatest partitioning were 100-seed weight and peduncle size. The multivariate component analysis explained 60.3% of the total variance; Dim1 mainly separated seed biometric traits, while Dim2 explained phenological variation. The Shannon-Weaver and Gini-Simpson indices showed that hilum pattern, seed coat texture, seed shape, hilum color, and immature pod pigmentation had the greatest

discriminatory capacity and diversity. Promising accessions with PER registration were selected based on superior values for number of pods per plant, pod size, number of locules per pod, and 100-seed weight, as well as growth habit and growth pattern compatible with the intended use (human consumption or green forage). Based on these criteria, promising accessions were selected for human consumption (PER1005854 and PER1005858) and for forage/cover (PER1005851, PER1005852, PER1005853 and PER1005857).

Keywords: Accessions, agromorphological descriptors, Amazonian Peru, multivariate evaluation, tropical legumes.

INTRODUCCIÓN

El caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp.) es una leguminosa del género *Vigna*, familia Fabaceae, que agrupa más de 200 especies con distribución mundial y mantiene una relación filogénica estrecha con el género *Phaseolus*, motivo por el cual algunas especies previamente clasificadas en este último han sido reclasificadas como *Vigna*, presentando una gran relevancia económica, con un papel clave como alimento básico, cultivo forrajero, de cobertura y abono verde en diversas comunidades alrededor del mundo (Fery, 2002).

Asimismo, es un cultivo anual adaptado a regiones tropicales y subtropicales (Xiong et al., 2016), reconocido por su alto valor nutricional. Las semillas presentan un contenido proteico del 17 al 27 %, aportan aminoácidos esenciales, carbohidratos (≈62 %), fibra dietética, vitaminas y minerales, además de ser bajas en grasa y libres de colesterol (Andrade Júnior et al., 2002). También contienen hierro, zinc y otros micronutrientes esenciales (Boukar et al., 2011; Kuruma et al., 2019). Por su diversidad genética, valor nutricional y potencial agronómico, el caupí constituye un recurso estratégico para la seguridad alimentaria y uso sostenible de la agrobiodiversidad (da Conceição dos Santos et al., 2022).

Su contribución a la seguridad alimentaria, nutrición y agricultura es ampliamente reconocido (Gomes et al., 2021). No obstante, en los sistemas tradicionales, los pequeños productores tienden a conservar y almacenar únicamente variedades nativas que sean productivas, resistentes y adaptadas a sus condiciones locales (Moreno et al., 2006). Desde un enfoque territorial y endógeno, la agrobiodiversidad se vincula estrechamente con la identidad cultural local, por lo que la generación de conocimiento científico orientado a conocer, manejar y conservar la biodiversidad se convierte en una herramienta clave para los productores (Vara-Sánchez y Cuéllar-Padilla, 2013).

En este contexto, los bancos de germoplasma cumplen un papel esencial en la conservación y manejo de la diversidad genética. La caracterización agromorfológica, en particular, permite identificar variabilidad fenotípica entre accesiones, corregir posibles errores de etiquetado, prevenir redundancias en las colecciones, además del refrescamiento de accesiones (Alba et al., 2009; Muzzalupo et al., 2010). Esta caracterización ofrece información clave para seleccionar materiales con potencial de adaptación, lo que puede contribuir a programas de mejoramiento genético y conservación *on-farm*. Sin embargo, en el cultivo de caupí persiste una brecha de información agromorfológica

sistematizada, lo que limita la estimación precisa de la variabilidad fenotípica disponible, la identificación de descriptores con alta capacidad discriminante y la priorización de accesiones con atributos agronómicos diferenciados. Esta limitación es particularmente relevante en materiales conservados y evaluados bajo condiciones amazónicas, donde la expresión fenotípica puede estar asociada con respuestas adaptativas locales. En este sentido, la ausencia de una caracterización integral restringe la depuración de redundancias, la trazabilidad de los materiales conservados y la toma de decisiones para su conservación, documentación, valorización y uso en programas de mejoramiento genético, sistemas de producción familiar y estrategias de aprovechamiento sostenible de la agrobiodiversidad.

En este marco, la Dirección de Recursos Genéticos y Biotecnología (DRGB), a través de la Subdirección de Recursos Genéticos (SDRG) del INIA, implementó la Colección de Leguminosas Tropicales del Banco de Germoplasma del INIA, con diversas accesiones de caupí. El objetivo de este estudio fue evaluar la variabilidad fenotípica de accesiones de *Vigna unguiculata* conservadas en la colección, mediante descriptores agromorfológicos cualitativos y cuantitativos, con la finalidad de identificar caracteres con mayor capacidad discriminante, priorizar accesiones promisorias según su potencial de uso y su aplicación en programas de mejoramiento genético y sistemas productivos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La colección de leguminosas tropicales del Banco de Germoplasma del INIA se ubica en la Estación Experimental Agraria San Ramón - Yurimaguas, localizada en el km 3,5 de la carretera Yurimaguas - Río Shanusi (5°56'7,92" S, 76°7'4,52" W), provincia de Alto Amazonas, región Loreto, Perú, con un área de 3.836 m². De acuerdo con Rupay et al. (2023), el clima de la zona es tropical húmedo, con dos estaciones bien diferenciadas: una lluviosa (setiembre a mayo) y otra seca (junio a agosto). La precipitación anual promedio es de aproximadamente 2.200 mm. La temperatura mínima mensual es de 20 °C y máxima de 32 °C. El suelo presenta 1,42 % de materia orgánica, pH de 4,51 y textura franco-arenosa. Estas condiciones edafoclimáticas determinan las estrategias de manejo agronómico y conservación empleadas en la colección, influyendo

directamente en la siembra, evaluación y mantenimiento de las accesiones de leguminosas tropicales.

Diseño de investigación

La investigación tuvo un enfoque transversal, no experimental, descriptivo-correlacional entre accesiones de *Vigna unguiculata*. Se evaluaron 23 accesiones, cada una con 12 plantas (12 repeticiones). Las plantas se establecieron en surcos con 2 m entre plantas y 2 m entre accesiones, y se condujeron con tutores de madera de 2,0 m de altura y 2,54 cm de espesor, con tres alambres separados de 30 cm (Muthoni *et al.*, 2024). El manejo fitosanitario fue preventivo y selectivo. Durante la siembra se aplicó *Trichoderma harzianum* (6,4 %) y micorrizas (*Glomus* spp.); para el control de trips y minadores se utilizó spinosad, y se complementó con *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* (1 kg ha⁻¹) para larvas masticadoras (Aryal *et al.*, 2021). La fertilización se realizó con dosis 20-20-20 (NPK) y aplicaciones programadas de reguladores de crecimiento y ácidos húmicos/fúlvicos. El riego fue tecnificado de acuerdo con la demanda del cultivo, evitando estrés hídrico.

Material biológico

El material biológico estuvo conformado por 23 accesiones de *Vigna unguiculata* previamente adaptadas a las condiciones edafológicas y agroclimáticas del área de conservación de la Colección de Leguminosas Tropicales del INIA – Yurimaguas. De estas, seis accesiones correspondieron a materiales colectados en la provincia de Alto Amazonas, región Loreto, Perú, con información de pasaporte validada y registro PER en el Sistema de Información de Recursos Genéticos (SIRGE): PER1005851, PER1005852, PER1005853, PER1005854, PER1005857 y PER1005858. Las 17 accesiones restantes procedieron del Banco de Semillas del INIA y correspondieron a materiales introducidos de países como Estados Unidos, Filipinas y África; sin embargo, la información de pasaporte se encuentra en proceso de revisión y saneamiento, por lo que en el presente estudio se consignaron únicamente sus códigos internos de identificación: CP0002, CP0007, CP0011, CP0016, CP0031, CP0036, CP0023, CP0025, CP0026, CP0037, CP0051, CP0086, CP0089, CP0091, CP0094, CP0096 y CP0101.

Descriptores agromorfológicos

Se consideraron descriptores agromorfológicos cualitativos y cuantitativos relacionados con la planta, hoja, flor y semilla de acuerdo con los lineamientos del *International Board for Plant Genetic Resources*, los cuales permiten describir, comparar y diferenciar la variabilidad intra e interespecífica en materiales de caupí (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) conservados en bancos de germoplasma del INIA (IBPGR, 1983). Para la evaluación de los descriptores vegetativos se

consideraron 12 plantas por accesión; mientras que, para los descriptores reproductivos, se evaluaron 20 flores, 20 vainas y 50 semillas por accesión.

Evaluación agromorfológica exploratoria 2022–2023

En los años 2022 y 2023 se realizó la propagación y adaptación del material biológico. En esta etapa, se evaluaron diez descriptores agromorfológicos con la finalidad de verificar la adaptación, establecimiento y expresión preliminar de caracteres morfológicos. Se evaluaron tres cualitativos (hábito de crecimiento, forma de la semilla y color de la flor) y siete cuantitativos (tamaño de la vaina, número de lóculos por vaina, peso de 100 semillas, número de vainas por planta, longitud de la semilla, ancho de la semilla y espesor de la semilla) (IBPGR, 1983).

Evaluación agromorfológica integral 2024

En el año 2024 se realizó la caracterización agromorfológica integral en 23 accesiones mediante 26 descriptores cualitativos y cuantitativos establecidos por el *International Board for Plant Genetic Resources*. Los catorce descriptores cualitativos incluyeron: hábito de crecimiento, patrón de crecimiento, forma del foliolo terminal, posición del racimo, pigmentación de la vaina inmadura, curvatura de la vaina, color de la vaina, forma de la semilla, textura de la testa, patrón del hilio, color del hilio, apiñamiento de las semillas, división de la testa y color de la flor. Los doce descriptores cuantitativos fueron: días de floración, duración de la floración, días para las primeras vainas maduras, tamaño de la vaina, número de lóculos por vaina, número de vainas por pedúnculo, número de vainas por planta, tamaño del pedúnculo, peso de 100 semillas, longitud de la semilla, ancho de la semilla y espesor de la semilla (IBPGR, 1983).

Análisis de la variación fenotípica exploratoria 2022–2023

Los años 2022 y 2023 correspondieron a evaluaciones de propagación y adaptación; durante este periodo 23 accesiones completaron su ciclo fenológico y alcanzaron una cosecha agronómicamente representativa. La variabilidad cuantitativa entre accesiones se evaluó por año mediante ANOVA y prueba de Tukey HSD. Para la comparación entre años, se verificaron previamente los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas mediante las pruebas de Shapiro–Wilk y Levene, respectivamente; debido al incumplimiento de estos supuestos en algunos descriptores, se aplicó la prueba no paramétrica de Mann–Whitney U ($\alpha = 0,05$). Los resultados se expresaron como medianas y rango intercuartílico (RIC). Para los descriptores cualitativos, se evaluó la estabilidad categórica entre los años mediante el coeficiente kappa de Cohen (κ), con intervalo de confianza del 95 %, como evidencia indirecta de consistencia fenotípica de las accesiones, considerando

que el caupí es una especie predominantemente autógama, aunque puede presentar bajos niveles de cruzamiento natural (Silva et al., 2024).

Análisis de la variación fenotípica integral 2024

El análisis de datos incluyó procedimientos descriptivos, inferenciales y multivariados. Para los descriptores cuantitativos, se ajustó un modelo de un solo factor, considerando la accesión como factor de clasificación ($\alpha = 0,05$); previamente, se verificaron los supuestos de normalidad de residuos mediante Shapiro-Wilk y homogeneidad de varianzas mediante Levene. Debido al incumplimiento de supuestos en algunos descriptores, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, cuando se detectó diferencias significativas, se realizaron comparaciones pareadas mediante la prueba de Dunn. Además, se estimaron correlaciones de Pearson entre variables cuantitativas e intervalos de confianza del 95 %. Para el análisis multivariado, se efectuó un análisis de componentes principales (ACP); posteriormente, se elaboró un biplot de los dos primeros componentes (Dim1 y Dim2), la variación de los descriptores cuantitativos se representó mediante gráficos de puntos ordenados basados en medianas por accesión., y la similitud global entre accesiones se expresó mediante un dendrograma con distancia euclidiana y enlace de Ward (Padhi et al., 2022).

Para los descriptores cualitativos, se evaluó su capacidad discriminante y variabilidad fenotípica mediante el índice de diversidad de Shannon-Weaver (H') (Alencar et al., 2021; Shannon y Weaver, 1964) y el índice de Gini-Simpson (Simpson, 1949).

Todos los análisis fueron procesados utilizando los programas Minitab 19 Statistical Software (Minitab, LLC, USA) y R-Studio (Posit Software, USA).

Selección de accesiones promisorias

Para la selección de accesiones promisorias potenciales, se priorizó materiales con registro PER en el Sistema de Información de Recursos Genéticos (SIRGE). Se consideraron promisorias las accesiones que cumplieron simultáneamente los siguientes criterios: (i) evidenciar valores estadísticamente favorables en al menos dos descriptores evaluados durante 2024: número de vainas por planta, tamaño de la vaina, número de lóculos por vaina y peso de 100 semillas; (ii) presentar un hábito de crecimiento y patrón de crecimiento compatibles con el destino de uso (consumo humano o forraje); y (iii) mostrar estabilidad categórica en los descriptores cualitativos entre los años 2022 y 2023, con un coeficiente kappa de Cohen (κ) $\geq 0,80$ como evidencia indirecta de consistencia fenotípica.

RESULTADOS

Análisis de la variación fenotípica exploratoria 2022–2023

En las 23 accesiones que completaron su ciclo fenológico y alcanzaron una cosecha agrónomicamente representativa durante 2022 y 2023, el ANOVA por año evidenció diferencias significativas entre accesiones en todos los descriptores cuantitativos evaluados ($p < 0,05$), lo cual fue confirmado mediante Tukey HSD. Para la comparación cuantitativa entre los años 2022 y 2023, la prueba de Levene mostró homogeneidad de varianzas en seis de los siete descriptores, excepto en el número de vainas por planta (NVPP); asimismo, la prueba de Shapiro-Wilk evidenció ausencia de normalidad en todos los descriptores. Mediante la prueba de Mann-Whitney U, se detectaron diferencias significativas en el ancho de semilla, espesor de semilla y peso de 100 semillas ($p < 0,05$), con valores menores en el año 2023 en comparación con el año 2022.

Respecto a los descriptores cualitativos, el coeficiente kappa de Cohen evidenció concordancia muy alta para hábito de crecimiento y color de flor y baja concordancia para forma de semilla.

Análisis de la variación fenotípica integral 2024

En 2024 se evaluaron 26 descriptores agromorfológicos, correspondientes a 12 cuantitativos y 14 cualitativos. En el análisis descriptivo cuantitativo, la accesión PER1005857 registró el mayor número de días para la floración y el mayor ancho de semilla, mientras que PER1005854 presentó el mayor número de días para las primeras vainas maduras. Asimismo, PER1005853 destacó por el tamaño de vainas maduras; PER1005858, por número de lóculos por vaina; PER1005852, por peso de 100 semillas; CP0089, por días de duración de la floración; CP0037, por el número de vainas por pedúnculo; CP0051, por el número de vainas por planta; PER1005851, por longitud de semilla; CP0026, por espesor de semilla; y CP0086, por tamaño del pedúnculo (Tabla 1, Fig. 1).

En el análisis inferencial, Shapiro-Wilk indicó ausencia de normalidad en los 12 descriptores cuantitativos evaluados, mientras que Levene evidenció heterogeneidad de varianzas en los descriptores. En consecuencia, se aplicó Kruskal-Wallis, que detectó diferencias significativas entre accesiones en todos los descriptores ($p < 0,05$). Las comparaciones múltiples de Dunn mostraron una partición entre 6 y 22 grupos, con mayor diferenciación en peso de 100 semillas y tamaño del pedúnculo (22 grupos), y menor diferenciación en días para las primeras vainas maduras y duración de la floración (6 grupos) (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis descriptivo e inferencial de 12 descriptores cuantitativos en 23 accesiones de *Vigna unguiculata* de la colección de leguminosas del Banco de Germoplasma del INIA.

Descriptor	Media	Valor mínimo		Valor máximo		Kruskal-Wallis (p)	Dunn (grupos)
		Valor	Accesión	Valor	Accesión		
DF	40,26	37,00	CP0002	47,00	PER1005857	< 0,001	7
DPV	42,83	37,00	CP0011	53,00	PER1005854	< 0,001	6
TV	182,92	20,04	CP0016	792,04	PER1005853	< 0,001	14
NLV	14,63	3,00	PER1005851	23,00	PER1005858	< 0,001	18
PS	18,35	10,53	CP0051	24,07	PER1005852	< 0,001	22
DDF	17,48	13,00	CP0037	21,00	CP0089	< 0,001	6
NVP	1,87	1,22	CP0089	3,56	CP0037	< 0,001	13
NVPP	61,38	4,00	CP101	249,00	CP0051	< 0,001	17
LSC	8,72	4,40	CP0051	12,84	PER1005851	< 0,001	13
ASC	6,67	1,14	CP0036	10,76	PER1005857	< 0,001	15
ESC	5,08	3,05	CP0096	9,71	CP0026	< 0,001	16
TPP	29,78	19,36	CP0089	40,06	CP0086	< 0,001	22

DF: días para la floración. DPV: días para las primeras vainas maduras. TV: tamaño de la vaina madura. NLV: número de lóculos por vaina. PS: peso de 100 semillas. DDF: días de duración de la floración. NVP: número de vainas por pedúnculo. NVPP: número de vainas por planta. LSC: longitud de la semilla. ASC: ancho de la semilla. ESC: espesor de la semilla. TPP: Tamaño del pedúnculo.

El análisis de componentes principales explicó el 60,3 % de la varianza total, con 39,4 % en Dim1 y 20,9 % en Dim2. La Dim1 separó principalmente los rasgos asociados con la biometría de semilla y vaina y Dim2 estuvo asociada principalmente con la variación fenológica (Fig. 2a). En el análisis de correlación de Pearson, se observaron

asociaciones positivas fuertes entre días para la floración y días para las primeras vainas maduras, así como, entre peso de 100 semillas y ancho de semilla. Asimismo, se registraron correlaciones positivas entre peso de 100 semillas, ancho y espesor de semilla, además, de correlaciones negativas moderadas entre el número de vainas por pedúnculo,

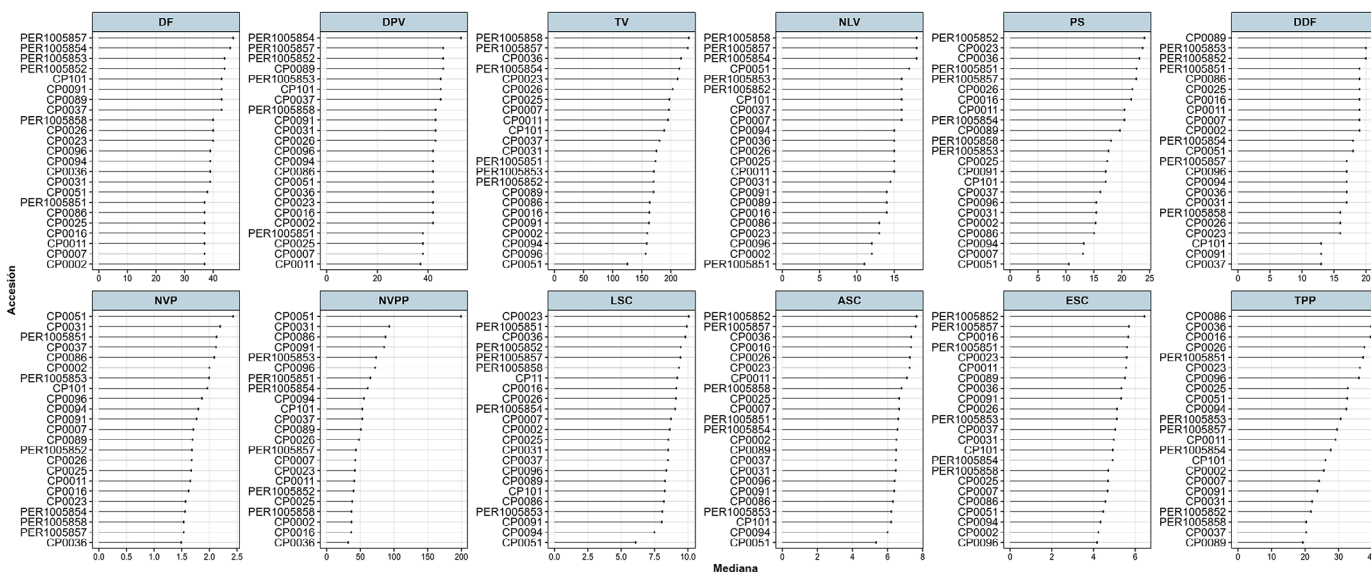


Figura 1. Gráfica de medianas de los descriptores cuantitativos en 23 accesiones correspondiente al año 2024. DF: días para la floración. DPV: días para las primeras vainas maduras. TV: tamaño de la vaina madura. NLV: número de lóculos por vaina. PS: peso de 100 semillas. DDF: días de duración de la floración. NVP: número de vainas por pedúnculo. NVPP: número de vainas por planta. LSC: longitud de la semilla. ASC: ancho de la semilla. ESC: espesor de la semilla. TPP: Tamaño del pedúnculo.

número de vainas por planta y los caracteres biométricos de semilla (Fig. 2b).

El dendrograma construido con distancia euclidiana y el método de Ward, discriminó tres grupos de accesiones según la similitud multivariada de los descriptores cuantitativos. El grupo 1 integró materiales con valores intermedios en caracteres fenológicos y biométricos; el grupo 2 agrupó accesiones con mayor expresión de caracteres biométricos de semilla y fenología media a tardía; y el grupo 3 reunió materiales con menor biometría de semilla y mayor precocidad fenológica (Fig. 2c).

En cuanto a los descriptores cualitativos, los índices de Shannon-Weaver (H') y Gini-Simpson mostraron que los descriptores del patrón del hilio, textura de la testa, forma de la semilla, color del hilio y pigmentación de vaina inmadura presentaron mayor capacidad discriminante y diversidad. En contraste, el apiñamiento de semillas, división de la testa y patrón de crecimiento presentaron la menor capacidad discriminante y diversidad dentro de la colección (Fig. 2d).

Selección de accesiones promisorias

Para la selección de accesiones promisorias, se consideraron únicamente los materiales con codificación PER en SIRGE que cumplieron simultáneamente los criterios predefinidos previamente. Con base en los resultados de 2024, PER1005854 y PER1005858 fueron priorizadas para consumo humano por su desempeño en caracteres vinculados con la biometría de vaina y semilla. Por otro lado, PER1005851, PER1005852, PER1005853 y PER1005857 fueron seleccionadas para forraje/cobertura, debido a su hábito de crecimiento y patrón de desarrollo favorables para cobertura vegetal y potencial uso forrajero (Tabla 3; Fig. 3).

DISCUSIÓN

La domesticación y diseminación del caupí (*V. unguiculata*) se originaron en África; posteriormente, el cultivo se expandió hacia el Mediterráneo, Asia y América, este proceso

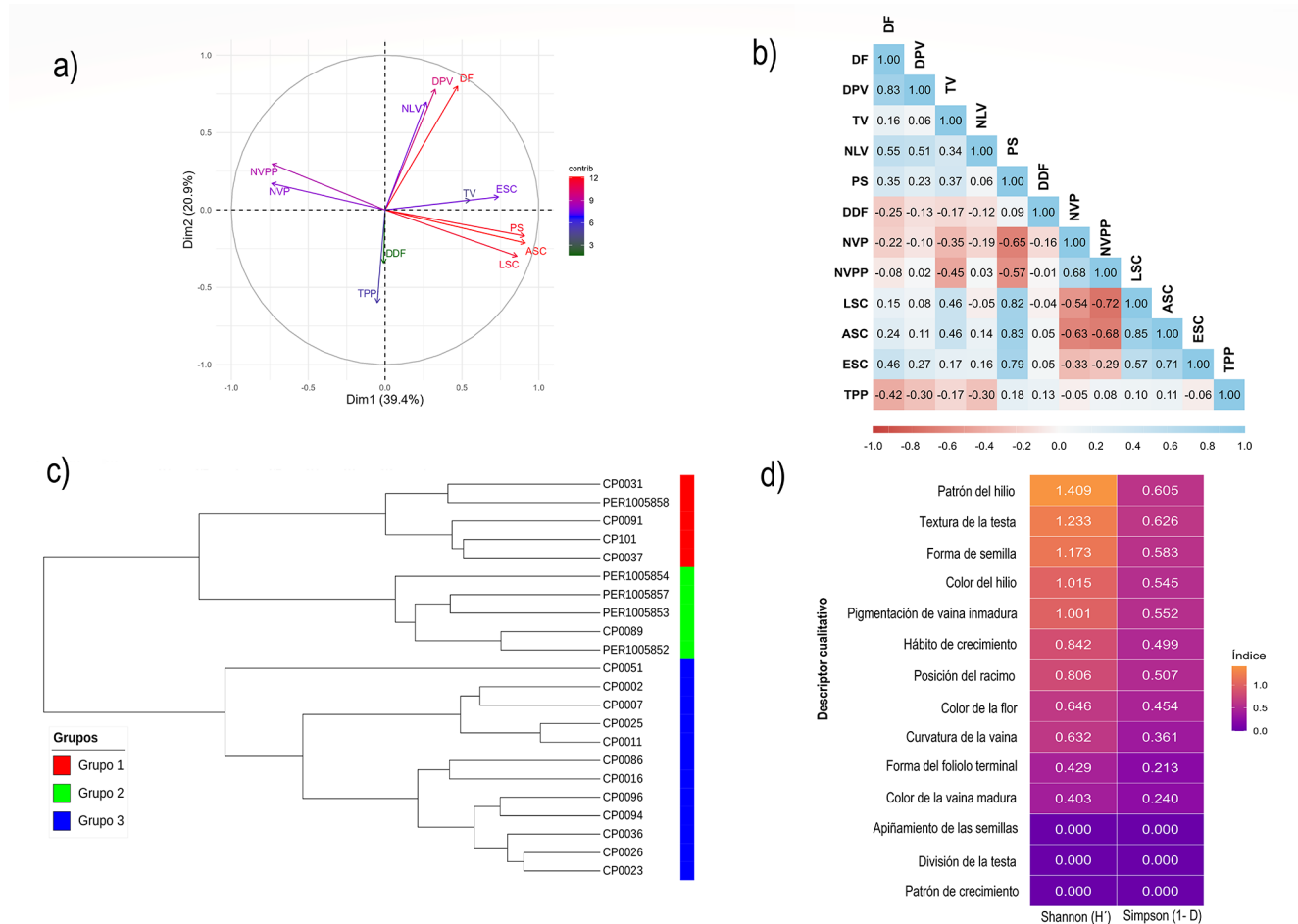


Figura 2. Gráfica de variabilidad fenotípica de 23 accesiones correspondiente al año 2024. a) Gráfica biplot del análisis de componentes principales los descriptores cuantitativos. b) Análisis de correlación de los descriptores cuantitativos. c) Dendrograma de las 23 accesiones. d) Mapa de calor del índice de Shannon-Weaver e índice de Gini-Simpson.

Tabla 3. Caracterización agromorfológica (14 descriptores cualitativos, 12 cuantitativos) de las accesiones potencialmente promisorias de la colección de leguminosas tropicales del Banco de Germoplasma del INIA.

Descriptores cualitativos							
Accesión	Hábito de crecimiento	Patrón de crecimiento	Forma del foliolo terminal	Posición del racimo	Pigmentación de la vaina inmadura	Curvatura de la vaina	Color de la vaina
PER 1005851	Semi-postrado	Indeterminado	Subglobosa	Principalmente encima del dosel	Puntas pimentadas	Ligeramente curvada	Pajizo
PER 1005852	Trepador	Indeterminado	Subglobosa	A lo largo del dosel	Ninguna	Ligeramente curvada	Pajizo
PER 1005853	Postrado	Indeterminado	Subglobosa	Arriba del dosel	Ninguna	Ligeramente curvada	Pajizo
PER 1005854	Trepador	Indeterminado	Subglobosa	Principalmente encima del dosel	Ninguna	Ligeramente curvada	Bronceado oscuro
PER 1005857	Trepador	Indeterminado	Subglobosa	A lo largo del dosel	Puntas pimentadas	Ligeramente curvada	Pajizo
PER 1005858	Trepador	Indeterminado	Subglobosa	Principalmente encima del dosel	Ninguna	Ligeramente curvada	Pajizo
Descriptores cualitativos							
Accesión	Forma de la semilla	Textura de la testa	Patrón del hilio	Color del hilio	Apiñamiento de las semillas	División de la testa	Color de la flor
PER 1005851	Riñón	Rugosa	Pequeño	Azul a negro	Semi apiñada	Presente	Blanco
PER 1005852	Romboide	Lisa	Grupo Kabba	Otro	Semi apiñada	Presente	Violeta
PER 1005853	Globosa	Rugosa	Pequeño	Otro	Semi apiñada	Presente	Blanco
PER 1005854	Romboide	Lisa	Angosto	Otro	Semi apiñada	Presente	Violeta
PER 1005857	Apiñada	Lisa	Muy pequeño	Marrón tostado	Semi apiñada	Presente	Violeta
PER 1005858	Apiñada	Lisa	Muy pequeño	Otro	Semi apiñada	Presente	Violeta
Descriptores cuantitativos							
Accesión	Días para las primeras vainas maduras	Tamaño de la vaina	Número de lóculos por vaina	Número de vainas por pedúnculo	Número de vainas por planta	Tamaño del pedúnculo	
PER 1005851	38	17,26	10,29	2,17	77,6	37,32	
PER 1005852	46	17,15	15,8	1,68	43,6	21,76	
PER 1005853	45	16,92	15,59	2,01	69,4	30,66	
PER 1005854	53	21,25	17,81	1,58	61	27,66	
PER 1005857	46	22,93	17,66	1,61	46,6	29,56	
PER 1005858	43	22,78	17,56	1,65	40,4	20,36	
Descriptores cuantitativos							
Accesión	Peso de 100 semillas	Longitud de la semilla	Ancho de la semilla	Espesor de la semilla	Días de Floración	Duración de la floración	
PER 1005851	22,65	10,01	6,61	5,61	37	19	
PER 1005852	24,07	9,44	7,63	6,43	44	20	
PER 1005853	17,63	8,08	6,2	5,14	44	20	
PER 1005854	20,47	9,06	6,54	4,9	46	18	
PER 1005857	22,59	9,41	7,76	5,72	47	17	
PER 1005858	18,08	9,14	6,77	4,65	40	16	

favoreció la diversificación del cultivo y generó patrones fenotípicos heterogéneos relacionados con la biometría de semilla, estructura vegetativa y fenología (Herniter et al., 2020). En este contexto, la identificación de descriptores agromorfológicos constituye una herramienta esencial para reconocer, documentar y gestionar la variabilidad

fenotípica en el cultivo de caupí; caracteres como peso de 100 semillas, número de lóculos por vaina y días para la floración, permiten diferenciar materiales y generar información útil para la conservación, documentación y uso del germoplasma en programas de mejoramiento.

Los descriptores agromorfológicos en el cultivo de caupí constituyen una herramienta robusta para diferenciar, agrupar y documentar la variabilidad entre materiales; especialmente caracteres asociados con semilla, vaina y fenología; permite optimizar el manejo de colecciones y orientar la selección de germoplasma con valor agronómico relevante (Menssen et al., 2017). Asimismo, Stoilova y Pereira (2013) señalaron que los caracteres agromorfológicos permiten estratificar el germoplasma y recuperar variedades de interés agronómico, al proporcionar criterios reproducibles para describir y comparar materiales conservados en bancos de germoplasma.

La diferenciación fenotípica observada es consistente con estudios desarrollados en África occidental, donde los caracteres asociados con semilla, vaina y arquitectura reproductiva han sido identificados como componentes centrales de la divergencia agromorfológica en caupí. De acuerdo con Doumbia et al (2013) el peso de 100 semillas, biometría de semilla, hábito de crecimiento, posición del racimo y caracteres de vaina permiten estructurar la variabilidad entre accesiones y orientar su uso productivo. En concordancia, los resultados registrados en la presente investigación indican que los rasgos de semilla y vaina, junto con caracteres de arquitectura de planta, constituyen criterios útiles para discriminar materiales conservados y reconocer perfiles morfoagronómicos con potencial para consumo humano o forraje. Por tanto, la caracterización agromorfológica no solo permite describir variabilidad, sino también convertirla en información operativa para conservación, documentación y premejoramiento del germoplasma.

Desde el punto de vista estadístico, la ausencia de normalidad en los residuos y heterogeneidad de varianzas observadas en varios descriptores son consistentes con la naturaleza heterogénea del cultivo, en la cual la variación entre accesiones puede generar distribuciones asimétricas y diferencias marcadas en la dispersión de los datos. Asimismo, la estructura multivariada observada fue coherente con estudios previos en *V. unguiculata*, en los que los primeros componentes del ACP suelen estar asociados con rasgos fenológicos, como días para la floración y caracteres biométricos de semilla; mientras que variables relacionadas con arquitectura reproductiva y rendimiento, como número de vainas por planta o por pedúnculo, se distribuyen en ejes complementarios de variación (Doumbia et al., 2013; Menssen et al., 2017).

La estructura multivariada evidenció una separación entre rasgos asociados con la biometría de semilla, vaina, caracteres fenológicos y reproductivos; esto sugirió que el tamaño de semilla y vaina constituye un eje relevante de diferenciación fenotípica; sin embargo, las correlaciones negativas entre la biometría de semilla y producción de vainas sugieren una posible compensación entre el tamaño del grano y número de vainas producidas. En consecuencia, la selección de accesiones no debería basarse únicamente en semillas de mayor tamaño, sino responder al uso objetivo del germoplasma, tales como, consumo humano, que priorizan caracteres de semilla y vaina; o forraje, cuando adquieren mayor importancia el hábito de crecimiento y arquitectura de planta. Este patrón debe interpretarse con cautela, debido a que el ACP describe covariación fenotípica, pero no demuestra causalidad ni estabilidad temporal más allá

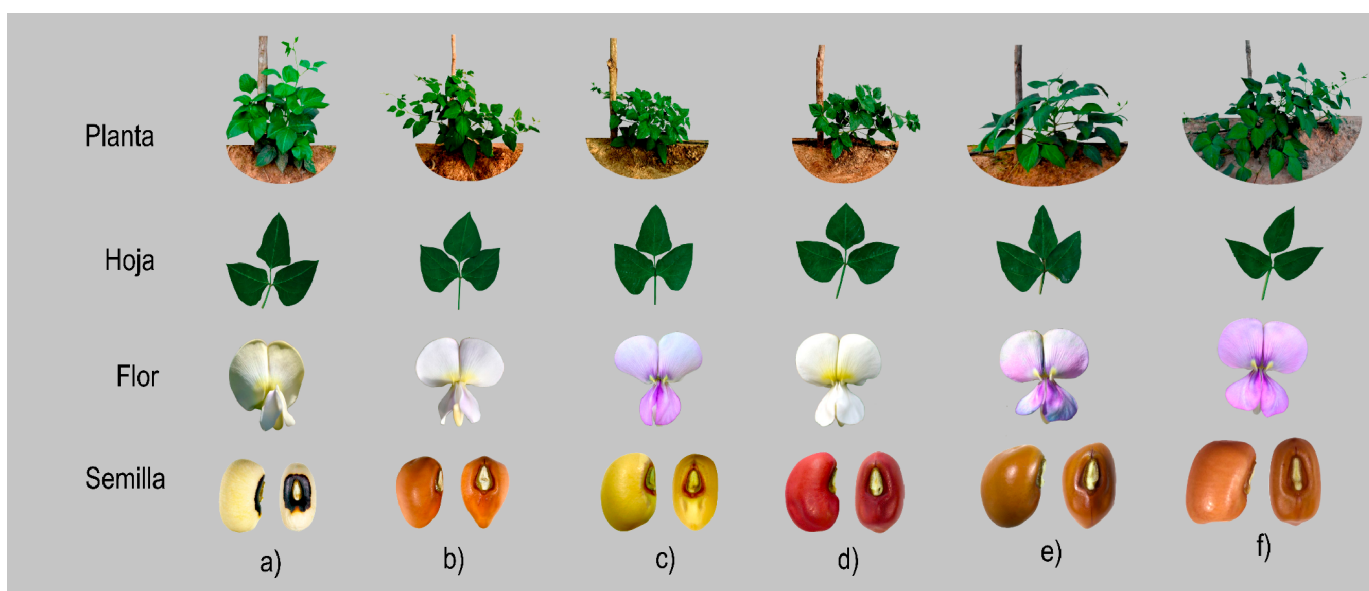


Figura 3. Variabilidad fenotípica de la planta, hoja, flor y semilla en potenciales accesiones promisorias. a) PER1005851. b) PER1005852. c) PER1005853. d) PER1005854. e) PER1005857. f) PER1005858.

de las campañas evaluadas (Doumbia *et al.*, 2013; Stoilova y Pereira, 2013; Menssen *et al.*, 2017).

En consonancia con lo observado en las accesiones priorizadas, los materiales orientados a consumo humano presentaron una combinación favorable de caracteres asociados con biometría de semilla y vaina, así como posición del racimo predominantemente sobre el dosel. No obstante, estos atributos deben interpretarse como criterios agromorfológicos de priorización y no como evidencia directa de preferencia del consumidor o eficiencia de cosecha, debido a que dichos aspectos no fueron evaluados experimentalmente. En contraste, las accesiones orientadas a forraje mostraron hábitos postrado o semipostrado y distribución de racimos a lo largo del dosel, rasgos que sugieren potencial para cobertura vegetal; sin embargo, su uso como forraje o cobertura requiere validaciones posteriores de biomasa, persistencia, calidad nutricional y desempeño bajo manejo agronómico específico (Doumbia *et al.*, 2013; Menssen *et al.*, 2017).

Dado que los hallazgos provienen de un ambiente específico y años de evaluación desarrolladas bajo condiciones locales, la estabilidad de las accesiones priorizadas deberá confirmarse en estudios futuros mediante validaciones multiambiente y multiaño, así como mediante la integración de herramientas genómicas que permitan fortalecer la selección de descriptores y materiales promisorios.

CONCLUSIONES

La caracterización agromorfológica de la colección evidenció variabilidad fenotípica útil para discriminar accesiones de *V. unguiculata*, con especial capacidad informativa en rasgos asociados con semilla y vaina. La consistencia entre los años evaluados en los descriptores cualitativos respaldó la estabilidad categórica de hábito de crecimiento y color de flor; sin embargo, la forma de semilla mostró menor concordancia interanual. Entre los rasgos cualitativos con mayor capacidad discriminante destacaron el patrón del hilio, textura de la testa, forma de semilla, color del hilio y pigmentación de la vaina inmadura.

Con base en el desempeño agromorfológico, la aptitud de uso y la consistencia fenotípica observada, se priorizaron como accesiones promisorias para consumo humano PER1005854 y PER1005858, y para forraje PER1005851, PER1005852, PER1005853 y PER1005857. Estos resultados constituyen una base inicial para la conservación, documentación y uso del germoplasma; no obstante, la estabilidad de los materiales priorizados deberá confirmarse mediante evaluaciones multianuales y, de ser posible, multiambientales.

PARTICIPACIÓN DE AUTORES

L. L.-M.: concibió y dirigió el estudio, realizó el análisis de datos, la interpretación de resultados y la redacción del manuscrito. R. C.-A.: participó en el trabajo de campo, organización de datos y revisión crítica del manuscrito. C. A.-V.: colaboró en el análisis morfológico y la revisión bibliográfica. J. C.-C., L. V.-I., M. S.-A., J. S.-V. y B. M.-Z.: contribuyeron en la evaluación en campo y en la edición final del manuscrito. Todos los autores revisaron, comentaron y aprobaron la versión final del documento.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Instituto Nacional de Innovación Agraria, a través de la Dirección de Recursos Genéticos y Biotecnología y al Proyecto de Inversión “Mejoramiento de los Servicios de Investigación en la Caracterización de los Recursos Genéticos de la Agrobiodiversidad en 17 Departamentos del Perú - ProAgrobio” (CUI 2480490), por el financiamiento y las facilidades brindadas.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de interés que pudieran haber influido en los resultados ni en su interpretación.

REFERENCIAS

- Alba, V., Sabetta, W., Blanco, A., Pasqualone, A. and Montemurro, C. (2009). Microsatellite markers to identify specific alleles in DNA extracted from monovarietal virgin olive oils. *European Food Research and Technology*, 229(3), 375-382. <https://doi.org/10.1007/s00217-009-1062-8>
- Alencar, F. R. G., Pinheiro, C. L., Tomaz, F. L. de S., Bertini, C. H. C. de M. and Silva, A. K. F. da. (2021). Parental selection and descriptor evaluation in the identification of superior cowpea genotypes. *Agronomía Colombiana*, 39(3), 313-321. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v39n3.95660>
- Andrade Júnior, A. S., Santos, A. A. dos, Athayde Sobrinho, C., Bastos, E. A., Melo, F. de B., Viana, F. M. P., Freire Filho, F. R., Carneiro, J. da S., Rocha, M. de M., Cardoso, M. J., Silva, P. H. S. da. and Ribeiro, V. Q. (2002). *Cultivo do feijão-caupi (Vigna unguiculata [L.] Walp.) (Sistemas de Produção 2)*. Embrapa Meio-Norte.
- Aryal, L. N., Regmi, R., Lohani, S. and Bhusal, Y. (2021). Efficacy of commercial insecticides for cowpea pod borer (*Maruca vitrata* F.) management in Pokhara, Nepal. *Journal of Agriculture and Natural Resources*, 4(1), 165-175. <https://doi.org/10.3126/janr.v4i1.33250>

- Boukar, O., Massawe, F., Muranaka, S., Franco, J., Maziya-Dixon, B., Singh, B. and Fatokun, C. (2011). Evaluation of cowpea germplasm lines for protein and mineral concentrations in grains. *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization*, 9(4), 515–522. <https://doi.org/10.1017/S1479262111000815>
- da Conceição dos Santos, L. F., Ruiz Sánchez, E. y Jiménez Osornio, J. J. (2022). Caracterización agro morfológica de 20 cultivares de frijol caupí (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) en Yucatán, México. *Acta Universitaria*, 32, e3216. <https://doi.org/10.15174/au.2022.3216>
- Doumbia, I., Akromah, R. and Asibuo, J. (2013). Comparative study of cowpea germplasms diversity from Ghana and Mali using morphological characteristics. *Journal of Plant Breeding and Genetics*, 1(3), 139-147.
- Fery, F. L. (2002). New opportunities in *Vigna*. In J. Janick and A. Whipkey (Eds.), *Trends in new crops and new uses* (pp. 424–428). ASHS Press.
- Gomes, A. M. F., Draper, D., Nhantumbo, N., Massinga, R., Ramalho, J. C., Marques, I. and Ribeiro-Barros, A. I. (2021). Diversity of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] landraces in Mozambique: New opportunities for crop improvement and future breeding programs. *Agronomy*, 11(5), 991. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050991>
- Herniter, I. A., Muñoz-Amatriaín, M. and Close, T. J. (2020). Genetic, textual, and archeological evidence of the historical global spread of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.). *Legume Science*, 2(4), e57. <https://doi.org/10.1002/leg3.57>
- International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR). (1983). *Descriptors for cowpea (Vigna unguiculata [L.] Walp.)*. International Board for Plant Genetic Resources. AGPG: IBPGR/81/82. Rome, Italy.
- Kuruma, R., Sheunda, P. and Kahwaga, C. (2019). Yield stability and farmer preference of cowpea (*Vigna unguiculata*) lines in semi-arid Eastern Kenya. *Afrika Focus*, 32(2). <https://doi.org/10.21825/af.v32i2.15768>
- Menssen, M., Linde, M., Omondi, E. O., Abukutsa-Onyango, M., Dinssa, F. F. and Winkelmann, T. (2017). Genetic and morphological diversity of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) entries from East Africa. *Scientia Horticulturae*, 226, 268-276. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.08.003>
- Moreno, L. L., Tuxill, J., Moo, E. Y., Reyes, L. A., Alejo, J. C. and Jarvis, D. I. (2006). Traditional maize storage methods of Mayan farmers in Yucatan, Mexico: Implications for seed selection and crop diversity. *Biodiversity & Conservation*, 15, 1771-1795. <https://doi.org/10.1007/s10531-004-6679-0>
- Muthoni, J., Shimelis, H. and Nyamongo, D. O. (2024). Characterization of selected cowpea and sesame accessions at Genetic Resources Research Institute (GeRRI) in Kenya: Adding value to the rich collection. *Australian Journal of Crop Science*, 18(1), 1-10. <https://doi.org/10.21475/ajcs.24.18.01.p3997>
- Muzzalupo, I., Chiappetta, A., Benincasa, C. and Perri, E. (2010). Intra-cultivar variability of three major olive cultivars grown in different areas of central-southern Italy studied using microsatellite markers. *Scientia Horticulturae*, 126(3), 324-329. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.07.014>
- Padhi, S. R., Bartwal, A., John, R., Tripathi, K., Gupta, K., Wankhede, D. P., Mishra, G. P., Kumar, S., Archak, S. and Bhardwaj, R. (2022). Evaluation and multivariate analysis of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] germplasm for selected nutrients—Mining for nutri-dense accessions. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 888041. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.888041>
- Rupay, K., Ampuero, G., Vela, C., Angulo, C., Mathios, M. and Torres, R. (2023). Evaluación agronómica y nutricional de pastos tropicales de corte sometidos a diferentes frecuencias de corte en Yurimaguas, Amazonia peruana. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 34(5), e24461. <https://doi.org/10.15381/rivep.v34i5.24461>
- Shannon, C. E. and Weaver, W. (1964). *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press.
- Silva, J. de A., Barros, J. R. A., Silva, E. G. F., Rocha, M. de M. and Angelotti, F. (2024). Cowpea: Prospecting for heat-tolerant genotypes. *Agronomy*, 14(9), 1969. <https://doi.org/10.3390/agronomy14091969>
- Simpson, E. H. (1949). Measurement of diversity. *Nature*, 163, 688. <https://doi.org/10.1038/163688a0>
- Stoilova, T. and Pereira, G. (2013). Assessment of the genetic diversity in a germplasm collection of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) using morphological traits. *African Journal of Agricultural Research*, 8, 208-215.
- Vara-Sánchez, I. and Cuéllar-Padilla, M. (2013). Biodiversidad cultivada: una cuestión de coevolución y transdisciplinariedad. *Ecosistemas*, 22(1), 5-9.
- Xiong, H., Shi, A., Mou, B., Qin, J., Motes, D., Lu, W., Ma, J., Weng, Y., Yang, W. and Wu, D. (2016). Genetic diversity and population structure of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). *PLoS ONE*, 11(8), e0160941. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160941>