



Análisis de rasgos fenotípicos para la diferenciación de clones de *Mussa* sp. y su asociación con variables ambientales

Analysis of phenotypic traits for the differentiation of *Mussa* sp. clones and their association with environmental variables

María Victoria Vega*, Juana Cáceres, Graciela María Castillo

Facultad de Recursos Naturales, Universidad Nacional de Formosa, Av. Dr. Luis Gutnisky 3200, Formosa, Argentina. CP 3600

RESUMEN: Para determinar las características morfológicas de clones de *Musa* sp recolectados en Riacho He He, Laguna Blanca, Clorinda, y Laguna Naick-Neck, se utilizaron los descriptores estandarizados de banana del IPGRI - INIBAP/CIRAD y la Red Internacional para el Mejoramiento del Banano y el Plátano, considerándose 9 descriptores correspondientes a caracteres cuantitativos de la planta, hojas, pseudotallo, flores, frutos, etc. Se hizo énfasis en los descriptores altamente sobresalientes. Los datos fueron analizados estadísticamente mediante un Análisis de Varianza Multivariado, Análisis en Componentes Principales y Árboles de Regresión. Las comparaciones entre procedencias fueron altamente significativas para todos los caracteres analizados. Las características fenotípicas evaluadas estuvieron relacionadas con el ambiente, según el análisis basado en los árboles de regresión. El análisis en Componentes Principales explicó el 87 % de la varianza fenotípica existente en las dos primeras componentes. De tal manera, es muy importante el desarrollo de un programa de mejoramiento genético a través de descriptores morfológicos para obtener nuevos y mejores clones, ya que los rasgos analizados pueden ser altamente heredables.

Palabras clave: variabilidad fenotípica, fitomejoramiento, variables ambientales.

ABSTRACT: In order to determine morphological characteristics of *Musa* sp' clones collected in Riacho He He, Laguna Blanca, Clorinda, and Laguna Naick-Neck, Formosa province, banana standard descriptor from IPGRI-INIBAP/CIRAD and Banana and Plantain Breeding International Network, were used. Nine quantitative descriptors related to the plant, to the leaves, and to the fruits were studied. Outstanding descriptors were observed in detail. Data was analyzed through Multivariate Variance Analyses, Components Principal Analysis and Regression Trees. The comparisons between provenances were highly significant and phenotypic characteristics were associated with one environmental variable. The Principal Component Analysis explained 87 % of the phenotypic variance in two extracted components. A genetic improvement program is very important to obtain new clones due to traits can be highly heritable.

Key words: phenotypic variability, plant breeding, environmental variables.

INTRODUCCIÓN

Al género *Musa* pertenece el banano siendo uno de los cultivos más desarrollados en el mundo. La mayoría de los cultivares proceden de *Musa acuminata* (genoma A) y *Musa balbisiana* (genoma B), diploides comestibles que se

cruzan con sus progenitores silvestres, dando origen a una progenie estéril, conformando los genomas diploides (AB), triploides (AAA, AAB), y tetraploides (ABBB y AAAB). La sección *Eumusa* comprende al sub-grupo *Cavendish* con once especies, distinguiéndose en ella los cultivares triploides (1).

*Autor para correspondencia: mavivega@yahoo.es

Recibido: 12/06/2023

Aceptado: 08/08/2024

Conflictos de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de intereses

Contribución de los autores: **Conceptualización:** Graciela Castillo. **Investigación:** Juana Cáceres, María Victoria Vega. **Metodología:** María Victoria Vega, Juana Cáceres, Graciela Castillo. **Supervisión:** Graciela Castillo. **Estructura del borrador inicial:** María Victoria Vega. **Estructura y edición final:** María Victoria Vega, Graciela Castillo. **Curación de datos:** María Victoria Vega, Juana Cáceres.

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



En la provincia de Formosa, Argentina, el área bananera se localiza en los Departamentos Pilcomayo y Pilagás, encontrándose el 90% de las fincas en la localidad de Laguna Naik-Neck (Departamento Pilcomayo) (<http://www.formosa.gob.ar>). El comportamiento de las plantas está asociado a las condiciones agroclimáticas, manifestándose a través de la variabilidad y la magnitud de los procesos de crecimiento.

Uno de los principales problemas que presenta el banano son los bajos rendimientos, debido a problemas ocasionados por *Sigatoka negra*, picudo negro y virosis. En cuanto al material local, se hace indispensable la caracterización tanto morfológica como de zonas agroecológicas aptas para su cultivo, ya que desde la década del cincuenta, se introduce material de diversos orígenes (presumiblemente de Brasil y Paraguay) de los cuales, en muchos casos, solo se conoce sus datos de pasaporte.

Una alternativa, que puede mejorar la producción comercial a mediano y largo plazo, es el desarrollo de nuevos cultivares a través de programas de mejoramiento genético, basado en la caracterización de descriptores morfológicos (hojas, altura de planta y perímetro de tallo) y agronómicos (número de frutos, peso neto y bruto del plátano), que permiten diferenciar taxonómicamente a las plantas (3). Estos caracteres pueden ser altamente heredables, fácilmente observables, expresándose en la misma forma en cualquier ambiente (2), y una vez identificadas las plantas, es fundamental seleccionar las mejores que presenten una buena aptitud productiva o de tolerancia a ciertas enfermedades. Aunque, los esfuerzos por lograr un mejoramiento en los últimos 50 años, han determinado que a mayores niveles de productividad se detecten altos niveles de vulnerabilidad genética, lo esencial y fundamental es la valorización genética del germoplasma como respuesta para lograr la estabilidad y productividad de los métodos para ampliar su base genética (3).

El objetivo del trabajo fue evaluar la diversidad fenotípica en clones de *Mussa* sp en cuatro localidades de la provincia Formosa, Argentina, atendiendo a caracteres morfológicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los sitios muestreados correspondieron a fincas de productores bananeros, localizados en los paralelos 25°17'10" de Latitud Sur y 57°43'21" de Longitud Oeste, en el Departamento Pilcomayo; distantes aproximadamente a 110 - 141 Km de la ciudad capital de la Provincia de Formosa, Argentina. Se muestrearon plantas madres del Sub - Grupo: *Cavendish*, Variedad: Nanika, en cuatro procedencias (Riacho He He, Laguna Blanca, Clorinda, y Laguna Naick-Neck), y en cada una de ellas 2 fincas bananeras (Figura 1).

Las plantas madres seleccionadas presentaron antecedentes en cuanto a su comportamiento, tanto ante condiciones climáticas adversas (bajas temperaturas -5 °C y temperaturas extremas: 45 °C) y enfermedades (*Sigatoka amarilla*) como a su potencial de productividad. Las mismas presentaron un diseño de plantación de 2 x 3 m (2 m entre plantas y 3 m entre hileras) en algunos casos, y en otros

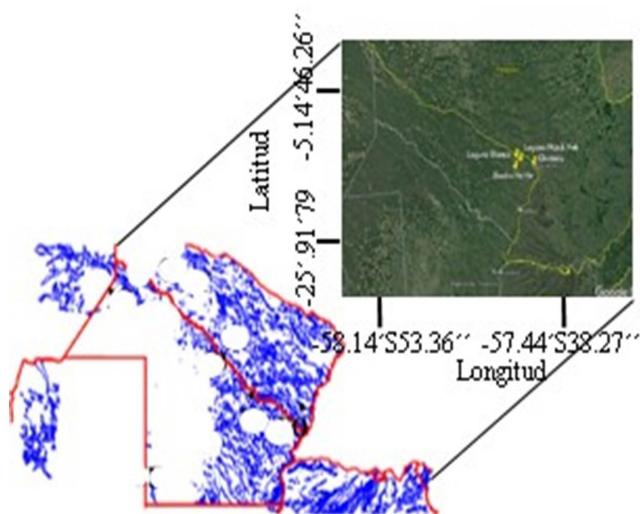


Figura 1. Localización de los sitios de muestreo

el diseño fue de 1 x 4 (1 m entre plantas y 4 m entre hileras), siendo georeferenciadas con GPS (Garmin Etrex 10), y registrándose datos de pasaporte (Fig. 1).

Las zonas se caracterizaron por poseer suelos con drenaje natural y su mayor representatividad fue el suelo franco con abundante materia orgánica, registrándose precipitaciones medias anuales que variaron de 60 a 61 mm y temperaturas medias de 27.9 °C durante el estudio.

La caracterización morfológica, se llevó a cabo sobre la base de descriptores morfológicos utilizados por el IPGRI (5) y la Red Internacional para el Mejoramiento del Banano y el Plátano. Los caracteres cuantitativos evaluados fueron altura de la planta (m) (medida desde la base hasta la inserción en forma de V de las últimas hojas emitidas), diámetro del pseudotallo (cm) (medido desde la base hasta 1 m de altura), longitud y ancho de hojas (cm), longitud del pecíolo (cm), longitud del dedo central de la segunda mano (cm) medidos con cinta métrica, mientras que el diámetro del fruto de la segunda mano (cm) fue medido con un calibre Vernier (Mitutoyo 530-122, graduación 0.02 mm, campo de medida hasta 150 mm).

Se aplicó un muestreo probabilístico aleatorio simple, donde cada uno de los fenotipos tuvo la probabilidad conocida de ser seleccionado. El tamaño de la muestra fue de n = 40 fenotipos por procedencia, evaluándose un total de 320 plantas.

El sistema de variables aplicado consistió en: Variable Independiente (X): Procedencias, Variables dependientes (Y):

1. altura del pseudotallo (AP) (m)
2. diámetro del pseudotallo (DP) (cm)
3. longitud de la hoja (LH) (cm)
4. ancho de la hoja (AH) (cm)
5. número de hojas (NH)
6. longitud del pecíolo (LP) (cm)
7. número de manos
8. longitud del dedo central de la segunda mano (LDCM2^a) (cm)
9. diámetro del dedo de la segunda mano (DDM2^a) (cm).

La variación entre procedencias se caracterizó a través de un análisis de varianza multivariado (MANOVA) en base al modelo lineal: "ecuación (I)".

$$Z_{ij} = \mu + P_i + e_{ij} \quad (I)$$

Donde: Z_{ij} : observación del rasgo para el individuo j de la procedencia i ; μ : media general, P_i : efecto de la procedencia; e_{ij} : componente residual.

Se aplicó la Prueba de Hotelling para los promedios de tratamientos a un nivel de confianza del 95 %.

Para determinar cuáles fueron los descriptores que mostraron mayor variabilidad, se empleó un Análisis de Componentes Principales a partir de la matriz de correlaciones de Spearman. La variación genética de rasgos fenotípicos y variables ambientales, se estableció mediante árboles de regresión, para estimar la regresión mediante una partición recursiva de la muestra de modo binario dividiendo el conjunto de datos a partir de las variables ambientales. Para cada sitio muestreado se registró la precipitación y temperatura media anual. Los datos se obtuvieron de las estaciones meteorológicas situadas en Laguna Naick-Neck, Laguna Blanca y Riacho He He (Departamento Pilcomayo), Provincia de Formosa, Argentina.

Todos los datos se analizaron, a través del programa estadístico InfoStat versión 2017 sobre Windows. Las pruebas se efectuaron con un nivel de significación del 5 % (4).

RESULTADOS

La varianza mostró diferencias altamente significativas entre procedencias (Wilks $p < 0,0001$) para todos los rasgos evaluados, es decir que los fenotipos se comportaron de manera distinta en las diferentes localidades (Tabla 1). También, existieron diferencias significativas ($< 0,01^*$) y altamente significativas ($< 0,0001^{**}$) para las variables

ambientales de las distintas procedencias analizadas. En la prueba de Hotelling, se observó que las medias obtenidas entre grupos fueron significativamente diferentes entre procedencias. Las procedencias de Laguna Blanca y Riacho He He se diferenciaron entre sí, y también de Laguna Naick-Neck y Clorinda (Tabla 2). En la Tabla 3 se observaron los descriptores evaluados que contribuyeron a la caracterización del germoplasma.

El Análisis en Componentes Principales explicó el 87 % de la variancia fenotípica existente en las dos primeras componentes extraídas. La primera componente contempló la característica AP que contribuyó aproximadamente con el 65 % de la variabilidad observada. La segunda componente estuvo compuesta por la variable DP que aportó el 87 % (Tabla 3). En la componente 1, las variables que contribuyeron medianamente a la caracterización fueron: AP, DP, LH y NM. Para la componente 2, sobresalieron las variables: DFM2^a, y AH (Tabla 3).

Los árboles de regresión (Figuras 2 y 3) mostraron que, todos los rasgos estaban asociados de modo significativo o altamente significativo con al menos una variable ambiental. Tanto en la Figura 2 como en la Figura 3, los árboles presentaron nodos terminales, los que estuvieron determinados por las diferencias en precipitaciones y temperaturas medias anuales. Un umbral de TMA y PPMA de aproximadamente 28,2 °C y 61,9 mm, se mostró vinculado con los rasgos AH, AP, DP, LH, y NM (Figura 2).

El 64 % de los individuos muestreados fueron asignados a la partición con valores de TMA y PPMA por debajo o igual al umbral mencionado en el párrafo de arriba. Tanto las PPMA y TMA presentaron varianzas bajas que oscilaron de 0,01 a 0,2 para casi todos los rasgos fenotípicos, a excepción de NM cuya varianza fue mayor 11,2-12,9. Las medias oscilaron entre 0,6 y 16,7 dependiendo del rasgo analizado.

En la Figura 3, se observaron tres nodos terminales para los rasgos LP, NH, LDCM2^a y DFM2^a con un umbral de TMA y PPMA de aproximadamente 27,6 °C y 60,2 mm. El 27 %

Tabla 1. Análisis de la Varianza de los caracteres fenotípicos evaluados (Wilks)

F.V.	Estadístico	F	gL (num)	gL (den)	p
Procedencias		3,0	27	1143	< 0,0001**
PPMA	0,4	54,6	9	391	< 0,0001**
TMA	0,9	2,3	9	391	< 0,01*

*significativa ($p > 0,05$), ** altamente significativa ($p > 0,05$).

PPMA= Precipitación Media Anual, TMA= Temperatura Media Anual

Tabla 2. Test de Comparaciones múltiples: Prueba Hotelling

Proc	AP	DP	LH	AH	NH	LP	NM	DDM2 ^a	LDCM2 ^a
RH	3,0	0,7	2,0	0,8	9,4	0,3	16,8	0,03	0,18
LB	2,9	0,6	2,1	0,8	8,1	0,3	15,5	0,03	0,18
CI	2,8	0,6	2,0	0,7	8,4	0,3	15,3	0,03	0,17
LN	2,9	0,6	2,0	0,8	8,3	0,3	16,2	0,03	0,17

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

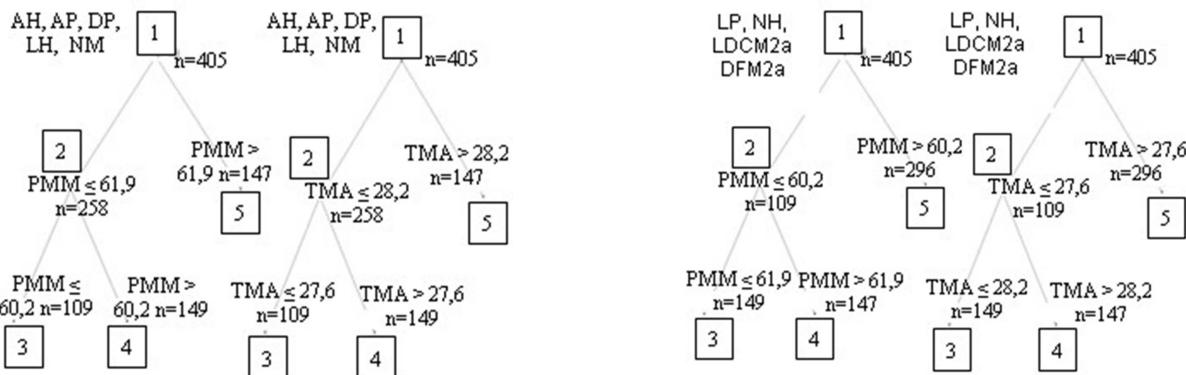
AP = altura del pseudotallo, DP = diámetro del pseudotallo, LH = longitud de la hoja, AH = ancho de la hoja,

NH = número de hojas, LP = longitud del pecíolo, NM = número de manos (tomados en la mano media del racimo), DDM 2^a = diámetro del dedo de la segunda mano, LDCM2^a = longitud del dedo central de la segunda mano

Tabla 3. Análisis de Componentes Principales para variables cuantitativas analizadas

Componente	C1	C2
Autovalores	5,87	1,97
Proporción	0,65	0,22
Prop. Acum	0,65	0,87
Autovectores		
AP	0,39	-0,20
DP	0,40	0,16
LH	0,38	0,14
AH	0,28	-0,50
NH	0,38	0,20
LP	0,17	0,45
NM	0,41	0,03
DDM2a	-0,11	0,65
LDCM2a	0,34	0,02

AP = altura del pseudotallo, DP = diámetro del pseudotallo, LH = longitud de la hoja, AH = ancho de la hoja, NH = número de hojas, LP = longitud del pecíolo, NM = número de manos (tomados en la mano media del racimo), DDM 2^a = diámetro de dedo de la segunda mano, LDCM2a = longitud del dedo central de la segunda mano



PPMA=Precipitaciones Medias anuales; TMA=Temperaturas Medias anuales. AP= Altura del Pseudotallo, DP=Diámetro del Pseudotallo, LH=Longitud de la Hoja, AH=Ancho de la Hoja, NM=Número de Manos

Figura 2. Árboles de regresión para los rasgos altura, y diámetro del pseudotallo, longitud, y ancho de la hoja, número de manos dependiendo de las precipitaciones y temperaturas medias anuales

de los individuos muestreados se asignaron a la partición con valores de TMA y PPMA por debajo o igual al umbral mencionado en el párrafo de arriba.

DISCUSIÓN

Los estudios llevados a cabo en el género *Musa* demuestran que la caracterización morfológica, basada en caracteres de crecimiento, permitieron obtener grupos de individuos con características fenotípicas comunes en un grado de detalle mucho mayor que el alcanzado mediante la sistemática clásica (6-10).

El análisis estadístico de las muestras de los fenotipos recolectados, determinaron la presencia de material heterogéneo, con elevada variabilidad entre procedencias. Datos estadísticamente similares han sido informados por otros investigadores (8-14).

PPMA = Precipitaciones Medias anuales; TMA = Temperaturas Medias anuales. LP=Longitud del Pecíolo, NH=número de hojas, LDCM2a= Longitud del Dedo Central de la segunda Mano), y DDM 2^a (Diámetro del dedo de la segunda Mano)

Figura 3. Árboles de regresión para los rasgos longitud del pecíolo, número de hojas, longitud del dedo central de la segunda mano, y diámetro del dedo de la segunda mano, dependiendo de las precipitaciones y de las temperaturas medias anuales

La altura y el diámetro del pseudotallo conformaron la primera componente, constituyendo una fuente de variabilidad fenotípica entre los clones con valores similares reportados en otros estudios (8). En cuanto al rasgo NM que aportó también, mayor variabilidad en la primera componente; los valores por racimos fueron menores a los obtenidos en la variedad Tafetán Rojo (banano de postre), Cachaco sin bellota, y Cachaco esperma (plátanos de cocción) (14).

El análisis de árboles de regresión, demostró que la variabilidad de la mayor parte de los caracteres cuantitativos estuvo asociada con el ambiente. En este sentido, diversos autores (15-18) comprobaron la existencia de asociaciones significativas entre variables morfológicas y algunos factores climáticos, sugiriendo un control de las precipitaciones sobre el crecimiento en *Faidherbia albida*, y *Neltuma alba* (15).

La dependencia observada con respecto a precipitaciones y temperaturas medias anuales, permitió agrupar individuos cuyos progenitores se desarrollaron en ambientes con diferentes precipitaciones y temperaturas.

CONCLUSIONES

La evaluación y análisis de los descriptores morfológicos de las cuatro procedencias de *Musa* sp, permitió una diferenciación en base a las características fenotípicas de los clones. Para la caracterización morfológica, se analizaron nueve descriptores cuantitativos, siendo la altura y diámetro del pseudotallo, longitud de la hoja, número de hojas, longitud del pecíolo, y el diámetro de dedo de la segunda mano, las variables que más aportaron a la diferenciación de los clones. También, se observó que el análisis basado en árboles de regresión determinó una asociación significativa o altamente significativa con al menos una variable ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

- Ermini J, Tenaglia G, Pratta G. Molecular Diversity in Selected Banana clones (*Mussa* AAA Cavendish) Adapted to the Subtropical Environment of Formosa Province (Argentina). *American Journal of Plant Sciences*. 2018. <https://doi.org/10.4236/ajps.2018.912181>
- Bustamante Intriago E. Selección de material genético de banano cv. Williams (*Musa* AAA) resistente a sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet), mutados con radiación gamma. Quevedo. 2019. UTEQ. p 63. <http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/3842>
- Cedeño Vera, J., y Puerta Napa, A. Caracterización morfoagrómica de 51 selecciones élitres de plátano CV. Barraganete (*Musa* AAB Simmonds) en el valle del Río Carrizal. Proyecto de investigación. Escuela de Ingeniería Agrícola. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.2023.
- Di Rienzo J, Casanoves F, Balzarini M, González L, Tablada M, Robledo C. InfoStat Software Estadístico2017.
- IPGRI. Descriptores para el Banano (*Musa* sp.). INIBAP, Montpellier.1996. ISBN: 92- 9043-307-8.
- Mera C. Caracterización agronómica y sanitaria de mutantes de banano cv. Williams en la Estación Experimental Tropical Pichilingue, Provincia de Los Ríos. Tesis de Grado. Guayaquil, Guayas, Ecuador: Universidad de Guayaquil. 2019. p 78. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/39405>
- Mozombite Tello M. Caracterización botánica y evaluación preliminar del rendimiento en tres ecotipos de *Musa paradisiaca* L. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de San Martín- Tarapoto. 2019. p 54. <http://hdl.handle.net/11458/3601>
- Navia M. Caracterización morfológica de cultivares recolectados de banano y plátano. Lima, Perú: PIA. 2019. <http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6089>
- Zambrano Saltos C. Caracterización morfológica de un banco de germoplasma de banano cv. Williams proveniente de mutagénesis física en la Estación Experimental Tropical Pichilingue. Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. 2020. p 77. <http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6089>
- Gerónimo F, Ibarra Q, Navia M, Aguirre G. Caracterización morfológica de plátano (*Musa paradisiaca* L.) en la Provincia NorYungas de la Paz y Provincia Chapare de Cochabamba, Bolivia. Agrocien-cias Amazonia. 2013;1(2):35-41. <https://es.scribd.com/document/307843358/Caracterizacion-Morfologica-de-Platan-Musa-Paradisiaca-l-en-La-Provincia#download>
- Buitrago Bitar, M., Enrique Valencia, A., Londoño Caicedo, J., Muñoz Flores, J., Villegas Estrada, B., & Santana Fonseca, G. Molecular and morphological characterization of *Musa* spp. (*Zingiberales: musaceae*) cultivars. Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. Univ. Caldas. 2020; 24(1). ISSN 0123-3068. <https://doi.org/10.17151/bccm.2020.24.1.2>
- Mera C. Caracterización agronómica y sanitaria de mutantes de banano cv. Williams en la Estación Experimental Tropical Pichilingue, Provincia de Los Ríos. Tesis de Grado. Guayaquil, Guayas, Ecuador: Universidad de Guayaquil; 2019. 78 p. <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/cc8e8ff2-4881-4a52-ac70-df45316aa8ad/content>
- Navia Montaño M. Caracterización morfológica de cultiva-res recolectados de banano y plátano. Lima, Perú: PIA ACC-UMSS08. 2019. <https://docplayer.es/140038862-Pia-acc-umss-08-caracterizacion-morfologica-de-cultivares-recolectados.html>
- Torres Cabrera D, García Águila L, Bermúdez Caraballosa I, Sarría Z, Hurtado Ribalta O, Delgado E, Pérez A, Fernández Martínez O. Respuesta morfo-agronómica y organoléptica de cinco cultivares de banano (*Musa* sp.) en condiciones de campo. Biotecnología Vegetal. 2020; 20 (1): 43 - 50. ISSN 2074-8647, RNPS: 2154. <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/654/pdf>
- Roser, L. Genética del paisaje en poblaciones de *Prosopis alba* de la provincia de Santiago del Estero. (info:eu-repo/semantics/doctoralThesis). Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 2017. https://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n5874_Roser
- Fontana, L., Pérez, V. y Luna .C. Efecto del origen geográfico sobre la calidad morfológica de plantas de *Prosopis alba* (Fabaceae). 2018. Rev. Biol. Trop, 66; (2), 593-604. Inst. J. Trop. Biol. ISSN 0034-7744. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v66i2.33383>
- Fredrick, C., Muthuri, C., Ngamau, K. & Sinclair, F. (2015). Provenance variation in seed morphological characteristics, germination and early seedling growth of *Faidherbia albida*. *Journal of Horticulture and Forestry*, 7 (5), 127-140. <https://doi.org/10.5897/JHF2015.0392>
- Vega, M.V. (2023). Instalación de un huerto experimental y evaluación fenotípica de *Neltuma alba* (Fabaceae) para la estimación ex situ de parámetros genéticos: heredabilidad y diferenciación entre procedencias. Tesis para optar el título de Doctor en Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Nordeste. Corrientes. Argentina.