



CONTENIDO DE FÓSFORO, POTASIO, ZINC, HIERRO, SODIO, CALCIO Y MAGNESIO, ANÁLISIS DE SU VARIABILIDAD EN ACESIONES CUBANAS DE MAÍZ

Phosphorus, potassium, zinc, iron, sodium, calcium and magnesium, contents and their variability analysis in Cuban maize accessions

Michel Martínez Cruz^{1✉}, Rodobaldo Ortiz Pérez¹
y Maria D. Raigón²

ABSTRACT. In our country, corn is cultivated since the time of the aborigines and it is a staple food in human nutrition, livestock and poultry; it is the second major cereal and has high preference of consumption by the population. In Cuba, there are six races of maize with a high morphoagronomic diversity, which has been extensively studied; however, diversity and nutritional characteristics of the plant is not known or varieties improved for this purpose have not been introduced. This work was carried out on a sample of 106 accessions, which included materials *in situ* and *ex situ* conserved. The aim of the study was to evaluate the degree of variability and morphoagronomic mineral content of these genotypes. The results allowed detect morphoagronomic variability in the accessions; also the phosphorus and calcium content was high while magnesium, potassium and sodium content was low, resulting in intermediate iron and zinc content in related to standards reported in the literature for this crop. The values of these elements in corn grain, are influenced by the concentrations present in soil or spiked through mineral fertilization, which can be variable depending on conditions. Therefore, it is recommended a deeper study on the variability of mineral concentrations elements in maize in Cuba.

Key words: phenotypic, nutritional value, variation,
Zea mays

RESUMEN. En nuestro país, el maíz se cultiva desde la época de los aborígenes y constituye un alimento básico en la nutrición humana, del ganado y las aves; es el segundo cereal de importancia y tiene alta preferencia de consumo por la población. En Cuba, existen seis razas de maíz con una alta diversidad morfoagronómica, la cual ha sido ampliamente estudiada; sin embargo, no se conoce sobre la diversidad y características nutricionales del cultivo, ni se han introducido variedades mejoradas para este fin. El presente trabajo se realizó en una muestra de 106 accesiones, donde se incluyeron accesiones conservadas *in situ* y *ex situ*. El objetivo del estudio fue evaluar el grado de variabilidad morfoagronómica y el contenido de minerales de la colección. Los resultados obtenidos permitieron detectar la existencia de variabilidad morfoagronómica en la muestra; además, se demostró que el contenido de fósforo y calcio fue alto, mientras que el contenido de magnesio, potasio y sodio fue bajo, resultando el de hierro y zinc medio en comparación con los estándares informados en la literatura para este cultivo. Los valores de estos elementos, en el grano de maíz, son influenciados por las concentraciones presentes en el suelo o adicionadas a través de la fertilización mineral, por lo que pueden ser variables dependiendo de dichas condiciones, por tanto, se recomienda realizar un estudio más detallado sobre la variabilidad de las concentraciones de estos elementos en el maíz en Cuba.

Palabras clave: fenotípica, valor nutritivo, variabilidad,
Zea mays

INTRODUCCIÓN

La importancia de los cereales en la nutrición de millones de personas de todo el mundo es ampliamente reconocida. Debido a su ingesta relativamente elevada en los países en desarrollo, no se les puede considerar sólo una fuente de energía, sino que además suministran proteínas.

¹ Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), gaveta postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, CP 32700

² Universidad Politécnica de Valencia, España (UPV)

✉ mmacruz@inca.edu.cu

Los granos de cereal tienen una baja concentración de proteínas y la calidad de éstas se halla limitada por la deficiencia de dos aminoácidos esenciales, lisina y triptófano. Ejemplo clásico de ello es el maíz, pues otros cereales presentan limitaciones iguales, pero menos evidentes (1).

El valor nutritivo del maíz es muy similar al de otros cereales, siendo algo superior al del trigo y sólo ligeramente inferior al del arroz (2). Estos tres cereales son los que más se consumen en el mundo. El problema radica en la dieta de la que forma parte el maíz, que es muy deficiente en el tipo de alimentos complementarios necesarios para mejorar los elementos nutritivos ingeridos con cantidades relativamente grandes de maíz (1).

A lo largo del mundo el interés de los nutricionistas y agrónomos en los elementos nutricionales menores se ha elevado (3). Normalmente se considera que los niveles altos de minerales y proteína son indicadores de una calidad dietética alta de productos de cereales para los humanos y animales.

Este grano es ampliamente consumido por la población en general en dos épocas del año (primavera y verano) y, además, debido a los programas sociales que lleva a cabo el gobierno cubano es suministrado de manera masiva y dirigida a poblaciones específicas de interés para la nación como son ancianos (hogar de anciano), estudiantes (escuelas primarias, secundarias, preuniversitarios y universidades), niños (círculos infantiles) y enfermos (hospitales, policlínicos, etc.). También llega de manera dirigida a otras instituciones y centros de trabajo.

En Cuba a pesar de existir una amplia diversidad de maíz cultivada en condiciones tropicales de bajos insumos y consumida de una u otra manera por casi la totalidad de la población; no existe una caracterización de los maíces cultivados en cuanto al contenido de los minerales. Por tanto, la evaluación del contenido de los minerales en una muestra de la diversidad de maíz que se cultiva en nuestro país, resulta importante para el mejoramiento genético debido a que sería un nuevo aspecto a valorar en la selección de los genotipos a mejorar.

Debido a esta situación, el presente trabajo tiene el objetivo de evaluar la variabilidad morfoagronómica y el contenido de los minerales zinc (Zn), hierro (Fe), sodio (Na), calcio (Ca), fósforo (P), magnesio (Mg) y potasio (K) en 50 accesiones de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

PROSPECCIÓN DE LAS ACCESIONES

Se realizaron tres prospecciones de maíz, recolectando de 0,5-1,0 kg de semilla por cada entrada. El objetivo principal de la misma fue coleccionar diversidad de maíz en cada localidad.

La primera prospección se ejecutó entre los meses de noviembre y diciembre de 1998, en la localidad de Catalina de Güines, Güines, La Habana, ubicada en la región occidental de Cuba. Se seleccionó esta zona debido al flujo de semilla que en la misma ocurre^A, donde cada año entran y salen del sistema local de semillas un gran número de variedades de maíz.

Posteriormente, del 15 al 21 de abril de 2002, se realizó la prospección en el municipio Contramaestre, provincia Santiago de Cuba, específicamente en la localidad de Las Ventas de Casanova; además, se colectó en la Empresa de Semillas del territorio. Fue seleccionada esta zona del país, debido a la producción de maíz que se ha realizado en la misma por más de 50 años.

Por último, del 19 al 24 de abril de 2003, se realizó la prospección de maíz en dos provincias de la zona central del país: Villa Clara (municipios: Corralillo, Ranchuelo y Remedios) y Sancti Spiritus (municipios: Yaguajay y Taguasco). Fue seleccionada esta zona del país por las referencias que se tenían de la tradición en la siembra de maíz.

CARACTERIZACIÓN MORFOAGRONÓMICA

La colección de trabajo, integrada por 106 accesiones (Tabla I), se conformó con 63 procedentes de la región occidental, de ellas, 19 provenientes del Banco de Germoplasma del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical (INIFAT), 21 del Banco de Germoplasma del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) colectadas por Acosta (2003) en La Palma, Pinar del Río, 21 accesiones colectadas en Catalina de Güines, una de San Antonio de los Baños (variedad FELO) y una de Batabanó (Línea Raúl); 16 accesiones del centro, de ellas, ocho colectadas en Santi Spiritus y ocho en Villa Clara y 27 de la región oriental, de ellas, 17 colectadas en Ventas de Casanova, Santiago de Cuba, seis en la Empresa de Semillas de Santiago de Cuba, tres en Holguín y una en Granma.

Durante los años 2003, 2004 y 2005 se realizaron tres ciclos de evaluación a la colección de maíz en el área central del INCA, ubicada en el municipio San José de las Lajas, provincia La Habana. En el año 2003, la siembra se realizó el 10 de junio; en el 2004, el 5 de febrero y en el 2005, el 11 de noviembre. Fue utilizada la misma área experimental para cada ciclo y el maíz fue parte de un sistema de rotación con frijol o soya.

Las siembras se realizaron en parcelas de 5,0 m de largo, a razón de seis surcos por parcela, a una distancia de 0,30 x 0,70 m, con una población de 115 plantas por parcela sobre un suelo Ferralítico rojo lixiviado (4); las características del suelo se muestran en la Tabla II.

^AMartínez, M. *Caracterización y evaluación participativa de maíz colectado en las localidades de Catalina de Güines, La Habana y Las Ventas de Casanova, Santiago de Cuba* [Tesis de Maestría], Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana, Cuba, 2003, 120 p.

Las atenciones culturales se realizaron según el Instructivo Técnico del cultivo^B, excepto que no se efectuaron aplicaciones de fertilizantes químicos. Se utilizó, en cada siembra, un diseño completamente aleatorizado con tres réplicas.

A las 106 accesiones se les realizaron evaluaciones de 17 caracteres morfoagronómicos (Tabla III) en cada ciclo de siembra, tomando una muestra de diez plantas por accesión, según el Manual Gráfico para la Descripción Varietal del Maíz (*Zea mays* L.) (5).

Las evaluaciones se efectuaron, seleccionando, en cada parcela, las plantas del centro, para evitar el efecto de borde y minimizar la influencia de la polinización cruzada.

ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD DE LA COLECCIÓN ESTUDIADA

Se determinaron los parámetros estadísticos Media (X) y coeficiente de variación (CV) de la colección general y de los grupos de accesiones para los caracteres número de granos por hileras, número de hileras, masa de 100 semillas, longitud de la mazorca, diámetro medio de la mazorca, número de granos por mazorca, diámetro del tallo, altura a la mazorca superior, longitud de la planta, incidencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith) y rendimiento por planta. Para determinar estos parámetros se calculó la media de los tres años en cada carácter.

^B MINAGRI. *Instructivo Técnico del cultivo del maíz*, Dirección Nacional de Cultivos Varios, La Habana, Cuba, 1992

Tabla I. Distribución de las 106 accesiones evaluadas en cuanto a región y localidad

Región	Localidad	Número de accesiones
Occidental	Catalina de Güines, La Habana	21
	INIFAT	19
	La Palma, Pinar del Río	21
	San Antonio de los Baños, La Habana	1
	Batabanó, La Habana	1
	Sub-total	63
Central	Villa Clara	8
	Santi Spíritus	8
	Sub-total	16
Oriental	Holguín	3
	Granma	1
	Ventas de Casanova, Santiago de Cuba	17
	Empresa de semillas de Santiago de Cuba	6
	Sub-total	27
	Total	106

INIFAT=Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical

Tabla II. Características físico-química del suelo donde se realizaron las siembras (4)

Horizonte	Profundidad (cm)	pH (H ₂ O)	M.O. (%)	Cationes cambiabiles (Cmol kg ⁻¹)					Suma
				Calcio	Magnesio	Sodio	Potasio		
A1	0-19	7,34	3,67	16,3	2,1	0,2	0,9	19,5	
B11	19-44	6,85	-	13,4	2,8	0,2	0,5	16,9	
B12	44-60	6,72	2,00	9,5	1,5	0,2	0,3	11,5	
B2t	60-100	5,77	1,12	8,3	1,0	0,2	0,2	9,7	

M.O.=materia orgánica

Tabla III. Caracteres evaluados, acrónimo, unidad de medida y momento de evaluación en las 106 accesiones estudiadas en condiciones "ex situ"

No.	Carácter	Acrónimo	Unidad de medida	Momento de evaluación
1	Incidencia de <i>Spodoptera frugiperda</i> (Smith)	ISF	Porcentaje (%)	3 momentos*
2	Diámetro del tallo	DT	(mm)	Llenado del grano
3	Altura a la mazorca superior	AMS	(cm)	Llenado del grano
4	Longitud de la planta	LP	(cm)	Llenado del grano
5	Número de mazorca por planta	NMP	Unidad	Llenado del grano
6	Cobertura de la mazorca	CM	Escala de valores	Después cosecha
7	Color de los granos	CG	Escala de valores	Después cosecha
8	Forma de la mazorca	FM	Escala de valores	Después cosecha
9	Disposición de las Hileras	DH	Escala de valores	Después cosecha
10	Forma de la corona de los granos	FG	Escala de valores	Después cosecha
11	Número de granos por hilera	NGH	Unidad	Después cosecha
12	Número de hileras	NH	Unidad	Después cosecha
13	Longitud de la mazorca	LM	(mm)	Después cosecha
14	Diámetro medio de la mazorca	DMM	(mm)	Después cosecha
15	Número de granos por mazorca	NGM	Unidad	Después cosecha
16	Masa de 100 semillas	M100S	(g)	Después cosecha
17	Rendimiento por planta	R/P	kg	Después cosecha

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE LOS MINERALES

Para la caracterización, en abril de 2007, se sembró la colección de 50 accesiones de maíz en el área central del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, sobre un suelo Ferralítico rojo lixiviado (4). La siembra se realizó bajo las mismas condiciones metodológicas que el experimento anterior. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado sin réplicas.

Los granos cosechados en agosto del 2007, se secaron al sol y se conservaron en frascos plásticos, en un local donde la temperatura se controla con el uso de un acondicionador de aire y la humedad se regula a través de dos deshumificadores. La temperatura media fue de ± 22 °C, y la humedad relativa de ± 75 %.

La evaluación se le realizó a una muestra representativa de la colección de trabajo del INCA, integrada por 50 accesiones (Tabla IV). Se seleccionaron utilizando el método estratificado con representación de las tres regiones (Occidental, Central y Oriental). La selección se hizo al azar, quedando compuesta la muestra por 24 accesiones de la región occidental (seis procedentes del INIFAT, siete de La Palma y 11 de Catalina de Güines); 16 de la región central (ocho de Villa Clara y ocho de Sancti Spíritus) y 10 de la región oriental (siete de las Ventas de Casanova,

dos de la Empresa de semillas de Santiago de Cuba y una de Manzanillo). De este modo se garantizó que estuvieran representadas las variaciones que en términos de clima, suelo y condiciones de cultivo existen entre las tres zonas.

De las 50 accesiones seleccionadas, cosechada en agosto de 2007 en el INCA, se tomó una muestra de 200 gramos de semilla seleccionando al azar diez plantas del centro de las parcelas de cada una de las accesiones y se mezcló la semilla de dichas plantas, las cuales estaban libres de patógenos y sin daños físicos. Para evaluar la calidad nutricional de la muestra se determinaron los caracteres: contenido de zinc (Zn), hierro (Fe), sodio (Na), calcio (Ca), fósforo (P), magnesio (Mg) y potasio (K).

Las muestras (200 gramos) se molieron en un molino Tecator, usando un tamiz de acero inoxidable de 0,5 mm, envueltas en un papel de filtro comercial (10 x 11 cm) y desengrasadas con 300 mL de hexano en un extractor continuo Soxhlet-type durante seis horas; posteriormente se secaron al aire libre para eliminar el exceso de hexano (6).

Las determinaciones se realizaron en la Escuela Técnica Superior del Medio Rural y Etnología, perteneciente a la Universidad Politécnica de Valencia, España; utilizando los protocolos del Ministerio de la Agricultura, Pesca y Alimentación de España (7).

Tabla IV. Código, nombre, donante y procedencia de las 50 accesiones evaluadas

No.	Código	Nombre de la accesión	Donante	Procedencia	Región
1	5	P 876 acb	INIFAT	INIFAT	Occidental
2	7	P 820 acb	INIFAT	INIFAT	Occidental
3	13	P 2284	INIFAT	INIFAT	Occidental
4	17	P 2089 act	INIFAT	INIFAT	Occidental
5	25	P 156	INIFAT	INIFAT	Occidental
6	35	P 3014 Tayuyo Rojo	INIFAT	INIFAT	Occidental
7	45	Criollo	Campesino	La Palma	Occidental
8	46	Criollo	Campesino	La Palma	Occidental
9	47	Criollo	Campesino	La Palma	Occidental
10	57	Criollo	Campesino	La Palma	Occidental
11	64	Criollo	Campesino	La Palma	Occidental
12	67	Criollo	Campesino	La Palma	Occidental
13	70	Criollo	Campesino	La Palma	Occidental
14	72	Criollo	Campesino	Catalina de Güines	Occidental
15	74	Criollo	Campesino	Catalina de Güines	Occidental
16	75	Criollo	Campesino	Catalina de Güines	Occidental
17	77	Criollo	Campesino	Catalina de Güines	Occidental
18	78	Criollo	Campesino	Catalina de Güines	Occidental
19	80	Criollo	Campesino	Catalina de Güines	Occidental
20	81	Criollo	Campesino	Catalina de Güines	Occidental
21	84	Criollo	Campesino	Catalina de Güines	Occidental
22	87	Criollo	Campesino	Catalina de Güines	Occidental
23	88	Criollo	Campesino	Catalina de Güines	Occidental
24	92	Criollo	Campesino	Catalina de Güines	Occidental
25	153	maíz criollo	Campesino	Corralillo	Central
26	158	maíz argentino y morado	Campesino	Corralillo	Central
27	164	maíz blanco y morado	Campesino	Corralillo	Central
28	169	maíz rojo	Campesino	Corralillo	Central
29	185	maíz criollo de paja blanca	Campesino	Yaguajay	Central
30	188	maíz criollo	Campesino	Yaguajay	Central
31	191	maíz paja blanca	Campesino	Yaguajay	Central
32	192	maíz blanco	Campesino	Yaguajay	Central
33	193	maíz blanco y argentino, tusa gorda	Campesino	Remedios	Central
34	199	maíz argentino	Campesino	Camajuani	Central
35	200	maíz morado	Campesino	Camajuani	Central
36	202	maíz victoria	Campesino	Cabaiguán	Central
37	206	maíz mantequilla (descendiente de victoria)	Campesino	Cabaiguán	Central
38	212	maíz paja blanca y morada	Campesino	Ranchuelo	Central
39	215	maíz argentino y TGH	Campesino	Remedios	Central
40	219	maíz gallego	Campesino	Ranchuelo	Central
41	94	Criollo	Campesino	Manzanillo	Oriental
42	98	Canilla	Campesino	Ventas de Casanova	Oriental
43	99	Tayuyo Tusón	Campesino	Ventas de Casanova	Oriental
44	104	Tayuyo Diente Caballo	Campesino	Ventas de Casanova	Oriental
45	111	P 7928	Empresa de Semillas	Empresa de Semillas (Santiago de Cuba)	Oriental
46	112	Diente de Caballo	Campesino	Ventas de Casanova	Oriental
47	113	VST - 6	Empresa de Semillas	Empresa de Semillas (Santiago de Cuba)	Oriental
48	118	Tayuyo	Campesino	Ventas de Casanova	Oriental
49	134	Tusón	Campesino	Ventas de Casanova	Oriental
50	143	Tayuyo Blanco	Campesino	Ventas de Casanova	Oriental

INIFAT=Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical

Para la determinación de zinc, hierro, sodio, calcio, fósforo, magnesio y potasio, tras la mineralización ácida, se procedió a la determinación espectrofotométrica del contenido de fósforo, determinación por fotometría de llama de sodio y potasio y determinación por absorción atómica de calcio, magnesio, hierro y zinc (7).

ESTUDIO DE LAS ASOCIACIONES ENTRE CARACTERES MORFOAGRONÓMICOS Y EL CONTENIDO DE MINERALES

Se determinaron las correlaciones bilaterales de Pearson (r) entre los caracteres morfoagronómicos y el contenido de minerales. Estos análisis se realizaron utilizando el paquete estadístico SPSS, Versión 11.5 (8).

Se utilizaron, para la interpretación biológica de los resultados, los rangos del coeficiente de correlación (r)^c. (Tabla V).

^c Ortiz, R. *Características poblacionales y criterios de selección en las primeras etapas en caña de azúcar (Saccharum spp. híbridos)*. Tesis de Doctorado, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 1982, La Habana, Cuba.

Tabla V. Clasificación de los coeficientes de correlación^c

Clasificación	Rango del valor r
Débil	$\leq 0,100$
Moderada	0,101 – 0,300
Moderadamente fuerte	0,301 – 0,500
Fuerte	0,501- 0,700
Muy fuerte	$\geq 0,701$

Tabla VI. Media y coeficiente de variación para los caracteres cuantitativos en la colección general y en las tres regiones

Colección	Estadígrafo	Carácter											
		NGH	NH	M100S	LM	DMM	NGM	DT	AMS	LP	NMP	ISF	R/P
General	Media	31,77	13,35	31,12	15,36	4,49	423,58	1,51	1,26	2,47	1	64,19	0,13
	CV (%)	10,98	9,42	15,45	8,88	6,31	14,76	10,1	17,64	8,06	3,93	27,15	26,22
Occidental	Media	31,27	13,56	30,85	15,23	4,54	423,6	1,5	1,26	2,48	1	63,46	0,13
	CV (%)	10,12	10,56	15,42	9,17	6,3	15,47	9,19	16,15	7,5	4,93	29,17	25,06
Oriental	Media	32,29	13,12	31,24	15,39	4,42	423,65	1,49	1,26	2,43	1	56,77	0,13
	CV (%)	12,55	6,95	16,14	9,35	5,78	14,11	9,74	19,04	7,62	1,81	21,21	28,88
Central	Media	32,83	12,87	32	15,82	4,4	423,36	1,56	1,29	2,47	1	79,6	0,14
	CV (%)	10,13	5,53	14,08	6,03	6,25	12,96	12,85	20,4	10,37	1	11,72	25,64

CV=coeficiente de variación, NGH=número de granos por hilera, NH=número de hileras, M100S=masa de 100 semillas, LM=longitud de la mazorca, DMM=diámetro medio de la mazorca, NGM=número de granos por mazorca, DT=diámetro del tallo, AMS=altura a la mazorca superior, LP=longitud de la planta, NMP=número de mazorcas por planta, ISF=incidencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith) y R/P=rendimiento por planta

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD DE LA COLECCIÓN EN ESTUDIO

La Tabla VI presenta los valores de media y coeficiente de variación para los caracteres número de granos por hileras, número de hileras, masa de 100 semillas, longitud de la mazorca, diámetro medio de la mazorca, número de granos por mazorca, diámetro del tallo, altura a la mazorca superior, longitud de la planta, Incidencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith) y rendimiento por planta, tanto de la colección general como de las tres regiones (occidental, central y oriental).

La incidencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith) fue el carácter de mayor dispersión en toda la colección con un coeficiente de variación (CV) promedio del 27,15 %, como así también cuando se discriminó por regiones. Al respecto, en las accesiones de la región occidental el CV fue de 29,17 %, y en región oriental del 21,21 %.

El rendimiento por planta mostró alta dispersión (CV>25 %) en todas las colecciones, siendo, el carácter de mayor variabilidad en los materiales procedentes de las regiones oriental y central, con coeficientes de variación de 28,88 y 25,64 % respectivamente. La altura a la mazorca superior mostró alta variabilidad en la región central (20,40 %).

El carácter de menor dispersión, en todas las colecciones fue el número de mazorcas por planta, con coeficientes de variación inferiores a 5 % en todos los casos, debido a que la mayoría de las plantas presentaban una mazorca.

Los caracteres rendimiento por planta, altura a la mazorca superior, masa de 100 semillas, número de granos por mazorcas e incidencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith), mostraron dispersión relativamente alta en todas las colecciones, con porcentajes de CV siempre superiores a 25, 16, 14, 12,5 y 11 % respectivamente. Los maíces cubanos tienen mayor variación para los caracteres de la mazorca, por lo que, constituyen variables importantes en la clasificación del germoplasma; sin embargo, altura a la mazorca superior, es un carácter de planta, el cual mostró variabilidad en las colecciones evaluadas, por tanto, es recomendado evaluar su importancia en la clasificación del germoplasma cubano (9).

Al evaluar accesiones de maíz en México se obtuvieron valores inferiores a los antes citados para los caracteres de la mazorca (10), en contraste a este trabajo, al evaluar 25 accesiones de maíz de la zona andina de Bolivia se encontró una variabilidad superior para los caracteres número de granos por hileras (22,40 %), número de hileras (14,27 %), masa de 100 semillas (24,62 %), longitud de la mazorca (15,53 %), diámetro medio de la mazorca (12,12 %), diámetro del tallo (13,35 %) y longitud de la planta (12,40 %) (11). Las colecciones evaluadas en Cuba, presentan menor variabilidad que las evaluadas en la región andina; debido a que esta región es definida como centro secundario de diversificación del maíz y por tanto la variabilidad de los caracteres es alta.

Al analizarla diversidad fenotípica en maíces nativos del altiplano centro-oriente del estado de Puebla en México se encontraron los siguientes coeficientes de variación para las variables número de hileras: CV = 4,9 %, para masa de 100 semillas: CV = 10,0 %, para longitud de la mazorca: CV = 4,87 %, para altura a la mazorca: CV = 7,78 % y para longitud de la planta: CV = 5,25 % (12). La dispersión encontrada por estos autores, en los caracteres antes mencionados, fue inferior que en las poblaciones evaluadas en este trabajo, aunque las diferencias no fueron grandes, lo cual se debe a que las variedades evaluadas por dichos autores, son híbridos y variedades comerciales, por lo que, de manera general, presentan mayor homogeneidad.

Al evaluar poblaciones locales de maíz en México la longitud de la mazorca tuvo un CV de 13,7 %, el diámetro medio de la mazorca de 8,7 %, el número de hileras de 8,7 %, el número de granos por hileras de 12,7 % y la masa de 100 semillas de 12,0 % (13, 14). La dispersión de los caracteres número de granos por hileras y número de hileras fue similar a la encontrada en poblaciones cubanas; mientras que la variabilidad de la masa de 100 semillas fue inferior, siendo en la longitud de la mazorca y diámetro medio del tallo superior en las poblaciones locales de México.

Al evaluar accesiones cubanas de maíz conservadas tanto ex situ como in situ, se encontró^D que los caracteres de mayor variabilidad fueron M100S, DT y NGH con coeficientes de variación de 22,48; 18,44 y 15,57 % respectivamente, siendo NH el carácter menos variable (CV= 8,22 %).

En general, la variabilidad de los caracteres, se considera de moderada a moderadamente alta, lo cual se debe, principalmente, a la interacción genotipo – ambiente, debido a que, las evaluaciones se realizaron en tres años diferentes y en tres momentos de siembra diferentes, conjuntamente, la pluralidad de orígenes de las accesiones que conforman estas colecciones, provocaron un comportamiento diferenciado. Los caracteres menos estables (ISF, AMS y M100S), son fuertemente influenciados por el ambiente, siendo esta es la causa principal de su variabilidad.

La Tabla VII muestra los contenidos de zinc, hierro, sodio, calcio, fósforo, magnesio y potasio evaluados en las 50 accesiones estudiadas.

El contenido de fósforo (P) en los granos de las accesiones estudiadas, estuvo entre 205,64 y 375,72 mg por porción de 100 g, siendo las concentraciones de este elemento altas (X = 295, 19 mg por porción de 100 g) comparadas con las encontradas en 1998 de 256 mg por porción de 100 g (8). En 1991 se encontraron valores de fósforo en granos completos de maíz de 310,0 mg por porción de 100 g de muestra (15).

Los niveles de fósforo en el grano oscilan entre 240 y 330 mg por porción de 100 g (16). Algunos autores encontraron concentraciones de este mineral en granos de maíz entre 306,0 mg por porción de 100 g y 368,0 mg por porción de 100 g (17, 18). Cabe destacar que la concentración de fósforo en los granos de maíz, es influenciada por las aportaciones de fertilizantes fosforados al suelo (4).

El contenido de calcio (Ca) estuvo en un rango comprendido entre los 24,15 y los 64,54 mg por porción de 100 g de muestra, estas concentraciones son altas (X = 42, 99 mg por porción de 100 g) comparado con resultados de 30,80 mg/100g de calcio en granos de maíz (19). Algunos autores informaron valores de calcio en grano de maíz en el rango que va desde 24,0 hasta 39,0 mg por porción de 100 g (18). También se hallaron concentraciones bajas de este mineral en granos de maíz, al informar niveles de 12,9 y 14,7 mg por porción de 100 g (17). El calcio favorece la elaboración de algunos productos derivados del maíz para el consumo humano (19), constituyendo un valor añadido.

^D Fernández, L. *Identificación de razas de maíz (Zea mays L.) presentes en el germoplasma cubano*. Tesis de Doctorado, Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical (INIFAT), 2009, La Habana, Cuba, 100 p.

Tabla VII. Contenido de zinc, hierro, sodio, calcio, fósforo, magnesio y potasio determinados en las 50 accesiones

Código	Zn (mg por porción de 100 g)	Fe (mg por porción de 100 g)	Na (mg por porción de 100 g)	Ca (mg por porción de 100 g)	P (mg por porción de 100 g)	Mg (mg por porción de 100 g)	K (mg por porción de 100 g)
5	1,98	0,91	25,93	29,45	279,07	59,29	279,78
7	2,22	3,91	28,73	46,39	309,56	60,87	206,12
13	2,01	1,20	27,90	33,61	276,20	56,51	307,64
17	1,87	0,83	26,40	33,43	283,87	49,80	254,58
25	2,55	3,67	32,00	52,40	358,95	64,71	236,29
35	2,32	1,57	28,32	55,73	296,91	49,62	211,81
45	2,68	1,12	34,75	57,88	265,09	46,76	255,33
46	1,80	0,71	28,54	49,33	250,64	41,00	223,35
47	2,06	0,93	27,38	38,88	281,81	72,10	210,80
57	2,28	1,09	29,00	39,05	330,91	60,75	249,90
64	2,38	1,31	27,16	34,76	302,35	48,01	209,11
67	2,52	1,02	26,04	28,28	319,68	58,75	258,80
70	1,52	0,79	24,18	24,15	208,76	34,55	160,08
72	1,90	0,89	33,57	51,33	242,36	65,77	236,01
74	2,80	0,71	24,57	45,72	241,82	43,35	186,34
75	2,31	0,88	26,40	47,59	269,40	48,80	209,35
77	2,15	1,16	26,00	45,18	285,87	49,61	197,31
78	2,23	0,99	25,99	30,86	262,36	47,68	183,79
80	2,59	1,27	27,85	36,54	371,53	61,37	283,28
81	3,02	0,82	26,82	39,91	245,64	43,52	112,45
84	2,06	1,03	24,75	28,98	279,23	58,36	212,13
87	2,05	0,85	27,86	40,34	285,14	56,38	187,10
88	2,27	0,96	23,86	44,85	275,49	62,47	207,90
92	2,25	1,31	29,02	47,03	294,81	51,39	188,10
153	4,55	1,57	31,01	42,57	356,31	61,02	270,74
158	2,66	1,56	30,59	64,54	375,72	66,83	260,13
164	2,30	1,12	27,86	32,04	303,81	47,42	264,40
169	1,40	0,84	27,82	29,98	234,25	60,39	229,91
185	3,32	1,41	64,34	51,94	314,90	61,72	235,15
188	1,94	0,71	25,62	47,77	268,54	56,74	211,09
191	2,18	0,72	28,60	31,15	270,07	69,85	203,81
192	2,36	0,78	28,29	30,61	292,74	46,43	186,00
193	2,87	0,98	28,59	47,88	209,24	57,26	179,16
199	1,51	0,96	26,17	41,94	205,64	52,47	161,47
200	2,64	1,89	31,27	51,19	365,52	61,76	299,60
202	2,30	2,33	26,99	32,94	297,56	55,94	179,94
206	2,13	0,40	52,94	56,95	290,65	47,04	175,76
212	2,07	1,06	26,44	32,94	297,12	48,87	212,87
215	2,30	1,01	27,04	49,56	354,08	58,60	212,81
219	5,69	2,03	31,28	61,61	345,40	84,06	208,72
94	2,32	1,03	29,74	35,01	314,84	64,05	206,41
98	2,57	1,83	26,91	45,69	352,37	57,27	235,65
99	5,01	1,35	23,51	51,65	363,59	46,18	226,70
104	2,53	1,45	33,24	56,90	348,77	50,68	174,54
111	2,45	1,65	30,39	44,82	367,18	67,15	328,61
112	2,34	1,48	30,57	48,53	321,77	56,48	212,17
113	1,95	0,69	26,21	29,47	268,89	50,19	137,65
118	2,06	1,12	27,33	33,91	262,60	38,83	137,27
134	2,60	2,21	26,44	41,23	314,78	45,87	186,96
143	2,00	1,04	63,55	42,89	292,58	66,59	161,20
Media	2,36	1,27	29,73	42,99	295,19	57,33	214,36
Min.	1,40	0,40	22,38	24,15	205,64	34,55	112,45
Máx.	5,69	3,91	64,34	64,54	375,72	88,37	328,61

Zn=zinc, Fe=hierro, Na=sodio, Ca=calcio, P=fósforo, Mg=magnesio, K=potasio, Min. =mínimo y Máx.=máximo

Los altos contenidos de este elemento están influenciados también a los altos contenidos (4) presentes en el suelo donde fueron cultivadas las accesiones de maíz, por tanto, es necesario estudiar en otras condiciones o tipos de suelo la acumulación de calcio en el grano de maíz en Cuba.

Por el contrario, los contenidos en magnesio (Mg) fluctuaron entre 34, 55 y 88, 37 mg por porción de 100 g de muestra, con una media $X = 57,33$ mg por porción de 100 g; siendo inferiores a lo encontrado en el 2008 por Vázquez-Carrillo y colaboradores (18), quienes informaron concentraciones de este mineral en granos de maíz entre 99,0 mg/100 g y 281,0 mg/100 g. Además, en el 2005 se encontraron contenidos de magnesio entre 106 y 126 mg por porción de 100 g (17). Los bajos contenidos de magnesio pudieran estar influenciados por los contenidos de este nutriente en el suelo.

Los niveles de potasio (K) oscilaron entre 112, 45 y 328,61 mg por porción de 100 g de muestra en las accesiones cubanas evaluadas; resultados bajos ($X = 214,36$ mg por porción de 100 g) comparados con los obtenidos en el 2005, quienes hallaron concentraciones de potasio en el grano de variedades de maíz tropical en el orden de los 357,0 mg/100g a 396,0 mg/100 g (16). Al evaluar la concentración mineral en periodo seco, autores encontraron valores de 340,0 a 360,0 mg por porción de 100 g (20).

Las concentraciones de sodio (Na) en las 50 accesiones evaluadas, estuvieron en el rango de 22, 38 a 64,34 mg por porción de 100 g de muestra, con una media de 29, 73 mg/100g. Estas concentraciones son bajas en relación a lo reportado en el 2009 por Puga y colaboradores (17), quienes, al evaluar los efectos de la aplicación de fertilizante nitrogenado en la composición mineral de granos de maíz, encontraron valores de sodio entre 59,92 y 133,8 mg por porción de 100 g de muestra.

Los niveles de hierro (Fe) quedaron ubicados en el rango comprendido entre 0,40 y 3,91 mg por porción de 100 g de muestra, con una media de 1,27 mg por porción de 100 g, coincidiendo con los estándares promedio (19).

Las concentraciones de zinc (Zn) en las accesiones evaluadas, tuvo una media de 2,36 mg/100g) y osciló entre los 1,40 y los 5,69 mg por porción de 100 g; resultados que coinciden con los obtenidos al evaluar la composición mineral de maíces tropicales encontraron concentraciones en un rango de 2,18 a 2,40 mg por porción de 100 g (21).

En resumen, en este trabajo el contenido de fósforo y calcio fue alto, mientras que el contenido de magnesio, potasio y sodio fue bajo, y el de hierro y zinc intermedio en comparación con los estándares informados en la literatura para este cultivo. Los valores de estos elementos, en el grano de maíz, son influenciados por las concentraciones presentes en el suelo o adicionadas a través de la fertilización mineral (19), por lo que dichas concentraciones pueden ser variables. Por tanto, se recomienda realizar un estudio sobre la variabilidad de las concentraciones de estos elementos en los maíces cultivados en Cuba.

La Tabla VIII muestra las correlaciones de Pearson (r) existentes entre los caracteres morfoagronómicos y los contenidos de minerales evaluados al grupo conformado por 50 accesiones a las cuales se les evaluó la calidad nutricional del grano.

Desde el punto de vista biológico, las correlaciones que se presentaron entre estos caracteres se ubicaron en las categorías de moderadas (0,101–0,300) y moderadamente fuertes (0,301–0,500), por lo que la importancia de estas correlaciones fue menor a las que ocurren entre los caracteres morfoagronómicos.

De manera general no se manifestaron correlaciones importantes entre los caracteres evaluados, únicamente se observó correlación positiva y significativa entre el número de hileras y el contenido de sodio, en esencia, un aumento en el número de hileras, para este grupo de accesiones, constituye un posible aumento del contenido de sodio.

Tabla VIII. Correlaciones fenotípicas de los caracteres morfoagronómicos y contenidos de minerales evaluados

	NGH	NH	M100S	LM	DMM	NGM	DT	AMS	LP	NMP	ISF
Zn	0,302(*)	0,063	0,078	0,169	0,06	0,278	-0,242	-0,01	-0,114	-0,01	0,111
Fe	-0,062	-0,032	-0,298(*)	-0,196	-0,24	-0,056	0,032	-0,084	0,021	0,209	0,199
Na	0,14	0,367(**)	0,101	0,285(*)	-0,24	0,248	0,185	0,09	-0,016	0,015	0,027
Ca	0,21	0,161	-0,052	0,173	-0,16	0,231	-0,1	-0,244	-3,319(*)	0,290(*)	0,189
P	0,272	0,07	-0,063	0,133	-0,02	0,263	-0,234	-0,013	-0,12	0,063	0,216
Mg	0,031	0,155	-0,043	0,086	-0,07	0,081	-0,036	-0,026	-0,016	0,023	0,23
K	-0,175	-0,052	-0,139	-0,128	0,023	-0,166	-0,01	-3,302(*)	-0,114	0,149	0,26

** = ($p \leq 0,01$), * = ($p \leq 0,05$). Zn=zinc, Fe=hierro, Na=sodio, Ca=calcio, P=fósforo, Mg=magnesio y K=potasio

CONCLUSIONES

- ◆ La colección de maíz evaluada, presentó variabilidad morfoagronómica; debido a la diferencia entre genotipos y a la pluralidad de orígenes, manejo y condiciones ambientales en que se desarrolla este cultivo en Cuba.
- ◆ No se manifestaron correlaciones importantes entre los caracteres evaluados.
- ◆ El contenido de fósforo y calcio fue alto, mientras que el contenido de magnesio, potasio y sodio fue bajo, siendo el de hierro y zinc intermedio entre los valores estándares para el cultivo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Mendoza, E. M.; Andrio, E. E.; Juárez, G. J. M.; Mosqueda, V. C.; Latournerie, M. L.; Castañón, N. G.; López, B. A. y Moreno, M. E. "Contenido de lisina y triptofano en genotipos de maíz de alta calidad proteica y normal". *Universidad y Ciencia*, vol. 22, no. 2, 2006, pp. 153-161, ISSN 0186-2979.
2. Rowe, S.; Alexander, N.; Almeida, N.; Black, R.; Burns, R.; Bush, L.; Crawford, P.; Keim, N.; Kris, E. P. y Weaver, C. "Food Science Challenge: Translating the Dietary Guidelines for Americans to Bring About Real Behavior Change". *Journal of Food Science*, vol. 76, no. 1, 2011, pp. 29-37, ISSN 0022-1147, DOI 10.1111/j.1750-3841.2010.01973.x.
3. Campuzano, L.; Caicedo, S.; Narro, L. y Alfonso, H. "Corpoica H5: the first high quality protein (QPM) hybrid maize for Colombian eastern plains". *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, vol. 15, no. 2, 2014, pp. 173-182, ISSN 0122-8706.
4. Hernández, A.; Morell, F.; Ascanio, M. O.; Borges, Y.; Morales, M. y Yong, A. "Cambios globales de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados (Nitisoles ródicos eutrícos) de la provincia La Habana". *Cultivos Tropicales*, vol. 27, no. 2, 2006, pp. 41-51, ISSN 0258-5936.
5. Carballo, C. A. y Benítez, V. A. *Manual Gráfico para la descripción varietal del maíz (Zea mays L.)*. Ed. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas: Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, 2003, México, ISBN 968-800-489-8.
6. Vivek, B. S., Krivanek, A.; Palacios, N.; Twumasi, S.; Diallo, A. *Breeding quality protein maize (QPM): protocols for developing QPM cultivars*. no. solc. SB191.M2 B7178 2008, Ed. CIMMYT, 2008, México, D.F., 50 p., ISBN 978-970-648-160-3.
7. Secretaría General Técnica. *Métodos Oficiales de Análisis*. vol. 3, Ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1994, Madrid, España, 662 p., ISBN 84-491-0003-8.
8. IBM Corporation. *IBM SPSS Statistics* [en línea]. versión 11.5.1, [Windows], Ed. IBM Corporation, 2003, U.S, Disponible en: <<http://www.ibm.com>>.
9. Fernández, G. L.; Crossa, J.; Fundora, M. Z.; Castiñeiras, A. L.; Gálvez, R. G.; García, G. M. y Giraudy, B. C. "Identificación y caracterización de razas de maíz en sistemas campesinos tradicionales de dos áreas rurales de Cuba". *Revista Bio Ciencias*, vol. 1, no. 1, 2010, pp. 4-18, ISSN 2007-3380, DOI 10.15741/rev bio ciencias.v1i1.7.
10. Guillén, de la C. P.; de la Cruz, L. E.; Rodríguez, H. S. A.; Castañón, N. G.; Gómez, V. A. y Lozano, del R. A. J. "Diversidad morfológica de poblaciones de maíces nativos (*Zea mays* L.) del estado de Tabasco, México". *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo*, vol. 46, no. 2, 2014, pp. 239-247, ISSN 0370-4661, 1853-8665.
11. Ligarreto, M. G. A.; Ballén, P. A. y Huertas, B. D. "Evaluación de las características cuantitativas de 25 accesiones de maíz (*Zea mays* L.) de la zona andina". *Revista Corpoica*, vol. 2, no. 2, 1998, pp. 1-5, ISSN 0122-8706.
12. Hortelano, S. R. R.; Gil, M. A.; Santacruz, V. A.; López, S. H.; López, P. A. y Miranda, C. S. "Diversidad fenotípica de maíces nativos del altiplano centro-oriente del estado de Puebla, México". *Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 35, no. 2, 2012, pp. 97-109, ISSN 0187-7380.
13. Rodríguez, P. G.; Zavala, G. F.; Ojeda, Z. C.; Gutiérrez, D. A.; Treviño, R. J. E. y Rincón, S. F. "Diversidad de maíces criollos de Nuevo León, México, mediante AFLP y caracteres morfológicos". *Agronomía Mesoamericana*, vol. 23, no. 1, 2012, pp. 29-39, ISSN 1021-7444.
14. Castro, N. S.; López, S. J. A.; Pecina, M. J. A.; Mendoza, C. M. C. y Reyes, M. C. A. "Exploración de germoplasma nativo de maíz en el centro y sur de Tamaulipas, México". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 4, no. 4, 2013, pp. 645-653, ISSN 2007-0934.
15. Bauernfeind, J. C. y Lachance, P. A. *Nutrient additions to food: nutritional, technological, and regulatory aspects*. Ed. Food & Nutrition Press, 1991, Trumbull, Conn., USA, 622 p., ISBN 978-0-917678-29-5.
16. de Vasconcelos, M. C. B. M.; Bennett, R.; Castro, C.; Cardoso, P.; Saavedra, M. J. y Rosa, E. A. "Study of composition, stabilization and processing of wheat germ and maize industrial by-products". *Industrial Crops and Products*, vol. 42, 2013, pp. 292-298, ISSN 0926-6690, DOI 10.1016/j.indcrop.2012.06.007.
17. Puga, A. P.; Prado, de M. R.; Mattiuz, B. H.; Vale, W. do D. y Fonseca, I. M. "Chemical composition of corn and sorghum grains cultivated in oxisol with different application methods and doses of zinc". *Ciencia e Investigación Agraria*, vol. 40, no. 1, 2013, pp. 97-108, ISSN 0718-1620.
18. Vázquez, C. M. G.; Santiago, R. D.; Salinas, M. Y.; López, C. J.; Ybarra, M. M. C. y Ortega, C. A. "Genotipos de maíz (*Zea mays* L.) con diferente contenido de aceite y su relación con la calidad y textura de la tortilla". *Agrociencia*, vol. 48, no. 2, 2014, ISSN 1405-3195, [Consultado: 10 de noviembre de 2016], Disponible en: <<http://repositoriodigital.academica.mx/jspui/handle/987654321/176453>>.
19. Raigón, J. M. D. *Alimentos ecológicos, calidad y salud*. Ed. Consejería de Agricultura y Pesca - Sociedad Española de Agricultura Ecológica, 2007, Sevilla, España, 192 p., ISBN 978-84-8474-217-3.
20. Zilic, S.; Milasinovic, M.; Terzic, D.; Barac, M. y Ignjatovic, M. D. "Grain characteristics and composition of maize specialty hybrids". *Spanish Journal of Agricultural Research*, vol. 9, no. 1, 2011, p. 230, ISSN 2171-9292, 1695-971X, DOI 10.5424/sjar/20110901-053-10.
21. Salinas, M. Y.; Aragón, C. F.; Ybarra, M. C.; Aguilar, V. J.; Altunlar, L. B. y Sosa, M. E. "Caracterización física y composición química de razas de maíz de grano azul/morado de las regiones tropicales y subtropicales de Oaxaca". *Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 36, no. 1, 2013, pp. 23-31, ISSN 0187-7380.

Recibido: 8 de diciembre de 2015

Aceptado: 19 de abril de 2016

