



CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE MAÍCES CRIOLLOS DE LA REGIÓN CENTRAL Y ATLÁNTICA DE COSTA RICA

MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF MAIZE LANDRACES FROM CENTRAL AND ATLANTIC REGIONS OF COSTA RICA

Silvia Hernández-Villalobos^{1*}, Orlando Varela-Ramírez¹, Félix Arguello-Delgado¹, Giovanni Garro-Monge², Mairon Madriz-Martínez¹, Alejandro Vargas-Martínez¹ y Rafael Orozco-Rodríguez¹

¹Universidad Nacional de Costa Rica, Escuela de Ciencias Agrarias, Biotecnología Vegetal y Recursos Genéticos para el Fitomejoramiento (BIOVERFI), Heredia, Costa Rica. ²Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Biología, Centro de Investigación en Biotecnología, Cartago, Costa Rica.

*Autor de correspondencia (silvia.hernandez.villalobos@una.cr)

RESUMEN

El maíz criollo (*Zea mays*) costarricense ha venido desapareciendo gradualmente debido a la sustitución por híbridos de alto rendimiento, urbanización de zonas agrícolas, altos costos de producción y el escaso interés de las nuevas generaciones por su conservación. La caracterización morfológica del maíz criollo permite evaluar, describir y cuantificar la magnitud de la variabilidad de estas poblaciones y en Costa Rica hay poca investigación de este tipo. El objetivo de esta investigación fue caracterizar morfológicamente maíces criollos nativos de la región Central y Atlántica de Costa Rica. Se recolectaron muestras de maíz criollo en 11 cantones de febrero 2018 a marzo 2020. Se evaluaron variables cuantitativas y cualitativas tanto en mazorca como en grano. Para cada región se realizó un análisis descriptivo para las variables cualitativas de mazorca y grano y se elaboraron tablas de frecuencias con sus respectivos gráficos. Para las variables cuantitativas se realizó análisis de varianza multivariado ($P \leq 0,05$) y análisis de conglomerados jerárquicos por región, utilizando la distancia de Gower y el método de agrupamiento Ward. En la región Central se encontró alta variabilidad en diámetro de mazorca, granos por hilera, longitud de mazorca, número de hileras, peso de mazorca, así como en ancho, grosor, longitud y peso de grano. Los maíces de la región Atlántica presentan granos de menor tamaño que los de la Región Central. En el análisis de conglomerados, en la Región Atlántica se encontraron dos grupos, donde predominan los granos de color naranja, mientras que en la región Central se encontraron tres grupos, donde predominan los granos blancos y en menor grado los amarillos y púrpura. Este estudio evidenció la presencia de una importante variabilidad morfológica en las mazorcas y grano de maíces criollos tanto en la región Central como en la Atlántica de Costa Rica.

Palabras clave: *Zea mays*, germoplasma, recursos fitogenéticos, variabilidad.

SUMMARY

The Costa Rican maize landraces have been gradually disappearing due to replacement by high-yielding hybrids, urbanization of agricultural areas, high production costs and the low interest of new generations in its conservation. The morphological characterization of maize landraces allows to evaluate, describe and quantify the magnitude of variability in these populations and there is little research of this type in Costa Rica. The objective of this research was to characterize morphologically maize landraces native to the Central and Atlantic regions of Costa Rica. Samples of maize landraces were collected in 11 cantons from February 2018 to

March 2020. Quantitative and qualitative traits were evaluated in both ear and grain. For each region, a descriptive analysis was carried out for the qualitative traits of ear and grain, and frequency tables with their respective graphs were constructed. For the quantitative traits, multivariate analysis of variance ($P \leq 0.05$) and hierarchical cluster analysis using the Gower distance and the Ward clustering method were performed for each region. In the Central region, high variability was found in ear diameter, kernels per row, ear length, number of rows, ear weight, as well as width, thickness, length and kernel weight. The maize of the Atlantic region has smaller grains than that of the Central region. In the cluster analysis two groups were found in the Atlantic region, where orange grains predominate, while three groups were found in the Central region, where white grains and to a lesser extent yellow and purple ones predominate. This study evidenced the presence of a significant morphological variability in the ear and kernels of Costa Rican maize landraces both in the Central and Atlantic regions.

Index words: *Zea mays*, germplasm, plant genetic resources, variability.

INTRODUCCIÓN

El maíz criollo es todo aquel material nativo de una comunidad, que a través de numerosos ciclos de siembra y selección de semilla por parte de los agricultores se mantiene en un sitio específico, región o país (Lima *et al.*, 2022). Los maíces criollos son de interés especial por su contribución a la diversidad mundial como fuentes de genes, lo cual ha permitido el desarrollo de variedades modernas (González-Diéguez y Orozco-Castillo, 2020). La conservación de estos materiales debe constituir un objetivo fundamental, tanto para los agricultores como para los investigadores, ya que es una forma de dar continuidad a los procesos de supervivencia y adaptación genética en las poblaciones locales cultivadas (co-evolución ambiental), lo que permite la aparición de nuevo germoplasma (Cuesta-Hoyos *et al.*, 2022; Pathiarana y Carimi, 2022). La conservación *ex situ* consiste en la ubicación y muestreo de las plantas, y el traslado y almacenamiento del germoplasma obtenido

(semillas, tejidos, órganos, etc.) en lugares alejados de su entorno natural. Se hace por medio del almacenamiento de semillas en bancos de germoplasma, así como la conservación de muestras en forma de plantas vivas o de explantes *in vitro* o crioconservadas (Pérez *et al.*, 2017)

Los recursos fitogenéticos deben ser colectados, conservados y caracterizados con el fin de preservar y aprovechar la variabilidad genética, así como también para promover la disponibilidad de recursos genéticos para usos que incluyen investigación, mejoramiento, educación, agricultura y retorno del material a los agricultores en caso de pérdidas inesperadas (Westengen *et al.*, 2018). La caracterización morfológica de maíces criollos permite evaluar y describir el germoplasma, y también ayuda a precisar y cuantificar que tan variable es el recurso fitogenético; es una herramienta que permite conocer y plantear esquemas más eficientes para su aprovechamiento y conservación, y como una medida preventiva ante la pérdida permanente de la diversidad de estos materiales (Castro *et al.*, 2013; Mathiang *et al.*, 2022). En Costa Rica el maíz se siembra en varias zonas del país, entre ellas la región Brunca (Pérez Zeledón, Buenos Aires, Corredores), la región Huetar Norte (San Carlos, Los Chiles, Guatuso, Upala, Sarapiquí), la región Chorotega (Cañas, La Cruz, Nicoya), región Central (Acosta, Cartago, Heredia Purisca, zona de los Santos) y región Atlántica (Río Frío, Pococí, Guácimo, Siquirres) (Valerín, 2020). Existen indicios de que los maíces criollos de Costa Rica en las tierras altas del Centro y de la Vertiente Atlántica son más afines a los maíces sudamericanos; sin embargo, aún no hay una clasificación satisfactoria de los criollos de maíz en el país (MAG, 2008).

En Costa Rica la producción de maíz ha disminuido sensiblemente en los últimos años, y con ello han desaparecido también muchas de las variedades criollas, que en ocasiones han sido sustituidas por híbridos de alto rendimiento, lo que ha resultado en la erosión genética del cultivo (Baretta *et al.*, 2016; Ortiz, 2015). En Costa Rica, Brenes *et al.* (1993; Com. Pers.)¹ reportaron alrededor de 60 accesiones colectadas entre 1989 y 1993, donde se recopiló información de características del cultivo (datos pasaporte) sin llegar a caracterizarlas morfológicamente; además, Oreamuno y Monge (2018) caracterizaron morfológicamente los granos de maíces criollos de la zona de Guanacaste. Los esfuerzos por estudiar los maíces criollos del país aún son muy

reducidos e incompletos, aún no se tiene conocimiento de las características útiles o del acervo genético de los materiales locales. La caracterización morfológica se considera el paso inicial para conocer esta diversidad genética (Iqbal *et al.*, 2015); por tal razón, se planteó la presente investigación con el objetivo de llevar a cabo una caracterización morfológica de granos y mazorcas de maíz criollo de las regiones Central y Atlántica de Costa Rica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Región de colecta de muestras poblacionales de maíz

Se obtuvieron 38 muestras de maíz criollo en 11 cantones pertenecientes a las regiones Central y Atlántica de Costa Rica (Cuadro 1), de febrero de 2018 a marzo de 2020, en cada sitio se recolectaron las mazorcas provenientes de la parcela o la bodega del productor (mínimo tres mazorcas); en caso de que las mazorcas estuvieran desgranadas, se colectó solo el grano (0.5 kg). A cada muestra se le confeccionó una hoja pasaporte donde se incluyó nombre del productor, teléfono, latitud, longitud, altitud, nombre común del maíz, usos, etc.

Caracterización morfológica

La caracterización morfológica se llevó a cabo en el laboratorio de Recursos Fitogenéticos de la Escuela de Ciencias Agrarias (ECA) de la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA). Se procedió a secar las mazorcas o el grano bajo el sol hasta que la humedad alcanzó 12 %, la humedad se midió con un medidor de humedad (Mini GAC Plus, Dickey-John, Auburn, Illinois, EUA); posteriormente, se registró en el banco de germoplasma de la UNA-ECA mediante un código compuesto por el prefijo UNA y un número consecutivo. Para la caracterización morfológica se utilizaron los descriptores de maíz de CIMMYT-IBPGR (1991), las medidas se tomaron con un vernier digital de 0.01-150 mm (Marca Truper), las variables analizadas se enlistan en el Cuadro 2. El color de los granos se determinó usando las cartas de color de la Royal Horticultural Society Edición V. Una vez tomados los datos el material se almacenó en una cámara fría a 4 °C y 50 % de humedad relativa en recipientes de vidrio etiquetados y sellados con parafina.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis descriptivo de las variables cualitativas de mazorca y grano para cada región; además, se construyeron tablas de frecuencias con sus respectivos gráficos. Para las variables cuantitativas (mazorca y grano) se realizó análisis de la varianza

¹Brenes A., J. C. Saborío, J. Madriz, R. Campos y H. Bolaños (1993) Recolección de germoplasma de maíz en Costa Rica, con énfasis en zonas de altura. Programa de Recursos Fitogenéticos, Escuela de Ciencias Agrarias, Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar, Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.

Cuadro 1. Información incluida en las hojas pasaporte que acompaña a las muestras de maíz criollo colectadas en las regiones Central y Atlántica de Costa Rica.

Cantón	Accesión	Sitio de colecta	Latitud/Longitud	Altitud (m.s.n.m.)	Promedio Temperatura (°C)	
					Max	Min
Región Central						
Guarco	UNA1113	Guarco	09° 41' 13.2"/083° 53' 41.3"	2444	25	15
	UNA1114					
	UNA1115					
	UNA1116					
	UNA1117					
Oreamuno	UNA1118	Oreamuno	09° 54' 45.4"/083° 51' 40.5"	2193	21	13
Llano Grande	UNA1119	Llano Grande	09° 56' 29.3"/083° 54' 53.5"	2312	25	14
	UNA1120					
	UNA1123					
Cartago	UNA1122	Carmen	09° 56' 24.6"/083° 55' 10.1"	2286	25	14
Dota	UNA1097	Copey	09° 38' 10.2474"/083° 55' 46.056"	1861	16	8
	UNA1098					
	UNA1110	Santa María	09° 39' 08.0"/083° 58' 16.2"	1158	16	8
	UNA1111					
	UNA1112	La Cima	09° 39' 25.3"/083° 54' 54.1"	2147	16	8
	UNA1123	Santa María	09° 38' 13.0"/083° 58' 22.1"	1637	16	8
	UNA1124		09° 38' 45.5274"/083° 58' 21.7914"	1571	16	8
Acosta	UNA1102	Sabanilla	09° ' 45' 27.828"/084° 16' 42.2754"	836	26	17
	UNA1103					
	UNA1104	Bajo Bermúdez	09° 47' 07.5"/084° 16' 21.8"	427	26	17
	UNA1105					
Atenas	UNA1125	Atenas	09° 58' 59.0/084° 24' 14.1"	796	29	19
Pérez Zeledón	UNA1099	Pedregoso	09° 22' 36.516"/083° 43' 20.0634"	765	21	13
	UNA1100					
	UNA1101					
	UNA1106	Calle Mora	09° 23' 56.0394"/083° 47' 5.5314"	972	24	13
	UNA1107	Rivas	09° 28' 42.42"/083° 36' 47.988"	1477	24	13
	UNA1108	Rivas Rivas	09° 28' 29.892"/083° 36' 44.1714"	1489	24	13
	UNA1109		09° 29' 12.192"/083° 36' 46.2594"	1556	24	13

Cuadro 1. Cotinuación.

Cantón	Accesión	Sitio de colecta	Latitud/Longitud	Altitud (m.s.n.m.)	Promedio Temperatura (°C)	
					Max	Min
Región Atlántica						
Sarapiquí	UNA1126	San Ramón	10° 21' 35.9994"/084° 6' 35.9994"	82	27	19
	UNA1127	Río Frío	10° 19' 12"/083° 54' 35.9994"	332	27	19
	UNA1128					
Guácimo	UNA1150	Pocora	10° 10' 14.7504"/083° 35' 2.76"	98	31	23
	UNA1151	Guácimo	10° 17' 41.9994"/083° 33' .36"	20	31	23
	UNA1152					
	UNA1153	El bosque	10° 14' 0.2394"/083° 40' 54.12"	85	31	23
	UNA1154					
Talamanca	UNA1133	Sixaola	9° 32' 42.14"/82° 38' 51.5"	20	30	22

Cuadro 2. Variables morfológicas evaluadas en las muestras de maíz criollo recolectadas en la región Central y Atlántica de Costa Rica.

Muestra	Denominación	Abreviatura	Unidad de medida
	Cuantitativas		
Mazorca	Numero de hileras	NMH	número
	Granos por hilera	GH	número
	Longitud	LOM	centímetro
	Diámetro	DIAM	centímetro
	Peso mazorca	PM	gramo
	Cualitativas		
	Forma mazorca	FM	
Grano	Disposición hileras	DH	
	Cuantitativas		
	Longitud	LOGR	centímetro
	Ancho	AGR	centímetro
	Grosor	GGR	centímetro
	Peso 100 granos	PGR	gramo
	Cualitativas		
	Color	CGR	
	Forma	FGR	

multivariado ($P \leq 0.05$), se elaboraron tablas de contingencia para determinar la asociación ($P \leq 0.05$) con los grupos generados; luego, dentro de cada región se procedió a realizar un análisis de conglomerados jerárquicos utilizando la distancia de Gower y el método de agrupamiento de Ward para conocer agrupamientos de accesiones y a partir de esa clasificación se estimaron las medidas de posición y de variabilidad con sus respectivos gráficos (Di Renzo *et al.*, 2020; Wickham, 2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se presentan los valores medios y dispersión de datos para los descriptores de mazorca, donde se destaca que las variables DIAM, GH, LOM, NMH y peso presentan una media más alta para la región Central que para la región Atlántica, también se puede observar que los datos tienen alta variabilidad en la región Central, especialmente en la variable NMH, donde las mazorcas tuvieron entre ocho y 16 hileras. En cuanto al peso de mazorca para esta región, éste presenta un coeficiente de variación de 42.85 %, con pesos entre 76.86 y 503.56 g. En la región Atlántica

las variables para mazorca tuvieron una media más baja, el DIAM tuvo poca variabilidad, con una media de 3.81 y una desviación estándar de 0.35, donde su valor mínimo es 3 cm y el máximo 4.80 cm. En lo que respecta a los pesos de mazorca, éstos se dispersan poco y la mayoría se concentra entre 80 y 120 g, los datos para LOM muestran valores atípicos por encima de la longitud máxima de 23.30 cm. La altitud media donde se recolectó este material fue de 1562 m.s.n.m. para la región Central y para la región Atlántica de 99 m.s.n.m., González-Martínez *et al.* (2020) obtuvieron diferencias estadísticas en 33 caracteres evaluados en poblaciones nativas de maíz en el altiplano de Tamaulipas, México. El nivel de variación en algunos caracteres en maíces criollos es evidencia de que el efecto ambiental de las localidades (condiciones climáticas, edáficas, altitud y temperatura) donde se colectaron las muestras influyen en los atributos o variables en maíces nativos. En el mismo tenor, Cabrera-Toledo *et al.* (2019) mencionaron que las diferencias significativas entre variables de maíz pueden ser atribuidas a las prácticas de selección que el productor ha hecho para tipo de grano, forma y tamaño de mazorca, número de hileras, grosor de olote y precocidad, entre otros criterios.

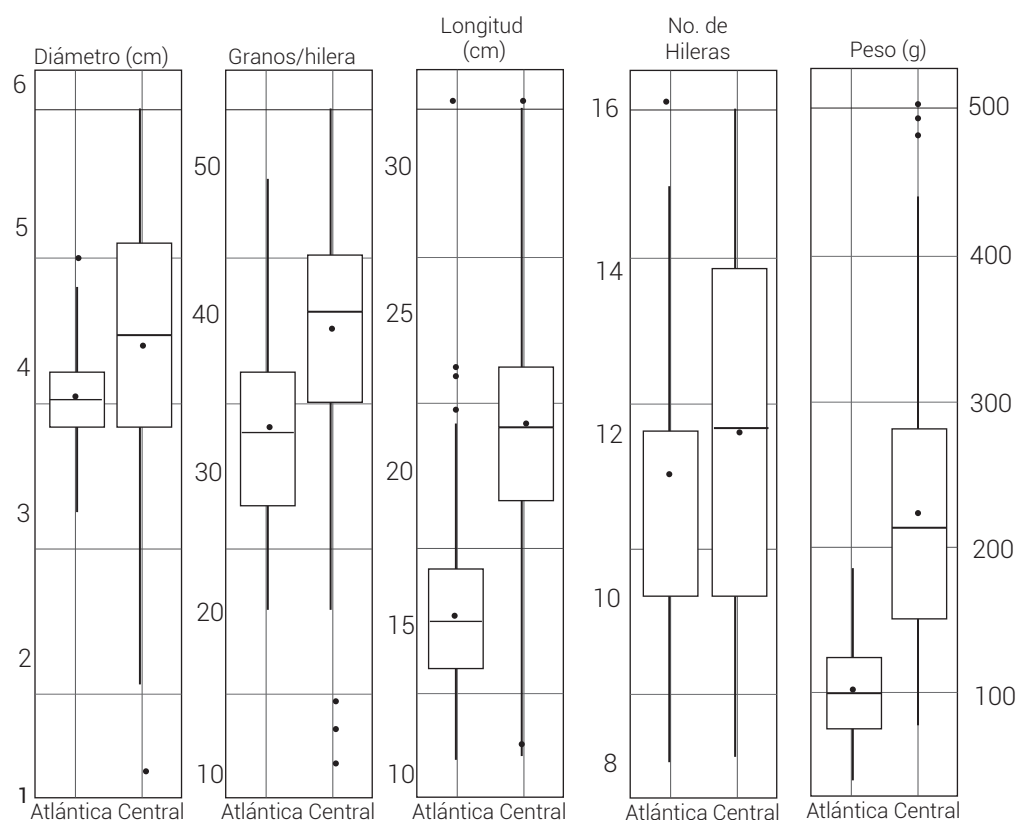


Figura 1. Valores medios de los descriptores de mazorca para las regiones Atlántica y Central de Costa Rica.

En la Figura 2 se observa el comportamiento de valores medios y dispersión de variables de grano analizados para las muestras recolectadas en las regiones Atlántica y Central de Costa Rica; de acuerdo con los datos obtenidos, se puede observar que en las variables asociadas al grano como son AGR, GGR, LOGR y peso de 100 granos, la media fue mayor en la región Central que en la región Atlántica, lo que indica que en promedio los granos son de mayor tamaño en la región Central. En la región Atlántica la variable GGR evidencia una alta variabilidad, donde los datos se concentran entre 0.3 y 0.4 mm; sin embargo, hay muchos datos por encima de estos valores, con un mínimo de 0.20 mm y un máximo de 0.99 mm de grosor, dicha variable presentó un coeficiente de variación de 41.31 %. Al respecto, Oreamuno y Monge (2018), al caracterizar granos de maíces nativos de la región Chorotega de Costa Rica, evidenciaron que las variables AGR, GGR y peso de 100 granos de estos materiales presentaron valores medios más bajos que

los obtenidos en este estudio, independientemente de la región estudiada.

En la Figura 3 se muestra que el DH, tanto en la región Atlántica como en la región Central, es predominantemente de la categoría 1, que son hileras regulares; así mismo, en ambas regiones la disposición de hilera irregular es la que se presentó con menos frecuencia. Para la FM en la región Atlántica se presentó con mayor frecuencia el tipo cilíndrico y en menor grado el tipo cónico, mientras que en la región Central se presenta lo opuesto, siendo las mazorcas con forma cónica las de mayor frecuencia y las cilíndricas las de menor frecuencia. Según Coral *et al.* (2019), a la forma de la mazorca y algunas otras características cualitativas se les puede etiquetar como características de origen genético y poco influenciadas por el ambiente, por lo tanto son propias de los genotipos de cada región.

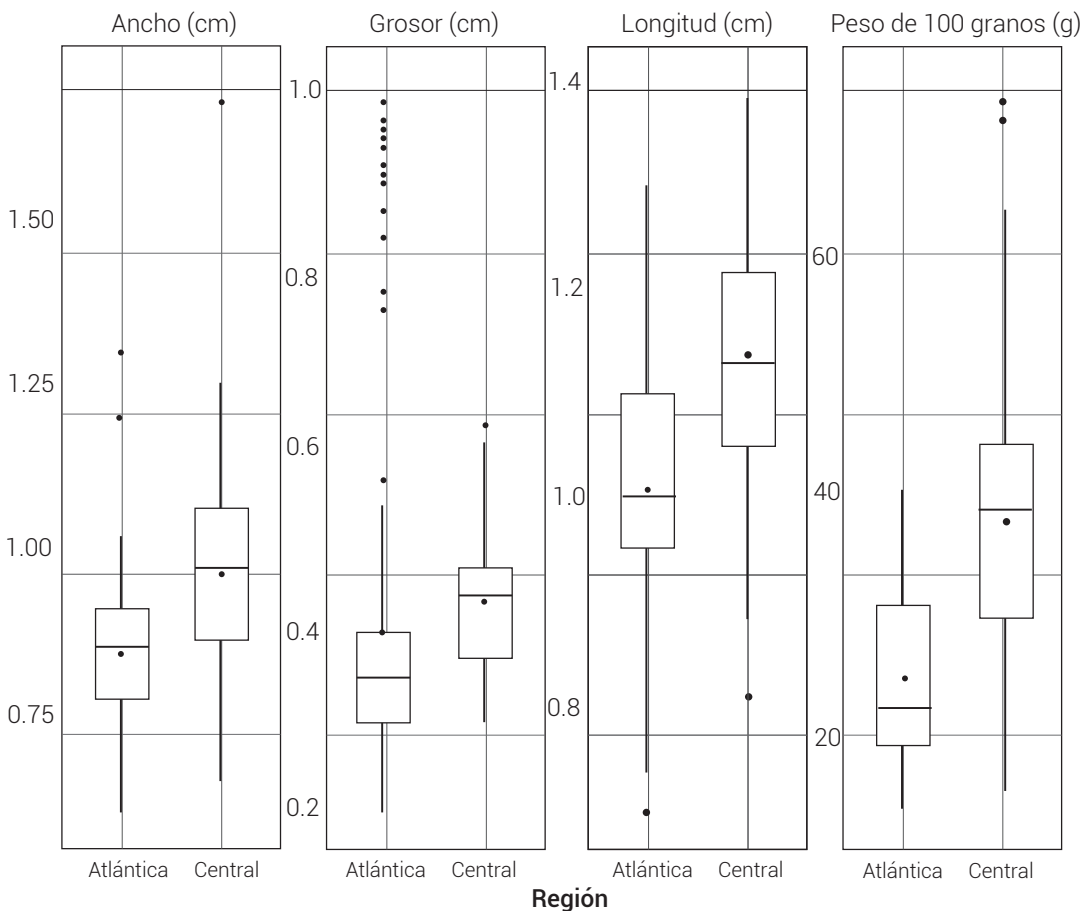


Figura 2. Valores medios y dispersión de datos de las variables de grano para las regiones Atlántica y Central de Costa Rica.

Con respecto a la forma del grano, en la región Atlántica prevaleció la achatada con un 57 %, seguida de la forma 2 o dentada con 18 %, la forma 8 (aplanada) es la que apareció con menor frecuencia. En la región Central la forma se distribuye principalmente entre las categorías 7 (achatada), seguida de granos tipo 9 (alargados) y granos planos o categoría 3; los granos tipo 2 o dentados fueron los que aparecieron con menor frecuencia (Cuadro 3). Al respecto, se destaca que los caracteres cualitativos son menos influenciados por el ambiente, lo que implica que son de mayor utilidad al realizar una caracterización poblacional, sobre todo si ésta se realiza *in situ* (Rocandio-Rodríguez *et al.*, 2014).

Análisis de conglomerados para la zona Atlántica

Para definir las relaciones de similitud entre las accesiones de la zona Atlántica se generó un dendrograma con base en 10 variables cuantitativas. Al examinar las asociaciones entre poblaciones a una distancia de corte de 0.50 se identificaron dos grupos (Figura 4). El grupo 1 quedó conformado por cuatro accesiones mientras el grupo 2 lo conformaron tres accesiones. En el caso del color de grano para la región Atlántica, tanto en el grupo 1 como en el 2 entre el 60 y 63 % del material se encuentra en el espectro de los anaranjados (ON25C, GO172B, etc.) y un 36 % de los granos se encuentra en el espectro del amarillo (YO23A, YO21A). En cuanto a la coloración del grano, la variabilidad en los materiales se puede atribuir a la selección que hacen los productores según sus usos, o al intercambio de semillas entre productores de la región (González-Martínez *et al.*, 2020).

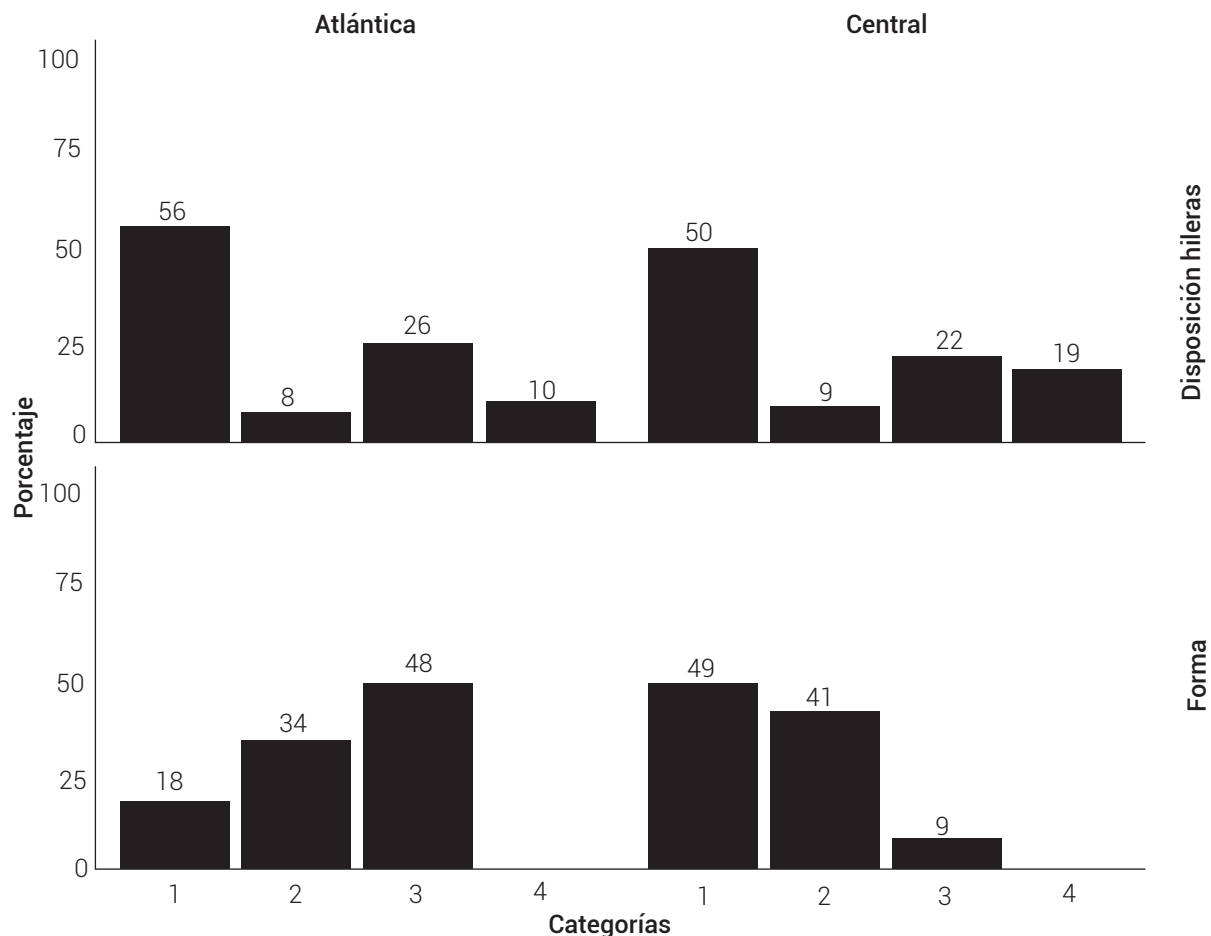


Figura 3. Distribución de las hileras 1: regular, 2: irregular, 3: recta, 4: en espiral, y forma de mazorca para cada región 1: cónica, 2: cónica-cilíndrica, 3: cilíndrica, para las regiones Atlántica y Central de Costa Rica.

Cuadro 3. Distribución de frecuencias para la variable forma del grano para las regiones Atlántica y Central de Costa Rica.

Región	Categorías	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)	FAA [†]	FRA ^{††}
Atlántica	2	29	18	29	0.18
	3	19	12	48	0.29
	4	5	3	53	0.32
	7	94	57	147	0.90
	8	2	1	149	0.91
	9	14	9	163	0.99
	12	1	1	164	1.00
Central	2	1	1	1	0.01
	3	25	19	26	0.20
	4	4	3	30	0.23
	7	37	29	67	0.52
	8	17	13	84	0.65
	9	35	27	119	0.92
	10	10	8	129	1.00

[†]FAA: frecuencia absoluta acumulada, ^{††}FRA: frecuencia relativa acumulada. Categorías: 1: contraído, 2: dentado, 3: plano, 4: redondo, 5: puntiagudo, 6: muy puntiagudo, 7: achatado, 8: aplanado, 9: alargado, 10: punta fina, 11: aguzado.

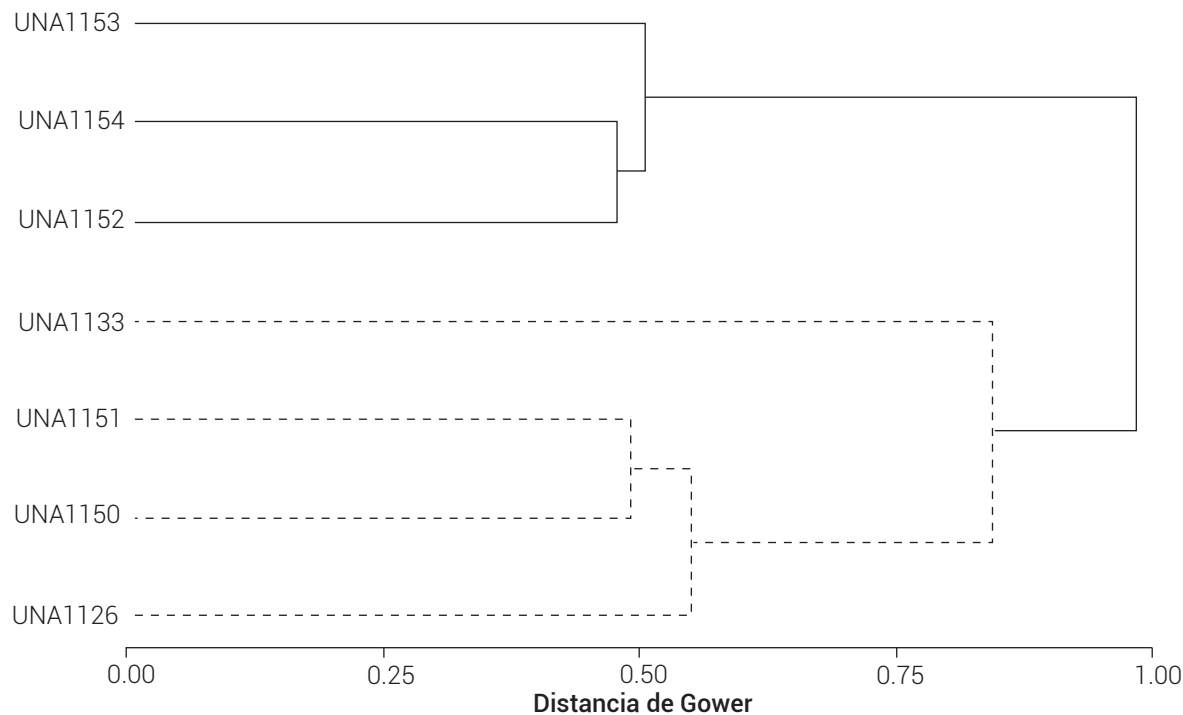


Figura 4. Dendrograma del análisis de conglomerados (método de Ward y distancia de Gower) para las siete accesiones a partir de descriptores de grano y mazorca de la Región Atlántica de Costa Rica.

De acuerdo con el análisis de varianza multivariado (Cuadro 4), en el conglomerado 1 sobresalen las variables NMH (12.30), PM (122.43 g), LOGR (1.05 cm) y PGR (28.35 g), en este grupo se ubican materiales que se colectaron en las zonas de Guácimo, Pocora, Sarapiquí y Talamanca, con una altitud media de 117.43 m.s.n.m. En el grupo 2 se ubican materiales de Guácimo, las variables GH (32.78) y GGR (0.45 mm) son las que destacan en este grupo. Linares-Holguín *et al.* (2019) señalaron que en un trabajo similar en Sinaloa, México el tipo de grano, la forma de grano y la longitud de la mazorca fueron descriptores discriminantes para la identificación de razas de maíz.

El análisis de las variables cualitativas en la región Atlántica demuestra que la DH es independiente de cualquiera de los dos grupos, mientras que para la variable FM la categoría 1 (cónica) prevalece en el grupo 2 con 69 %, para la forma 2 (cónica-cilíndrica) la frecuencia es similar para ambos grupos con un ligero predominio en el grupo 2, mientras que el grupo 1 es el que tiene mayor cantidad de mazorcas de forma 3 (cilíndrica) con una frecuencia del 68 %. En lo que respecta a forma del grano, hay un predominio de las formas dentado (2), plano (3), redondo (4) y aplanado (8) en el grupo 1, mientras que en el grupo 2 las que se presentaron con mayor frecuencia fueron las formas de grano achatado (7). La forma de grano alargada (9) es igual en ambos grupos con 50 % en cada uno (Cuadro 5).

Para definir las relaciones de similitud entre las accesiones de la región Central se generó un dendrograma con base en 10 variables cuantitativas. A una distancia de corte de 0.33, al examinar las asociaciones entre poblaciones se identificaron tres grupos (Figura 5). El grupo 1 conformado por 10 accesiones, todas de color blanco o crema, con 47 % acumulado, el grupo 2 presenta blanco y púrpura y el grupo 3 lo conformaron 11 accesiones con granos en tonos amarillos o naranjas. En varios estudios se encontró que la variabilidad en el

color del grano es un indicador para la caracterización de razas y que la variación genética puede ser agrupada de acuerdo con el color del grano (Hortelano *et al.*, 2008; Tapia *et al.*, 2017).

Análisis de conglomerados para la zona Central

De acuerdo con el análisis de varianza multivariado (Cuadro 6), para el conglomerado 1 sobresalen las variables GH (40.98) LOM (23.82 cm) PM (306.62 g) y peso promedio de 100 granos (46.13 g), en este grupo se ubican materiales que se colectaron en las zonas de Dota, Guarco, Llano Grande, Oreamuno y Pérez Zeledón, con una altitud media de 1936 m.s.n.m. En el grupo 2 las variables DIAM (5 cm) y GGR (0.54 cm) destacan por ser mayores que en los otros dos grupos; sin embargo, este grupo es el que posee el menor GH (22.67) y menor LOM (14.97 cm) en los tres grupos, en el grupo 2 se ubican materiales de la zona del Guarco únicamente, con una altitud promedio de 2444 m.s.n.m.

Cabe destacar que en los grupos 1 y 2 las variables NMH, peso promedio de 100 granos, así como LOGR y AGR son similares para ambos, con 13.02 y 46.13 g, y 1.20 y 1.04 cm, respectivamente, en el grupo 1 y 13.67 y 45.37 g, y 1.17 y 1.04 cm, respectivamente, en el grupo 2. Finalmente, en el grupo 3 se puede observar que el PM (162.08 g), LOM (19.98 cm) y GH (38.76) son mayores que en el grupo 2, pero menores que en el grupo 1, la variable NMH (11.06) es la más baja de los tres grupos, en este grupo se ubicaron materiales colectados en las zonas de Acosta, Atenas, Dota y Pérez Zeledón, con una altitud media de 1224 m.s.n.m. (Cuadro 6).

Las variables cuantitativas en la región Central son dependientes de los grupos en cuanto a la forma de la mazorca, la forma 1 (cónica) prevalece en el grupo 3 con un 71 %, la forma 2 (cónica-cilíndrica) aparece con mayor frecuencia en el grupo 1 con un 60 %, mientras que la forma 3 (cilíndrica) se presentó en un 42 % en el

Cuadro 4. Análisis de varianza multivariado para las variables utilizadas para la separación de grupos en la región Atlántica de Costa Rica.

Conglomerado	Altitud (m s.n.m.)	Mazorca					Grano				n
		NMH	GH	LOM (cm)	DIAM (cm)	PM (g)	LOGR (cm)	AGR (cm)	GGR (cm)	Peso de 100 granos (g)	
1	117.43	12.30	31.97	15.64	3.6	122.43	1.05	0.85	0.37	28.35	77a
2	85.00	10.48	32.78	14.74	3.64	76.43	0.95	0.86	0.45	18.83	67b

Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ($P > 0.05$). NMH: número de hileras, GH: granos por hilera, LOM: longitud de mazorca, DIAM: diámetro de mazorca, PM: peso mazorca, LOGR: longitud de grano, AGR: ancho de grano, GGR: grosor de grano.

Cuadro 5. Frecuencias absolutas y relativas (porcentaje entre paréntesis) por forma de mazorca y grano y por agrupamientos y resultados del análisis de tablas de contingencia.

Descriptor	Categorías	Grupos		Accesiones		Valor de P
		1	2			
Forma de mazorca (FM)(FM)	1	8 (31)	18 (69)	26	12.78	0.0017
	2	22 (45)	27 (55)	49		
	3	47 (68)	22 (32)	69		
Forma de grano (FGR)(FGR)	2	14 (100)	0 (0)	14	43.25	< 0.0001
	3	17 (94)	1 (6)	18		
	4	5 (100)	0 (0)	5		
	7	32 (36)	58 (64)	90		
	8	2 (100)	0 (0)	2		
	9	7 (50)	7 (50)	14		

Categorías FM 1: cónico, 2: cónico-cilíndrico, 3: cilíndrico. Categorías FGR 2: dentado, 3: plano, 4: redondo, 7: achatado, 8: aplanado, 9: alargado, 10: punta fina, 11: aguzado.

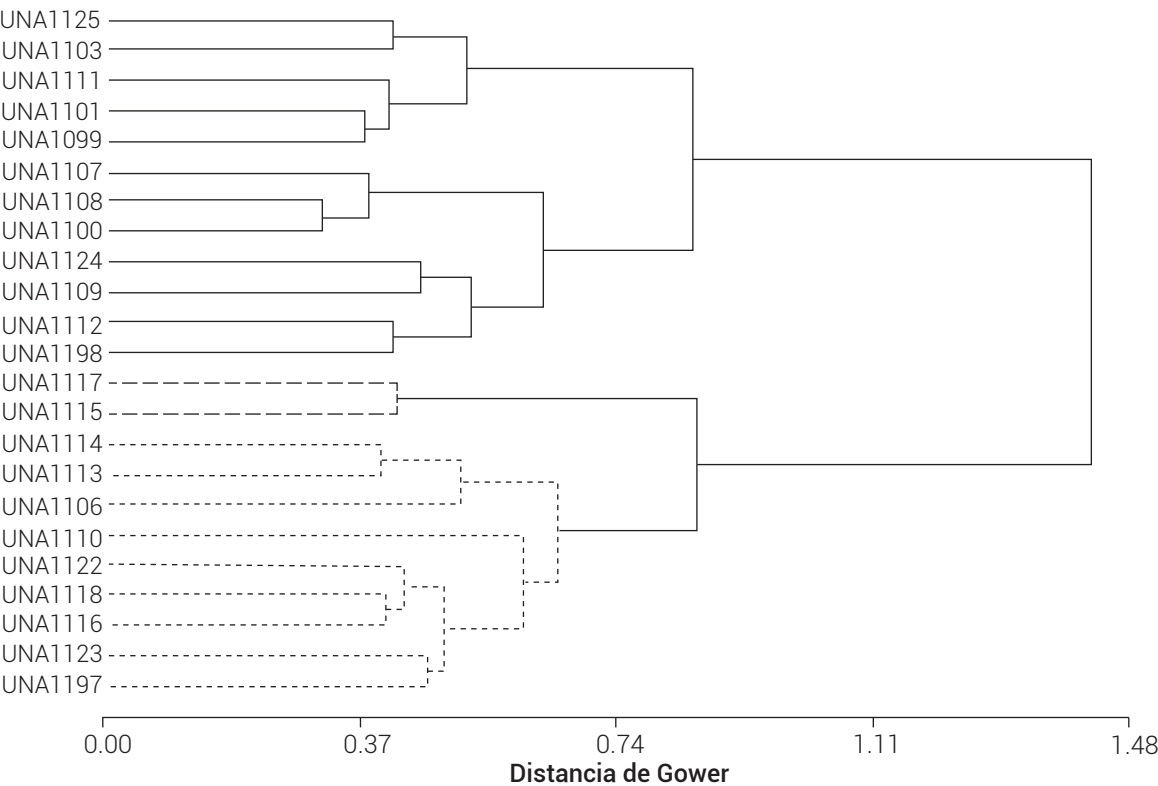


Figura 5. Dendrograma del análisis de conglomerados (método de Ward y distancia de Gower) para las 23 accesiones estudiadas a partir de descriptores de grano y mazorca de la región Central de Costa Rica.

Cuadro 6. Análisis de la varianza multivariado para las variables utilizadas para la separación de grupos en la región Central de Costa Rica.

Grupo	Altitud (m.s.n.m.)	Mazorca					Grano				n
		NMH	GH	LOM (cm)	DIAM (cm)	Peso (g)	LGR (cm)	AGR (cm)	GGR (cm)	Peso de 100 granos (g)	
3	1224	11	37	19.9	3.57	162	1.08	0.89	0.40	31.93	70a
2	2444	13	22.67	14.9	5.03	148	1.17	1.02	0.54	45.37	3b
1	1936	13	40.98	23.8	4.9	306	1.20	1.04	0.47	46.13	51c

Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ($P > 0.05$). NMH: número de hileras, GH: granos por hilera, LOM: longitud de mazorca, DIAM: diámetro de mazorca, PM: peso mazorca, LOGR: longitud de grano, AGR: ancho de grano, GGR: grosor de grano.

Cuadro 7. Frecuencias absolutas y relativas (porcentaje entre paréntesis) por forma de mazorca y de grano, disposición de hileras, y por agrupamientos, y resultados del análisis de tablas de contingencia.

Descriptor	Categorías	Conglomerados			Accesiones	Valor de P
		1	2	3		
Forma de mazorca (FM)	1	18 (29)	0 (00)	45 (71)	63	42.21
	2	32 (60)	0 (00)	21 (40)	53	
	3	5 (42)	3 (25)	4 (33)	12	
Disposición de las hileras (DH)	1	31 (48)	0 (00)	33 (52)	64	30.90
	2	4 (33)	3 (25)	5 (42)	12	
	3	11 (39)	0 (00)	17 (61)	28	
	4	9 (38)	0 (00)	15 (63)	24	
Forma de grano (FGR)	3	16 (73)	2 (09)	4 (18)	22	38.41
	4	2 (50)	0(00)	2 (50)	4	
	7	9 (24)	1 (3)	27 (73)	37	
	8	13 (76)	0 (00)	4 (24)	17	
	9	1 (03)	0 (00)	13 (38)	34	
	10	5 (50)	0 (00)	5 (50)	50	

Categorías FM 1: cónico, 2: cónico-cilíndrico, 3: cilíndrico. Categorías DH 1: regular, 2: irregular, 3: recta, 4: espiral. Categorías FGR 2: dentado, 3: plano, 4: redondo, 7: achatado, 8: aplanado, 9: alargado, 10: punta fina, 11: aguzado.

grupo 1, un 25 % en el grupo 2 y un 33 % en el grupo 3.

La disposición de hileras tipo regular (1), recta (3) y espiral (4) sólo se presentan en los grupos o conglomerados 1 y 3, donde el grupo 3 tiene la mayor frecuencia de aparición en cada una de las disposiciones. Cabe destacar que el conglomerado 2 sólo posee mazorcas con hileras tipo irregular (2) y mazorcas de forma cilíndrica. En cuanto a los granos, el conglomerado

2 sólo presenta las formas plana y achatada (categorías 3 y 7), mientras que en el conglomerado 1 la forma plana y aplanada (categorías 3 y 8) se presentan en mayor frecuencia que en el grupo 3, y las formas achatada y alargada son mayores en el grupo 3 que en el grupo 2. Las formas redonda y punta fina (categorías 4 y 10) se presentan en un 50 % tanto en el grupo 1 como en el grupo 3 (Cuadro7).

Los análisis de varianza multivariada, tanto para la zona Atlántica como para la región Central ayudan a explicar la variación que existe en estas dos áreas del país (Cuadros 5 y 6), características como longitud de mazorca, número de hileras, peso de 100 granos son importantes en los programas de mejoramiento (Pardey-Rodríguez *et al.*, 2016). Valores altos en características como longitud de mazorca y granos por hilera, así como otros componentes de rendimiento sugieren que se trata de materiales vigorosos y productivos (Hortelano *et al.*, 2012).

CONCLUSIONES

Existe una importante diversidad en las características de grano y de mazorca en las recolectas de maíz criollo de las regiones Central y Atlántica de Costa Rica, destacándose valores medios mayores en la región Central. La coloración del grano representa una variable importante en el aporte a la diversidad, lo cual pone de manifiesto que los procesos de selección llevados a cabo por los agricultores de las regiones de estudio tienden a basarse en este aspecto; por ejemplo, los maíces de color blanco se concentraron en mayor frecuencia en la región Central y los maíces purpuras fueron de baja frecuencia en ambas regiones. Los grupos generados por región logran explicar el grado de diversidad encontrada en las características asociadas a los componentes del rendimiento, esto es importante si a futuro se establecen programas de mejora genética de maíces criollos costarricenses para enfrentar la variación del clima.

BIBLIOGRAFÍA

- Baretta D., M. Nardino, I. R. Carvalho, R. Danielowski, H. S. Luche, V. F. de Oliveira, ... and L. C. da Maia (2016) Characterization of dissimilarity among varieties in Brazilian maize germplasm. *Australian Journal of Crop Science* 10:1601-1607, <https://doi.org/10.21475/ajcs.2016.10.12.PNE58>
- Cabrera-Toledo J. M., A. Carballo-Carballo, J. A. Mejía-Contreras, G. García-De los Santos y H. Vaquera-Huerta (2019) Caracterización de poblaciones sobresalientes de maíz de la raza Zapalote Chico. *Revista Fitotecnia Mexicana* 42:269-279, <https://doi.org/10.35196/rfm.2019.3.269>
- Castro N. S., J. A. López S., J. A. Pecina M., M. C. Mendoza C. y C. A. Reyes M. (2013) Exploración de germoplasma nativo de maíz en el centro y sur de Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4:645-653, <https://doi.org/10.29312/remexca.v4i4.1196>
- CIMMYT-IBPGR, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo-International Board for Plant Genetic Resources (1991) Descriptores para Maíz. CIMMYT-IBPGR. Roma, Italia. 88 p.
- Coral V. J. V., H. J. Andrade B., M. M. Pumisacho G., J. D. Caicedo C. y D. R. Salazar V. (2019) Caracterización morfológica y agronómica de dos genotipos de maíz (*Zea mays* L.) en la zona media de la parroquia Malchingui. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías* 11:40-49, <https://doi.org/10.18272/aci.v11i1.1091>
- Cuesta-Hoyos C., L. Oviedo-Olivella y N. Marín-Arredondo (2022) Caracterización morfológica de razas de maíz (*Zea mays* L.) criollos colectados en el municipio de Tuchín, Colombia. *Cultivos Tropicales* 43:e09.
- Di Renzo J. A., F. Casanoves, M. G. Balzaniri, L. González, M. Tablada y C. W. Robledo (2020) Infostat versión 2020. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- González-Diéguez D. O. y C. A. Orozco-Castillo (2020) Identificación de marcadores moleculares (SNP) y genes candidatos asociados a la tolerancia genética al complejo mancha de asfalto en variedades nativas de maíz (*Zea mays* L.). *Ciencia, Tecnología y Salud* 7:218-235, <https://doi.org/10.36829/63cts.v7i2.826>
- González-Martínez J., M. Rocandio-Rodríguez, A. R. Contreras-Toledo, S. Joaquín-Cansino, V. Vayone-Elijio, J. C. Chacón-Hernández y A. Hernández-Bautista (2020) Diversidad morfológica y agronómica de maíces nativos del Altiplano de Tamaulipas, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43:361-370, <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.4.361>
- Hortelano S. R. R., A. Gil M., A. Santacruz V., S. Miranda C. y L. Córdova T. (2008) Diversidad morfológica de maíces nativos del Valle de Puebla. *Agricultura Técnica en México* 34:189-200.
- Hortelano S. R. R., A. Gil M., A. Santacruz V., H. Sánchez L., P. A. López y S. Miranda C. (2012) Diversidad fenotípica de maíces nativos del altiplano centro-oriente del estado de Puebla, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35:97-109, <https://doi.org/10.35196/rfm.2012.2.97>
- Iqbal J., Z. K. Shinwari and M. A. Rabbani (2015) Maize (*Zea mays* L.) germplasm agro-morphological characterization based on descriptive, cluster and principal component analysis. *Pakistan Journal of Botany* 47:255-264.
- Lima L. S. C. F., C. Fachini, V. R. da Silva, J. R. P. Borges y V. A. Forti (2022) Maíz criollo del suroeste de São Paulo, Brasil: diversidad y calidad de semillas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 13:15-28, <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i1.2790>
- Linares-Holguín O. O. M. Rocandio-Rodríguez, A. Santacruz-Varela, J. A. López-Valenzuela, L. Córdova-Téllez, S. Parra-Terraza, ... y P. Sánchez-Peña (2019) Caracterización fenotípica y agronómica de maíces (*Zea mays* spp. *mays* L.) nativos de Sinaloa, México. *Interciencia* 44:421-428.
- MAG, Ministerio de Agricultura y Ganadería (2008) Costa Rica, el Estado de los Recursos Fitogenéticos. Segundo Informe Nacional Conservación y Utilización Sostenible para la Agricultura y Alimentación. San José, Costa Rica. 130 p.
- Mathiang E. A., K. J. Sa, H. Park, Y. J. Kim and J. K. Lee (2022) Genetic diversity and population structure of normal maize germplasm collected in south sudan revealed by ssr markers. *Plants* 11:2787, <https://doi.org/10.3390/plants11202787>
- Oreamuno F. P. y J. E. Monge P. (2018) Maíces nativos de Guanacaste, Costa Rica: caracterización de los granos. *UNED Research Journal* 10:353-361, <https://doi.org/10.22458/urj.v10i2.1956>
- Ortiz C. L. (2015) Productores resguardan el maíz criollo. Campus Digital 6. Oficina de Comunicación, Universidad Nacional de Costa Rica. San José Costa Rica <https://www.unacomunica.una.ac.cr/index.php/multimedios/campus/7-campus-2015?download=76:campus-agosto-2015> (Noviembre 2024).
- Pardey-Rodríguez C., M. A. García-Dávila y N. Moreno-Cortés (2016) Caracterización de maíz procedente del departamento del Magdalena, Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 17:167-190, https://doi.org/10.21930/rcta.vol17_num2_art487
- Pathiarana R. and F. Carimi (2022) Management and utilization of plant genetic resources for a sustainable agriculture. *Plants* 11:2038, <https://doi.org/10.3390/plants11152038>
- Pérez J., E. Araya-Valverde, G. Garro and A. Abdelnour-Esquivel (2017) Analysis of stress indicators during cryopreservation of seeds of landrace maize (*Zea mays*). *Cryo-Letters* 38:445-454.
- Rocandio-Rodríguez M., A. Santacruz-Varela, L. Córdova-Téllez, H. López-Sánchez, F. Castillo-González, R. Lobato-Ortiz, ... and R. Ortega-Paczka (2014) Morphological and agronomic characterization of seven maize races from the highlands of México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37:351-361, <https://doi.org/10.35196/rfm.2014.4.351>
- Tapia B. C. G., N. J. Paredes A., E. J. Naranjo Q., M. V. Tacán P., Á. R. Monteros A., C. F. Pérez R. y Y. M. Valverde V. (2017) Caracterización morfológica de la diversidad de razas de *Zea mays* en la Sierra norte de Ecuador. *La Técnica: Revista de las Agrociencias* 18:6-17, https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i18.802

Valerín R. J. E. (2020) Informe Situacional Granos Básicos 2012-2019: Frijol-Maíz. Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica. San José, Costa Rica. 116 p.

Westengen O. T., K. Skarbø, T. H. Mulesa and T. Berg (2018) Access to genes: linkages between genebanks and farmers' seed

systems. *Food Security* 10:9-25, <https://doi.org/10.1007/s12571-017-0751-6>

Wickham H. (2016) *Ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer. New York. 213 p.