

Estimación de la heredabilidad y asociación entre caracteres agromorfológicos en el cultivo del maíz (*Zea mays*: *Poaceae*)

Heritability estimation and association between agromorphological traits in maize crop (*Zea mays*: *Poaceae*)

Lianne Fernández Granda^{1*}, Guillermo Gálvez Rodríguez², Zoila Margarita Fundora-Mayor¹ y Evelyn Bandera Fernández³

¹Departamento de Recursos Fitogenéticos y Semillas, Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt" (INIFAT), Ministerio de la Agricultura. Calle 188 N. 38754 e/397 y Linderos, Santiago de las Vegas, La Habana, Cuba, CP 17200. ²Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), Carretera a Cujáe Km 2½, Grupo empresarial AZCUBA, Boyeros, La Habana, Cuba, CP 19390. ³Departamento Biología Vegetal, Facultad de Biología, Universidad de La Habana. Calle 25 # 455 / I y J, Plaza de la Revolución, La Habana, Cuba, CP 10400. *Autor para correspondencia (e-mail: genetica1@inifat.co.cu)

RESUMEN

La estimación de componentes de la varianza y parámetros genéticos es útil para direccionar el proceso de selección en programas de mejoramiento. El objetivo de este trabajo fue estimar parámetros genéticos estadísticos en maíces cubanos. Se sembraron 92 accesiones de la colección nacional de maíz; de ellas, cuatro variedades comerciales en un diseño no replicado durante dos años. Se evaluaron diez caracteres vegetativos y 11 de la mazorca y el grano. Se realizó un análisis de varianza bifactorial (años y variedades) entre las parcelas de los testigos, y se calculó un factor de corrección, recomendado para estos diseños, en cada uno de los años. Se determinaron los estadísticos descriptivos y las correlaciones simples de Pearson entre todos los caracteres. La heredabilidad en sentido ancho y su error estándar se estimaron mediante un análisis de varianza bifactorial Modelo II para cada uno de los caracteres, con el programa estadístico SPSS v.11.5. Se detectó una alta correlación entre la altura de la planta y la mazorca, la parte ramificada de la espiga y la longitud de la espiga, así como entre el diámetro de la tusa y el diámetro de la mazorca con brácteas. La mayor parte de los caracteres de la mazorca y el grano mostraron valores de heredabilidad más altos que los vegetativos y de la espiga, excepto el número de hileras de grano y la longitud y el grosor del grano. Los resultados sugieren cautela al tomar decisiones con estos datos porque se trata de heredabilidades en sentido amplio.

Palabras clave: accesiones, diseño no replicado, parámetros genéticos

ABSTRACT

The estimation of the variance components and the genetic parameters is useful to address the selection process in breeding programs. The objective of this paper was to estimate some statistical genetic parameters in Cuban maize varieties. Ninety-two accessions from the national maize collection were sown and four of which were commercial varieties used as control following a Non-Replicated Design for two years. Ten vegetative characters and 11 from the ear and the grain were evaluated. A two-way ANOVA (years and varieties) of the quantitative characters was carried out among the control parcels and a correction factor (recommended for these designs) was calculated for each year. Descriptive statistics and Pearson's simple correlation coefficient was determined among all the characters. The heritability in a broad sense and its standard error were estimated by a two-way ANOVA Model II for each character. All the statistical analysis was performed with the statistical program SPSS v.11.5. A high correlation was detected between the plant and the ear height, the length of the ear and its branched part, as well as among the cob diameter and diameter of the ear with bracts. Most of the ear and grain characters showed heritability values higher than the vegetative and the ear ones, except for the number of grain rows and the length and width of the grain. These results suggest that caution must be taken when using these data for decision-making since they refer to heritability values in the broad sense.

Keywords: accessions, non-replicated design, genetic parameters

Citación: Fernández, L., Gálvez, G. Fundora-Mayor, Z.M. & Bandera, E. 2023. Estimación de la heredabilidad y asociación entre caracteres agromorfológicos en el cultivo del maíz (*Zea mays*: *Poaceae*). *Revista Jard. Bot. Nac. Univ. Habana* 44: 169-179.

Recibido: 5 de octubre de 2022. **Aceptado:** 20 de agosto de 2023. **Publicado en línea:** 19 de diciembre de 2023. **Editor encargado:** Luis Manuel Leyva.

INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista genético, el maíz es la planta mejor estudiada y su evolución ha dejado en manifiesto variaciones heredables de valor científico y económico. Diversas son las investigaciones que se han realizado sobre la genética del maíz. Resultados de Hallauer & Miranda (1988) reflejan la complejidad de la herencia en este cultivo por su reproducción alógama.

El uso de la genética cuantitativa en el maíz ha permitido estimar parámetros importantes, tales como la heredabilidad de los diferentes caracteres, la capacidad combinatoria general y específica de los genotipos, las correlaciones entre los carac-

teres, la respuesta a la selección y los índices para realizarla (Kobso & al. 2022, Ochigbo & al. 2021, Thapa & al. 2021, Tucker & al. 2020). Los programas de mejoramiento genético del maíz se han enfocado en incrementar el rendimiento y calidad del grano, así como la resistencia al estrés biótico y abiótico (Reyes & al. 2017, Bandera 2023). El rendimiento del grano es un carácter cuantitativo típico y es sin dudas el más importante y complejo. Su heredabilidad puede variar desde valores menores del 10 % en plantas individuales en un ambiente determinado, hasta más de 80 % en plantas endocriadas en ambientes repetidos (Silva-Díaz & al. 2018); por lo que los esquemas de selección recurrente han demostrado ser los más eficientes en el mejoramiento y selección

de nuevas variedades (Melendres & al. 2018). De cualquier manera, se debe prestar interés a los diferentes componentes del rendimiento y tener presente que tienen influencia del ambiente, lo cual puede repercutir en los rendimientos finales de las variedades (Das & al. 2019).

En muchas ocasiones, se ha empleado la selección de varios caracteres a la vez, para escoger los mejores genotipos. Sin embargo, la selección de multiatributos, basados en el valor del índice agregado, requiere conocimiento de la estimación de las covarianzas genéticas y fenotípicas entre los atributos que incluye este índice (Tucker & al. 2020, Ochigbo & al. 2021, Thapa & al. 2021).

Por tal razón, es importante utilizar métodos estadísticos que permitan vincular variables categóricas y cuantitativas en un mismo análisis, de modo que se pueda estudiar y comprender con mayor claridad el comportamiento de las accesiones y de las poblaciones de maíz involucradas en los diferentes programas de mejoramiento. Es por ello que esta investigación tiene como objetivo estimar la heredabilidad y la asociación de caracteres agromorfológicos en accesiones del maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de la variabilidad de la colección *ex situ*

A partir de la colección *ex situ* de maíz del Banco Central de Germoplasma del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical (INIFAT), en Santiago de Las Vegas, Boyeros, La Habana, se tomó una muestra de 88 accesiones, procedentes de las colectas realizadas en Cuba durante el desarrollo del programa INIFAT-ZIGuK (actual *Institut für Kulturpflanzenforschung*, IPK), entre los años 1982 y 1992. Además, se usaron como testigos cuatro variedades comerciales: 'Gíbara', 'Pajimaca', 'Victoria' y 'Francisco Mejorado' (Fernández & al. 2014), para un total de 92 accesiones, las cuales fueron sembradas en un diseño No Replicado (IPGRI 2001).

Las parcelas constaron de cinco surcos por accesión, de 3,5 m de longitud, y se evaluaron 21 descriptores (Tabla I) de los referidos por CIMMYT/IBPGR (1991). A los efectos de este descriptor, para el cultivo, la inflorescencia masculina es la espiga o panícula y la inflorescencia femenina es la que una vez fecundada se convierte en mazorca.

TABLA I

Caracteres evaluados en 92 accesiones de maíz del banco central de germoplasma en condiciones *ex situ*

TABLE I

Traits evaluated in the 92 maize accessions from Central Bank of Germplasm in *ex situ* conditions

	Caracteres cuantitativos (UM)	Acrónimo	Tamaño de la muestra
1	Altura de la planta (cm)	AP	10 plantas por accesión
2	Altura de la mazorca (cm)	AM	
3	Número de hojas totales	NHT	
4	Número de hojas arriba de la mazorca	NHAM	
5	Longitud de las hojas (cm)	LH	
6	Ancho de las hojas (cm)	AH	
7	Número de mazorcas/planta	NM	
8	Longitud de la espiga (cm)	LE	
9	Longitud del pedúnculo (cm)	LP	
10	Longitud de la parte ramificada de la espiga (cm)	LPRE	
11	Longitud de la mazorca con brácteas (cm)	LMB	7 mazorcas/accesión
12	Diámetro de la mazorca con brácteas (cm)	DMB	
13	Longitud de la mazorca sin brácteas (cm)	LM	
14	Diámetro de la mazorca sin brácteas (cm)	DM	
15	Número de granos por hilera	NGH	
16	Número de hileras de granos	NHG	
17	Diámetro de la tuza (cm)	DT	
18	Longitud del grano (mm)	LG	10 granos/mazorca/accesión
19	Ancho del grano (mm)	AG	
20	Grosor del grano (mm)	GrG	
21	Peso de 100 semillas (g)	P100S	3 muestras homogeneizadas

Los experimentos se realizaron en la Finca La Amalia, del municipio Boyeros, provincia La Habana, en los meses de septiembre del 2013 y enero del 2014, y se siguieron las recomendaciones técnicas publicadas para el cultivo según López & Gil (2014). Para describir la variabilidad fenotípica de la colección *ex situ*, se realizó un análisis de varianza bifactorial (años y variedades) de los caracteres cuantitativos entre las parcelas de los testigos, y se calculó un factor de corrección, recomendado para los diseños no replicados en cada uno de los años de acuerdo con lo planteado por Steel & al. (1980). Cada accesión corresponde a una variedad prospectada.

Posteriormente, para las 92 accesiones, se calculó la media entre ambos años con el objetivo de manejar una sola matriz de datos. A dicha matriz, se le determinaron los estadísticos descriptivos más importantes (coeficiente de variación, desviación estándar y valor promedio general). De igual forma, se verificó el cumplimiento de la premisa de ajuste a la distribución normal bivariada para todos los caracteres y se calcularon las correlaciones simples de Pearson entre todos los caracteres.

Estimación de los componentes de la varianza y la heredabilidad en sentido ancho

Con vistas a estimar la Esperanza de los Cuadrados Medios (ECM), la heredabilidad en sentido ancho (h^2) y su error estándar, se realizaron análisis de varianza bifactoriales Modelos de efectos aleatorios para cada uno de los caracteres. Las Esperanzas de los Cuadrados Medios (ECM) se estimaron a partir de un modelo lineal aleatorio o Modelo II (Searle 1971), así como el procedimiento de Fisher (1935) para ponderar el valor de las varianzas. Para estos análisis se utilizó el programa estadístico SPSS v.11.5 (2002).

El modelo lineal utilizado para el procesamiento estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + V_i + A_j + (V \times A)_{ij} + e_{ijk}$$

Donde:

- Y_{ijk} - valor fenotípico de la *i*-ésima variedad, en cada año, asociado a la *k*-ésima réplica
- μ - la media general del experimento,
- V_i - efecto aleatorio de la *i*-ésima variedad, $i = 1, \dots, 92$
- A_j - efecto aleatorio del *j*-ésimo año, $j = 1, 2,$
- $(V \times A)_{ij}$ - efecto aleatorio de la interacción de la *i*-ésima variedad con el *j*-ésimo año,
- e_{ijk} - error experimental

La heredabilidad en sentido ancho (h^2) fue estimada a partir de las componentes de varianza de las variedades, los años, su interacción y el error, que se obtuvieron de las esperanzas matemáticas de los cuadrados medios, del análisis de varianza bifactorial cuyo modelo lineal fue establecido previamente. Los errores estándar de las componentes de varianza y de la heredabilidad en sentido ancho fueron obtenidos mediante las fórmulas propuestas por Anderson & Bancroft (1952), y

revisadas por Becker (1984).

La heredabilidad fue calculada con el empleo de la siguiente fórmula planteada por Becker (1984):

$$h^2 = \frac{\sigma_V^2}{\sigma_V^2 + \sigma_A^2 + \sigma_{V \times A}^2 + \sigma_{e/R}^2}$$

Donde:

h^2 - heredabilidad en sentido ancho

σ_V^2 - varianza de las variedades

σ_A^2 - varianza de los años

$\sigma_{(V \times A)}^2$ - varianza de la interacción de las variedades por los años,

σ_e^2 - varianza del error

R - Número de evaluaciones (3, 7, 10)

Los errores estándares se calcularon con el empleo de la siguiente fórmula:

$$E.S. (h^2) = \sqrt{\frac{2(1-h)^2(1+(k-1))r^2}{k(k-1)(n-1)}}$$

Donde:

h^2 - heredabilidad en sentido ancho

n - número de accesiones (92)

k - número de mediciones (1)

r - número de réplicas (3, 7, 10)

Los valores de heredabilidad en sentido ancho se clasificaron de acuerdo al criterio de Khan & al. (2018) y Bista & al. (2022). Los valores mayores que 0,60 fueron considerados altos, los valores entre 0,30 y 0,60 como medios, y aquellos menores que 0,30 como bajos. Solamente se discutirán los valores por encima de 0,40, ya que se consideró que estas son las asociaciones que muestran patrones naturales de variación, según lo reportado por Fundora & al. (1992).

RESULTADOS

Caracterización de la variabilidad en la colección *ex situ* de maíz

En la Tabla II, se puede apreciar que los valores de coeficiente de variación oscilaron entre 7,78 % y 18,03 % para los caracteres vegetativos, donde los mayores valores correspondieron al número de mazorcas y al número de hojas por encima de la mazorca con el valor más bajo. De igual forma, se observó que la mayor variabilidad se encontró en los caracteres de la espiga, específicamente la longitud del pedúnculo (38,73 %), seguida por la longitud de la parte ramificada de la espiga. Para el resto de los caracteres evaluados, los valores fueron intermedios. El error típico de la media para todos los caracteres alcanzó valores bajos (inferior a 0,43), excepto para altura de la planta y de la mazorca y la longitud de la hoja, cuyos valores oscilaron entre 1,02 y 2,87; esto está muy relacionado con la interacción con el ambiente.

En la Tabla III, se aprecia que la mayor variabilidad fenotípica correspondió a los caracteres diámetro de la tuza y número de granos por hilera con 18,44 % y 15,57 % respectivamente; y la menor, para el número de hileras de granos con 8,22 %. Los valores de error típico de la media se pueden catalogar

de bajos para los caracteres diámetro de la mazorca con brácteas y sin brácteas y para el diámetro de la tuza, donde sobresalen el número de granos por hilera y la longitud de la mazorca con brácteas con los mayores valores.

De igual forma, en la Tabla III, se observa que la mayor variabilidad fenotípica correspondió al peso de 100 semillas, seguido por el ancho de grano. Los valores de error típico de la media se pueden catalogar de bajos, excepto para el carácter peso de 100 semillas con valor igual a 0,50, e igual tendencia se observó para la desviación estándar. De esto se puede establecer que los caracteres con mayor aporte a la variabilidad fenotípica fueron: peso de 100 semillas, diámetro de la tuza, número de granos por hilera y ancho del grano.

La matriz de correlación entre cada par de caracteres cuantitativos, correspondiente a la planta y la espiga, se muestra en la Tabla IV, donde se observa que 14 de los 45 coeficientes de Pearson calculados fueron significativos con un valor de $p < 0,05$.

Los mayores valores del coeficiente de correlación se encontraron entre los caracteres altura de la mazorca (AM) y la planta (AP), con un valor de $r = 0,84$; la longitud de la parte ramificada de la espiga (LPRE) y la longitud de la espiga (LESP), con un valor de $r = 0,82$, seguida por el número de hojas arriba de la mazorca (NHAM) y el número de hojas totales (NHT) con $r = 0,54$.

TABLA II

Estadígrafos en los caracteres vegetativos y la espiga en la colección del Banco Central de Germoplasma en condiciones *ex situ* de maíz

AP: Altura de la planta, AM: Altura de la mazorca, NM: Número de mazorcas, NHT: Número de hojas totales, NHAM: Número de hojas por arriba de la mazorca, LH: Longitud de la hoja, AH: Ancho de la hoja, LESP: Longitud de la espiga, LP: Longitud del pedúnculo, LPRE: Longitud de la parte ramificada de la espiga.

TABLE II

Statistics evaluated in the vegetative character and the tassel in maize crop collection from Central Bank of Germplasm in *ex situ* conditions

AP: Plant height, AM: Ear height, NM: ear number, NHT: Number of leaves above the ear, NHAM: Number of total leaves, LH: Leave length, AH: Wide leaves, LESP: Tassel length, LP: Peduncle length, LPRE: Tassel branches length.

Estadígrafo	Vegetativos						Espiga			
	AP (cm)	AM (cm)	NM	NHT	NHAM	LH (cm)	AH (cm)	LESP (cm)	LP (cm)	LPRE (cm)
Media (n = 92)	193,16	109,14	1,31	14,89	6,70	90,78	8,60	38,37	3,87	30,13
Error típico de la media	2,87	1,92	0,02	0,17	0,05	1,02	0,11	0,42	0,16	0,43
Coefficiente de Variación (%)	14,25	16,84	18,03	11,15	7,78	10,77	11,84	10,53	38,75	13,55
Desviación típica	27,52	18,38	0,24	1,66	0,52	9,78	1,02	4,04	1,50	4,08

TABLA III

Estadígrafos por carácter evaluado en la mazorca y los granos de la colección de maíz del Banco Central de Germoplasma en condiciones *ex situ*

LMB: Longitud de la mazorca con brácteas, DMB: Diámetro de la mazorca con brácteas, LM: Longitud de la mazorca, DM: Diámetro de la mazorca, DT: Diámetro de la tuza, NGH: Número de granos por hilera, NHG: Número de hileras de grano, LG: Longitud del grano, AG: Ancho del grano, GRG: Grosor del grano y P100S: Peso de 100 semillas.

TABLE III

Statistics by character evaluated in the cob and the kernels of maize collection from Central Bank of Germplasm in *ex situ* conditions

LMB: Length of the ear, DMB: Diameter of the ear, LM: Length of the cob, DM: Corn diameter, DT: Cob diameter, NGH: Number of kernels per row, NHG: Number of rows of kernel, LG: Kernel Length, AG: Kernel width, GRG: Kernel thickness and P100S: 100 kernel weight.

Carácter y unidad de medida	Mazorca						Granos				
	LMB (cm)	DMB (cm)	LM (cm)	DM (cm)	DT (cm)	NGH	NHG	LG (mm)	AG (mm)	GRG (mm)	P100S (g)
Media (n=92)	25,68	4,77	14,21	4,02	2,43	28,11	14,21	0,99	0,80	0,38	21,54
Error típico de la media	0,30	0,06	0,19	0,04	0,05	0,46	0,12	0,01	0,01	0,00	0,50
Coefficiente de Variación (%)	11,37	13,07	13,00	11,30	18,44	15,57	8,22	12,87	14,36	11,18	22,48
Desviación típica	2,92	0,62	1,85	0,45	0,45	4,38	1,17	0,13	0,12	0,04	4,84

La matriz de correlación entre cada par de caracteres, correspondientes a la mazorca y el grano, se muestra en la Tabla V, donde se observa que 33 de los coeficientes fueron significativos para ($p < 0,05$). Entre las variables relacionadas con las dimensiones de la mazorca, los valores más altos del coeficiente de correlación se encontraron para el diámetro de la tuza (DT) y el diámetro de la mazorca con brácteas (DMB), con un valor de $r = 0,71$; así como para el número de granos por hilera (NGH) y la longitud de la mazorca (LM) con un valor de $r = 0,65$.

Otras asociaciones importantes fueron la longitud de la mazorca (LM), la longitud de la mazorca con brácteas (LMB) ($r = 0,46$) y el diámetro de la mazorca (DM) con el diámetro de la mazorca con brácteas (DMB) ($r = 0,42$). Las asociaciones del número de hileras de granos (NHG), con el diámetro de la mazorca con brácteas (DMB) y el diámetro de la tuza (DT), en su orden respectivo, estuvieron correlacionadas ($r = 0,40$ y $r = 0,41$) y, a su vez, el diámetro de la tuza (DT) con el diámetro de la mazorca (DM) ($r = 0,40$). Entre las variables del grano con asociaciones sobresalieron la longitud del grano (LG) y la longitud de la mazorca (LM) ($r = 0,42$) y entre el ancho del grano (AG) con el diámetro de la mazorca (DM) ($r = 0,44$).

La variable con mayor cantidad de asociaciones fue el peso de 100 semillas (P100S). Esta variable, en su orden, presentó correlaciones con la longitud de la mazorca con y sin brácteas (LMB y LM), ambas con valores de $r = 0,49$, el diámetro de la mazorca con y sin brácteas (DMB y DM) con $r = 0,65$ y r

$= 0,50$, respectivamente, y con el diámetro de la tuza (DT) $r = 0,48$. También para la longitud y ancho del grano (AG) con coeficientes de correlación de $r = 0,42$ y $r = 0,52$, respectivamente.

Estimación de los componentes de varianza y la heredabilidad en sentido ancho

La estimación de las varianzas mostró, en general, poco efecto de los años, de las variedades y de la interacción de las variedades con los años, a excepción de los caracteres altura de la planta y la mazorca (AP y AM), longitud de la hoja (LH), longitud de la espiga (LESP) y de la parte ramificada de la espiga (LPRE) (Tabla VI).

En la Tabla VI, se evidencia la baja heredabilidad obtenida para los caracteres longitud de la espiga y de la parte ramificada de la espiga (0,09 y 0,006), respectivamente, ya que para la altura de la planta (AP) y la mazorca (AM) los valores obtenidos pueden catalogarse de medios a altos, pues oscilaron entre 0,65 y 0,56, respectivamente. Para el ancho de la hoja (AH), el valor de heredabilidad pudo valorarse de intermedio (0,49). Para el resto de los caracteres, los estimados se consideraron de intermedio a bajo, y oscilaron entre 0,24 y 0,33. Los errores estándar de los valores de la heredabilidad, para los caracteres de la planta y la espiga, pueden considerarse bajos.

En las Tablas VII y VIII, se puede constatar que, para los caracteres de la mazorca y el grano, la estimación de las varianzas en general mostró solamente efecto de los años

TABLA IV

Coefficientes de correlación de Pearson y su significación estadística obtenidos para los caracteres de la planta y la espiga, utilizados en la clasificación de 92 accesiones de maíz del Banco Central de Germoplasma en condiciones ex situ

AP: Altura de la planta, AM: Altura de la mazorca, NM: Número de mazorcas, NHT: Número de hojas totales, NHAM: Número de hojas por arriba de la mazorca, LH: Longitud de la hoja, AH: Ancho de la hoja, LESP: Longitud de la espiga, LP: Longitud del pedúnculo, LPRE: Longitud de la parte ramificada de la espiga. Correlación significante al nivel 0,05 (*) y 0,01 (**).

TABLE IV

Pearson correlation coefficients and their significance obtained for plant and ear characters, used in the classification of 92 maize accessions from Central Bank of Germplasm in ex situ conditions

AP: Plant height, AM: Ear height, NM: Ear number, NHT: Number of total leaves, NHAM: Number of leaves above the uppermost ear, LH: Leaf length, AH: Wide leaves, LESP: Tassel length, LP: Peduncle length, LPRE: Tassel branches length. Significant correlation at levels 0,05 (*) and 0,01 (**).

	AP	AM	NM	NHT	NHAM	LH	AH	LESP	LP	LPRE
AP	1									
AM	0,84(**)	1								
NM	0,18	0,21(*)	1							
NHT	0,27(**)	0,30(**)	-0,06	1						
NHAM	0,09	0,08	-0,16	0,54(**)	1					
LH	0,34(**)	0,29(**)	-0,1	0,03	-0,03	1				
AH	0,01	0,02	0,01	-0,02	-0,13	0,06	1			
LESP	0,27(**)	0,31(**)	-0,15	0,33(**)	0,19	0,13	0,02	1		
LP	0,07	-0,05	0,08	-0,15	-0,02	-0,03	-0,01	0,24(*)	1	
LPRE	0,2	0,27(**)	-0,1	0,30(**)	0,08	0,09	0,03	0,82 (**)	0	1

TABLA V

Coefficientes de correlación de Pearson y su significación obtenidos para los caracteres de la mazorca y el grano, utilizados en la clasificación de 92 accesiones de maíz del Banco Central de Germoplasma en condiciones *ex situ*

LMB: Longitud de la mazorca con brácteas, DMB: Diámetro de la mazorca con brácteas, LM: Longitud de la mazorca, DM: Diámetro de la mazorca, DT: Diámetro de la tuza, NGH: Número de granos por hilera, NHG: Número de hileras de grano, LG: Longitud del grano, AG: Ancho del grano, GRG: Grosor del grano y P100S: Peso de 100 semillas. Correlación significativa al nivel 0,05 (*) y 0,01 (**).

TABLE V

Pearson correlation coefficients and their significance obtained for cob and kernel characters, used in the classification of 92 maize accessions from Central Bank of Germplasm in *ex situ* conditions

LMB: Length of the ear, DMB: Diameter of the ear, LM: Length of the cob, DM: Corn diameter, DT: Cob diameter, NGH: Number of kernels per row, NHG: Number of rows of kernel, LG: Kernel Length, AG: Kernel width, GRG: Kernel thickness and P100S: 100 kernel weight. Significant correlation at 0,05 (*) and 0,01 (**) level.

	LMB	DMB	LM	DM	DT	NGH	NHG	LG	AG	GRG	P100S
LMB	1,00										
DMB	0,34(**)	1,00									
LM	0,46(**)	0,33(**)	1,00								
DM	0,25(*)	0,42(**)	0,31(**)	1,00							
DT	0,18	0,71(**)	0,10	0,40(**)	1,00						
NGH	0,24(*)	0,36(**)	0,65(**)	0,22(*)	0,08	1,00					
NHG	-0,05	0,40(**)	0,08	0,11	0,41(**)	0,16	1,00				
LG	0,31(**)	0,38(**)	0,42(**)	0,22(*)	0,24(*)	0,38(**)	0,26(*)	1,00			
AG	0,33(**)	0,39(**)	0,08	0,44(**)	0,30(**)	0,12	0,01	0,17	1,00		
GRG	0,30(**)	0,18	-0,01	0,13	0,17	-0,17	0,16	-0,19	0,15	1,00	
P100S	0,49(**)	0,65(**)	0,49(**)	0,50(**)	0,48(**)	0,35(**)	0,12	0,42(**)	0,52(**)	0,16	1,00

TABLA VI

Estimación de los componentes de varianza y la heredabilidad en sentido ancho (h^2) para los caracteres de la planta y la espiga de la colección de maíz del Banco Central de Germoplasma en condiciones *ex situ*

AP: Altura de la planta, AM: Altura de la mazorca, NM: Número de mazorcas, NHT: Número de hojas totales, NHAM: Número de hojas por arriba de la mazorca, LH: Longitud de la hoja, AH: Ancho de la hoja, LESP: Longitud de la espiga, LP: Longitud del pedúnculo, LPRE: Longitud de la parte ramificada de la espiga, gl: Grados de libertad.

TABLE VI

Estimates of variance components and the heritability in board sense (h^2) for characters of the plant and the tassel of maize crop collection from Central Bank of Germplasm in *ex situ* conditions

AP: Plant height, AM: Ear height, NM: Ear number, NHT: Number of leaves above the uppermost ear, NHAM: Number of total leaves, LH: Leaf length, AH: Wide leaves, LESP: Tassel length, LP: Peduncle length, LPRE: Tassel branches length, gl: Degree of freedom.

	gl	AP	AM	NM	NHT	NHAM	LH	AH	LESP	LP	LPRE
Año (A)	1	31,81	6,50	0,00	0,06	0,03	16,61	0,00	11,20	0,02	93,94
Variedad (V)	91	673,76	233,12	0,01	0,59	0,10	59,12	0,31	2,60	0,43	0,17
A x V	91	285,55	143,96	0,01	1,02	0,23	59,42	0,23	11,93	0,94	11,65
Error	1656										
h^2		0,65	0,56	0,26	0,33	0,25	0,42	0,49	0,09	0,24	0,006
Error estándar		0,07	0,08	0,11	0,10	0,11	0,10	0,09	0,12	0,11	0,12

TABLA VII

Estimación de los componentes de varianza y la heredabilidad en sentido ancho (h^2) para los caracteres de la mazorca en la colección de maíz del Banco Central de Germoplasma en condiciones *ex situ*

LMB: Longitud de la mazorca con brácteas, DMB: Diámetro de la mazorca con brácteas, LM: Longitud de la mazorca, DM: Diámetro de la mazorca, DT: Diámetro de la tuza, NGH: Número de granos por hilera, NHG: Número de hileras de grano, gl: Grados de libertad.

TABLE VII

Estimates of variance components and the heritability in board sense (h^2) for characters of the ear in the maize crop collection from Central Bank of Germplasm in *ex situ* conditions

LMB: Length of the ear, DMB: Diameter of the ear, LM: Length of the cob, DM: Corn diameter, DT: Cob diameter, NGH: Number of kernels per row, NHG: Number of rows of kernel, gl: Degree of freedom

Fuente	gl	LMB	DMB	LM	DM	DT	NGH	NHG
Año (A)	1	0,28	0,05	0,08	0,01	0,02	0	1,96
Variedad (V)	91	6,08	0,32	2,59	0,22	0,19	13,35	0,91
A x V	91	1,75	0,07	0,88	0,03	0,01	4,54	0,54
Error	1104							
h^2		0,64	0,67	0,62	0,79	0,62	0,60	0,24
Error estándar		0,09	0,09	0,09	0,07	0,09	0,10	0,13

TABLA VIII

Estimación de los componentes de varianza y la heredabilidad en sentido ancho (h^2) para los caracteres del grano en la colección de maíz del Banco Central de Germoplasma en condiciones *ex situ*

LG: Longitud del grano, AG: Ancho del grano, GRG: Grosor del grano y P100S: Peso de 100 semillas, gl: Grados de libertad.

TABLE VIII

Estimates of variance components and the heritability in board sense (h^2) for kernel characters in the maize crop collection from Central Bank of Germplasm in *ex situ* conditions

LG: Kernel Length, AG: Kernel width, GRG: Kernel thickness and P100S: 100 kernel weight, gl: Degree of freedom.

Fuente	gl	ECV			gl	ECV
		LG	AG	GrG		P100S
Año (A)	1	0,01	0	0	1	2,87
Variedad (V)	91	0,01	0,01	0	91	17,40
A x V	91	0	0	0	91	10,70
Error	1656				368	
h^2		0,35	0,66	0,30		0,55
Error estándar		0,1	0,1	0,10		0,16

para el número de hileras de grano (NHG) y peso de 100 semillas (P100S). De igual forma, se apreció efecto de las variedades para longitud de la mazorca con y sin brácteas (LMB y LM), número de granos por hilera (NGH) y peso de 100 semillas (P100S). Como efecto de la interacción de las variedades, con los años sobresalieron tres caracteres: la longitud de la mazorca brácteas (LMB), el número de granos por hilera (NGH) y el peso de 100 semillas (P100S).

En la tabla VII, el número de granos por hilera (NGH) para la fuente de variación años tuvo un valor negativo. También, en la Tabla VIII, se observa que varios caracteres presentaron estimados con valor cero. Todos los estimados negativos observados, así como los valores extremadamente pequeños obtenidos, se asumieron como valor cero, a partir del criterio establecido por Searle (1971).

Además, se evidencian valores relativamente altos de heredabilidad para los caracteres de la mazorca que oscilaron, entre 0,60 y 0,79, excepto para el número de hileras de granos (NHG), con 0,24, que es relativamente bajo. En las Tablas VII y VIII, se puede observar que los caracteres longitud y grosor del grano (LG y GrG) muestran valores de intermedia a baja heredabilidad, sin embargo, para el peso de 100 semillas (P100S) y ancho del grano (AG), se estimó un valor moderadamente alto de heredabilidad, 0,55 y 0,66, respectivamente.

De manera general, se puede afirmar que la mayor parte de los caracteres de la mazorca y el grano mostraron valores más altos de heredabilidad que los vegetativos y de la espiga, con valores superiores a 0,55, excepto el número de hileras de grano (NHG), la longitud y el grosor del grano (LG y GrG) (Tablas VI, VII y VIII). Los errores estándar de los valores de la heredabilidad para los caracteres de la mazorca y el grano oscilaron entre 0,07 y 0,16, los cuales pueden considerarse bajos.

DISCUSIÓN

Caracterización de la variabilidad en la colección *ex situ* de maíz

Los maíces cubanos tienden a tener una mayor variación fenotípica para los caracteres de la mazorca y el grano que para los vegetativos y de la espiga, lo cual se aprecia en los

valores de coeficiente de variación mostrados en las Tablas II y III. Esto explica que los descriptores de la mazorca y el grano fueran los más variables e importantes, por lo que sugieren ser un buen indicador que permite clasificar el germoplasma cubano adecuadamente. Los resultados obtenidos coincidieron con lo reportado por Fernández & Fundora (2009), quienes plantearon que los maíces cubanos tienen su mayor variación para los caracteres de la mazorca y el grano y, por tanto, son los más importantes para clasificar el germoplasma.

Ortiz & Sevilla (1997) obtuvieron valores del coeficiente de variación inferiores a los nuestros para los caracteres vegetativos y de la espiga en 96 accesiones de Perú. Estos autores atribuyeron los bajos valores a que las mediciones se realizaron con un error mínimo o que la variación aleatoria fue casi nula.

También, Cieza & al. (2020) encontraron coeficientes de variación bajos para los caracteres vegetativos y de la espiga en un estudio de 86 muestras de maíces venezolanos del Sur. Los autores explicaron que esto puede atribuirse a la naturaleza de las variables, su complejidad genética y la dependencia de procesos metabólicos en la planta, tales como la fotosíntesis y las relaciones hormonales; lo que hace que estas variables sean más susceptibles a la acción de los factores ambientales. Estos resultados también coincidieron con los obtenidos por Belay (2018) y Khan & al. (2018) al evaluar híbridos de maíz.

La estimación de parámetros genéticos como componentes de varianzas, heredabilidad y correlaciones fenotípicas permiten conocer la magnitud de la variación genética y la ganancia de selección. Un análisis crítico de la variabilidad genética presente en el germoplasma de un cultivo y su estimación es un requisito previo para iniciar cualquier programa de mejoramiento de cultivos, así como adoptar técnicas de selección apropiadas (Srivanti & al. 2017).

Los valores de correlación fenotípica mostrados en la Tabla IV estuvieron en correspondencia con los obtenidos por Rebolloza & al. (2016). Estos autores explicaron que las correlaciones con valores relativamente bajos pudieron ser resultado del efecto del ambiente en el sistema poligénico que regula la expresión de dichos caracteres. No obstante, es necesario conocer el grado de asociación entre caracteres y con mayor relevancia la correlación genética, debido a que esta determina, en gran medida, la asociación verdadera entre caracteres, ya que excluye el efecto ambiental.

Los resultados indicaron que las plantas de mayor altura de la mazorca serán las más altas, y que las variedades con las espigas largas tendrán la parte ramificada también más alargada. Por otro lado, a mayor número de hojas por encima de la mazorca, el número de hojas totales será mayor también. Esto coincide con lo reportado por Alfaro & Segovia (2000), quienes encontraron las correlaciones más altas entre altura de la planta y la mazorca, y entre número de hojas totales (NHT) y número de hojas por encima de la mazorca (NHAM).

Los resultados obtenidos en la Tabla V muestran que las mazorcas alargadas presentaron mayor número de granos por hilera que aquellas que fueron más cortas, y que las mazorcas con pequeño grosor en el diámetro de su tuza tuvieron también poco espesor en el diámetro de la mazorca con brácteas. Esto indica que independientemente que las mazorcas tengan o no brácteas, la tendencia observada es que presentan mayor longitud. Por otra parte, a medida que incrementa el grueso de la mazorca con brácteas, se presentaron mazorcas con mayor diámetro, elevado número de hileras y tuzas más gruesas. Además, los granos más largos se encontraron también en las mazorcas más alargadas y las mazorcas más gruesas presentaron a su vez granos más anchos. Estas asociaciones indican que las accesiones con grandes dimensiones de la mazorca (longitud y diámetro) tienden a poseer un mayor peso de 100 semillas. También se espera que los granos más anchos y largos contribuyan más al peso de las semillas que los delgados y cortos (Fernández & Fundora 2009).

Estas variables son importantes porque pueden ejercer una influencia directa sobre la productividad del maíz. Si el número de hileras o granos por hilera aumenta, hay mayor número de granos por mazorca, lo que resulta en mayor rendimiento de granos (Lopes & al. 2019). Otros autores, como Vera & al. (2019) y Cieza & al. (2020), han manifestado que los componentes del rendimiento del maíz están determinados por características biométricas de la mazorca (longitud y diámetro de la mazorca, número de hileras y número de granos por hilera), número de mazorcas por planta y peso de mil granos; y estos componentes tienen correlación con el rendimiento.

Lo antes expuesto nos lleva a pensar que los componentes del rendimiento en el cultivo del maíz estuvieron asociados a los caracteres de la mazorca y el grano, donde se destacan los caracteres longitud y diámetro de la mazorca, diámetro de la tuza, longitud y ancho el grano y peso de 100 semillas. Esto coincidió con reportes de Khan & al. (2018) y Thapa & al. (2021).

Los caracteres gobernados por numerosos genes, y cuya variación fenotípica es parcialmente ambiental en su origen, han sido objeto de estudios especiales en maíz a fin de facilitar su mejoramiento genético. El rendimiento del grano es sin dudas el carácter más importante y complejo, es un típico carácter cuantitativo. Existen muchos caracteres asociados con el rendimiento, ya sea de manera positiva o negativa, por lo que se le debe prestar gran interés a los diferentes componentes del rendimiento y tener presente que muchos de ellos tienen gran influencia del ambiente, lo cual puede repercutir en los rendimientos finales de nuestras variedades (Noor & al. 2018, Belay 2018).

Estimación de los componentes de la varianza y la heredabilidad en sentido ancho

Las estimaciones de heredabilidad son útiles para el mejoramiento de caracteres cuantitativos porque permiten determinar la estrategia de selección más efectiva, el método de mejoramiento más adecuado y predecir la ganancia de

selección (Ochigbo & *al.* 2021). Los estimados de heredabilidad en sentido ancho, obtenidos para la mayoría de los caracteres, mostraron valores medios. Esto indica que tanto el componente genético como el ambiental influyen de manera similar en el comportamiento de los caracteres. Desde el punto de vista biológico, existe una diferencia genética entre las accesiones y sus potencialidades para comportarse de diversa forma en los dos años analizados.

Por otro lado, significa que poseen diferentes capacidades genéticas para expresar el desarrollo de la planta y la floración masculina o espiga. Sin embargo, a pesar de este comportamiento genético diferencial, la expresión fenotípica de este carácter tiene un importante componente no genético, fundamentalmente en lo relacionado con el manejo agronómico de las variedades (diferentes fechas de siembra y de cosecha). Según Ortiz & Sevilla (1997), para la selección, la evaluación agronómica y la clasificación racial, los efectos del ambiente pueden ser significativos, pero la interacción del ambiente con las variedades debe ser baja.

Los valores tan bajos de heredabilidad podrían explicarse por la posibilidad de que el número de años en estudio no fue suficiente, solamente dos años, y es posible que esto haya influido en la precisión de la estimación o que la variación fue ínfima para estos caracteres. Lo cual, en cierta forma, confirma la influencia del ambiente en los caracteres vegetativos y el comportamiento de los genotipos que puede variar en función del ambiente, por lo que se puede inferir que los de la mazorca y el grano son más estables.

Muchos caracteres obtuvieron valores de heredabilidad que pueden considerarse moderadamente altos. No obstante, debemos ser cautelosos al tomar decisiones a partir de ellos, ya que se trata de datos de heredabilidades en sentido amplio, donde están implícitos sesgos debido a las varianzas aditivas y no aditivas (dominancia y epistasia).

Tanto Appendino (2018) como Silva-Díaz & *al.* (2018) confirmaron que la varianza aditiva es la más importante, ya que se hereda de los padres a su descendencia y es determinante de las propiedades genéticas de la población y la respuesta positiva a la selección. Así, la existencia de varianza aditiva se constituye en un indicativo de la facilidad de identificación de genotipos genéticamente superiores que proporcionarán ganancias más ventajosas en razón de su selección. Igualmente, cabe señalar que, en el maíz, un número grande de estudios ha demostrado que la varianza epistática es casi cero, y que, además, es poco detectable en los estudios de componentes de la varianza (Hallauer & Miranda 1988, Silva-Díaz & *al.* 2018).

Hallauer & Miranda (1988) obtuvieron valores de heredabilidad entre 0,50 y 0,70 para diversos caracteres de la mazorca y el número de hileras de granos. Sobre la misma base de cálculo, los valores publicados por este autor oscilaron entre 0,30 y 0,50 para el número de mazorcas, la longitud y el diámetro de la mazorca y el peso de los granos; y menores

que 0,30 para el rendimiento. Resultados que se corresponden con los obtenidos en este trabajo.

De igual forma, similares resultados fueron reportados por Neupane & *al.* (2020), quienes obtuvieron altos valores de heredabilidad (mayores a 0,6) para los caracteres relacionados con el rendimiento, tales como longitud y diámetro de la mazorca y número de hileras de grano. Bista & *al.* (2022), en un estudio de 26 genotipos, revelaron cifras similares.

En Paquistán, Khan & *al.* (2018) obtuvieron valores inferiores a los obtenidos en este trabajo para los caracteres altura de la planta, altura de la mazorca, largo de la mazorca y diámetro de la mazorca en híbridos de maíz. Sin embargo, Bartaula & *al.* (2019) obtuvieron valores relativamente más altos que los nuestros para los caracteres de la planta y la mazorca en diez genotipos de maíz evaluados en diferentes ambientes en Nepal. Este resultado demostró la presencia de genes aditivos que controlan los caracteres analizados, por lo que la selección directa de estos caracteres pudiera ser efectiva en el mejoramiento del rendimiento. Esto demuestra que la variabilidad es la clave del mejoramiento de los cultivos y coincide con lo expuesto por Muliadi & *al.* (2021), quienes expresan que los rendimientos de maíz son considerados de una herencia compleja y que la heredabilidad y el progreso genético dependen del carácter en cuestión.

CONCLUSIONES

Se detectó una alta correlación entre la altura de la planta y la mazorca, la parte ramificada de la espiga y la longitud de la espiga, así como entre el diámetro de la tusa y el diámetro de la mazorca con brácteas. Los caracteres de la mazorca y el grano mostraron valores de heredabilidad en sentido ancho más altos que los vegetativos y de la espiga, excepto el número de hileras de grano, la longitud y el grosor del grano. Esto evidencia que el estudio de parámetros genético-estadísticos como la heredabilidad y la correlación, constituyen piezas clave en cualquier programa de mejoramiento. Los descriptores de la mazorca y el grano mostraron ser los más útiles para evaluar el germoplasma de maíz; sin descartar el estudio de los caracteres vegetativos, pues también contribuyen en la formación del rendimiento.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

L. Fernández concibió la idea original, diseño la investigación, tomó los datos, realizó los análisis estadísticos y escribió la primera versión del manuscrito. G. Gálvez y Z.M. Fundora-Mayor analizaron los datos y contribuyeron su interpretación. E. Bandera contribuyó en la discusión de los resultados y la revisión crítica del manuscrito final. Todos los autores ofrecieron elementos que permitieron enriquecer el manuscrito

CUMPLIMIENTO DE NORMAS ÉTICAS

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Aprobación ética: Todos los autores han llevado a cabo el trabajo de campo y la generación de datos de forma ética, incluida la obtención de permisos adecuados.

Consentimiento para la publicación: Todos los autores han dado su consentimiento para publicar este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfaro, Y. & Segovia, V. 2000. Maíces del Sur de Venezuela clasificados por taxonomía numérica I. Caracteres de la planta. *Agronomía Tropical* 50(3): 413-433.
- Anderson, R. & Bancroft, T. 1952. *Statistical Theory in Research*. Mc Graw-Hill Book Co. New York, USA.
- Appendino, L.M. 2018. Estimación de los componentes de la variación genética del tiempo a floración en maíz (*Zea mays*) y consecuencias de la selección sobre caracteres de interés comercial. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario, Argentina.
- Bandera, E. 2023. Métodos de análisis de la interacción genotipo × ambiente en maíz (*Zea mays*, Poaceae). *Revista Jard. Bot. Nac. Univ. Habana* 44: 33-38.
- Bartaula, S., Panthi, U., Timilsena, K., Sharma, S. & Shrestha, J. 2019. Variability, Heritability and genetic advance of maize (*Zea mays* L.) genotypes *Res. Agric. Livest. Fish.* 6(2): 163-169. <https://doi.org/10.3329/ralf.v6i2.42962>
- Becker, W. 1984. *Manual of procedures in quantitative genetics*. Pullman, Washington State Univ. Washington, USA.
- Belay, N. 2018. Genetic Variability, Heritability, Correlation and Path Coefficient Analysis for Grain Yield and Yield Component in Maize (*Zea mays* L.) Hybrids. *Adv. Crop Sci. Tech.* 6(5): 1-9. <https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000399>
- Bista P., Thapa S., Rawal S., Dhakal D. & Darbin J. 2022. Agro-Morphological Characterization and Estimation of Genetic Parameters of Spring Maize Hybrids in the Inner Plains of Far-West Nepal. *Int. J. Agron.* 2022: 4806266. <https://doi.org/10.1155/2022/4806266>
- Cieza, R.I., Jara, T.V., Terones, R., Figuero, Y. & Valdera, A. 2020. Características agronómicas, componentes de producción y rendimiento de grano de híbridos de maíz (*Zea mays*). *Manglar* 17(3): 261-267. <http://doi.org/10.17268/manglar.2020.038>
- CIMMYT/IBPGR [Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo/ International Board for Plant Genetic Resources]. 1991. Descriptors for maize. International and Wheat Improvement Center & International Board for Plant Genetic Resources. Mexico DF, Mexico & Rome, Italy.
- Das, A., Muthusamy, V., Zunjare, R., Chauhan, H., Sharma, P., Bhat, J., Guleria, S., Saha, S. & Hossain, F. 2019. Genetic variability-, genotype × environment interactions - and combining ability-analyses of kernel tocopherols among maize genotypes possessing novel allele of γ -tocopherol methyl transferase (*ZmVTE4*). *J Cereal Sci.* 86: 1-8. <https://doi.org/10.1016/J.JCS.2018.12.018>
- Fernández, L. & Fundora, Z. 2009. Recursos genéticos de maíz: importancia de su protección, conservación y manejo adecuado. Pp. 189-196. En: Funes-Monzote, F.R. *Transgénicos. ¿Qué se gana? ¿Qué se pierde?* Publicaciones Acuario, Centro Félix Varela. La Habana, Cuba.
- Fernández, L., Shagardovsky, T., Cristóbal, R., Muñoz, L., Gil, J., Sánchez, Y., González-Chávez, M., Moreno, V., Fundora, Z., Castiñeiras, L., León, N., Acuña G. & Walón, L. 2014. Catálogo de variedades de INIFAT. INIFAT. La Habana, Cuba.
- Fisher, R.A. 1935. *Statistical methods for research workers*. Oliver and Boyd, Edinburgh.
- Fundora, Z., Vera, R., Yaber, E. & Barrios, O. 1992. *La Estadística Multivariada en la Sanidad Vegetal*. Instituto de Sanidad Vegetal, Ministerio de la Agricultura. Ciudad de La Habana, Cuba.
- Hallauer, A. & Miranda, J. 1988. *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. The Iowa State University Press, Ames Iowa. Iowa, USA.
- IPGRI [International Plant Genetic Resources Institute]. 2001. The design and analysis of evaluation trials of genetic resources collections. A guide for genebank managers. IPGRI Technical Bulletin No. 4. IPGRI. Rome, Italy.
- Khan, M., Ahmad, M., Hussain, M., Hassan, M & Ali, Q. 2018. Heritability and trait association studies in maize F1 hybrids. *Int. J. Biosci.* 12(1): 18-26. <https://doi.org/10.12692/ijb/12.1.18-26>
- Kobso, A., van Biljon, A., Shargie, N., 3 Tarekegne, A & Labuschagne, M. 2022. Heritability and Associations among Grain Yield and Quality Traits in Quality Protein Maize (QPM) and Non-QPM Hybrids. *Plants* 11: 713. <https://doi.org/10.3390/plants11060713>
- Lopes, L., Diniz, W.H., Batista, J., Garcez, H. & Alves, L. 2019. Evaluation of corn hybrids performance in two locations of Goiás. *J. Neotrop. Agric.* 6: 8-16. <https://doi.org/10.32404/rean.v6i1.2362>
- López Fleitas, R. & Gil Díaz, V. 2014. *Generalidades del cultivo del maíz*. Editorial Feijóo. Santa Clara, Cuba.
- Melendres, J., Valdivia, R., Lemus, C., Medina, R., García M., Ortiz, M., Espinosa, A & Tadeo, M. 2018. Estimation of maize genetic parameters under improvement by recurrent reciprocal selection. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 9(7): 1-11. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i7.1668>
- Muliadi, A., Effendi, R. & Azrai, M. 2021. Genetic variability, heritability and yield components of waterlogging-tolerant hybrid maize. *IOP Conf. Ser: Earth Environ. Sci.* 648: 012084. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/648/1/012084>
- Neupane, B., Poudel, A. & Wagle, P. 2020. Varietal evaluation of promising maize genotypes in mid hills of Nepal. *J. Agric. Nat. Resour.* 3(2): 127-139. <https://doi.org/10.3126/janr.v3i2.32491>
- Noor, M., Khan, A.S., Ullah, H., Shahwar, D., Fahad, S., Khan, N., Yasir, M., Wahid, F., & Adnan, M. 2018. Heritability and correlation analysis of morphological and yield traits in Maize. *J. Plant Biol. Crop Res.* 2: 1008. <https://doi.org/10.33582/2637-7721/1008>
- Ochigbo, A., Igyuve, T. & Ojo, G. 2021. Genetic variability and heritability estimate of maize endosperms using full-sib recurrent selection scheme. *Dir. Res. J. Agric. Food Sci.* 9: 230-235. <https://doi.org/10.26765/DRJAFS16153790>
- Ortiz, R. & Sevilla, R. 1997. Quantitative descriptors for classification and characterization of highland Peruvian Maize. *Plant Genet. Resour. Newsl.* 110: 49-52.
- Rebolloza, H., Castillo, A., Carapia, V., Rodríguez, M.A., Villegas, G., Núñez, M.E., Suárez, R. & Perdomo, F. 2016. Estimación de parámetros genéticos y selección de líneas S1 en una población segregante de maíz tropical. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 7(8): 1893-1904. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i8.100>
- Reyes, C., Cantú, M., Hill, H., García, J. & Mayek, N. 2017. Interacción genotipo x ambiente en maíz cultivado en Tamaulipas, México. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 8(3): 571-582. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i3.32>
- Searle, S.R. 1971. *Linear Models*. John Wiley & Sons, Inc. New York, USA. <https://doi.org/10.1002/9781118491782>
- Silva-Díaz, R., García-Mendoza, P., Faleiro-Silva, D. & Lopes de Souza, C. 2018. Determinación de componentes de la varianza y parámetros genéticos en una población segregante de maíz tropical. *Bioagro* 30(1): 67-77.

SPSS [Statistical Package for the Social Sciences]. 2002. SPSS Tables™ 11.5. SPSS Inc. USA.

Stravanti, K., Swarnalatha, I., Devi, M., Sudarshan, R & Supriya, K. 2017. Evaluation of maize genotypes (*Zea mays* L.) for variability, heritability and genetic advance. *Int. J. Curr. Microb. App. Sci.* 6(10): 2227-2232. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.610.263>

Steel, R., Torrie, J. & Dickey, D. 1980. Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach. 2nd Ed. McGraw-Hill. Singapore.

Thapa, B., Acharya, S., Gyawali, B., Timilsena, K., Upadhyaya, T. & Shrestha, J. 2021. Genetic variability and trait association in maize (*Zea mays* L.) varieties for growth and yield traits. *Heliyon* 7: e07939. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07939>

Tucker, S.L., Dohleman, F.G., Grapov, D., Flagel, L., Yang, S., Wegener, K.M., Kosola, K., Swarup, S., Rapp, R.A., Bedair, M., Halls, S.C., Glenn, K.C., Hall, M.A., Allen, E. & Rice, E.A. 2020. Evaluating maize phenotypic variance, heritability, and yield relationships at multiple biological scales across agronomically relevant environments. *Plant Cell Environ.* 43: 880-902. <https://doi.org/10.1111-pce.13681>

Vera, D., Comte, E., Guamán, R., Mora, J. & Díaz, C. 2019. Sistemas informáticos evaluación agronómica molecular de 10 híbridos introducidos de maíz (*Zea mays* L.) por rendimiento y sanidad en las condiciones agroclimáticas. *Rev. Ibér. Sist. Technol. Inform.* 21: 112-119.