

ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES EN POBLACIONES CUBANAS DE MAÍZ

M. Martínez[✉], R. Ortiz, H. Ríos y Rosa Acosta

ABSTRACT. An analysis of Pearson's correlations (r) present in Cuban maize populations was performed in this research study. Consequently, correlations were found in most of the populations studied, such as those recorded between grain number per row (NoGH) and cob length (LM), mean cob diameter (DMM) and row number (NoH), as well as grain number per cob (NoGM) and grain number per row (NoGH). There are other specific correlations of each population studied. Significant correlations were also proved when comparing morphological characters and those of nutritional quality, which enable to make selection indirectly in breeding programs. In this sense, the highest correlations are firstly the ones showing row number and tryptophan (Trp) content in a negative manner whereas positively with sodium (Na) content. Correlations between quality characters are low but biologically important, showing what nutrient contents are directly or indirectly related among them. It is important to remark that the content of both essential amino acids (lysine and tryptophane) greatly determining maize protein quality has a very significant and positive correlation to each other in this population, which implies that increasing one amino acid content is directly equivalent to increasing the other one or vice versa, in such a way that protein quality becomes considerably higher or lower.

RESUMEN. En este trabajo se realizó un análisis de las correlaciones de Pearson (r) que se presentan en poblaciones de maíz de Cuba. Como resultado se encontraron correlaciones que se manifiestan en la mayoría de las poblaciones estudiadas, como las registradas entre el número de granos por hilera (NoGH) y la longitud de la mazorca (LM), diámetro medio de la mazorca (DMM) y número de hileras (NoH), y el número de granos por mazorca (NoGM) con el número de granos por hilera (NoGH). Hay otras correlaciones que son específicas de cada una de las poblaciones estudiadas. Se demostró también que existen correlaciones de importancia, cuando se comparan los caracteres morfológicos y los de calidad nutricional, que permiten realizar indirectamente la selección en programas de mejora. Las correlaciones más altas en este sentido son en primer lugar las que muestran el número de hileras con el contenido de triptófano (Trp) de manera negativa y con el contenido de sodio (Na) positivamente. Las correlaciones entre los caracteres de calidad a pesar de ser bajas son importantes biológicamente y dan la medida de qué contenidos de nutrientes se relacionan directa o indirectamente entre sí. Es importante destacar que el contenido de los dos aminoácidos esenciales (lisina y triptófano) que determinan en gran medida la calidad proteica del maíz tienen una correlación muy significativa y positiva entre sí en esta población, lo que implica que el aumento en el contenido de uno de los dos aminoácidos equivale directamente al aumento del otro y viceversa, de esta manera la calidad de la proteína aumenta o disminuye considerablemente.

Key words: maize, plant population, statistical methods, plant anatomy, quality, nutritive value

Palabras clave: maíz, población vegetal, métodos estadísticos, anatomía de la planta, calidad, valor nutritivo

INTRODUCCIÓN

Entre las plantas cultivadas hoy en día, el maíz por su producción a nivel mundial se ha ubicado en el primer término, superando al trigo y al arroz. Es la planta más estudiada por el hombre y la de mayor diversidad no solo genética sino también de usos. Tuvo su origen en México; sin embargo, a diferencia de otras especies cultivadas, el maíz no es un resultado típico de la evolución, ya que fue creado por las etnias de México y sigue siendo mejorado con el esfuerzo de los productores y mejoradores (1).

México es el centro primario de diversidad genética y la Zona Andina el secundario, donde el cultivo del maíz ha tenido una rápida evolución (2).

La variabilidad genética del maíz (*Zea mays*, L.) se debe a los mismos mecanismos que operan en las poblaciones de los organismos en el proceso evolutivo, tanto de manera espontánea como bajo domesticación. En gran medida, la diversidad de este cultivo se puede atribuir también a la selección practicada por el hombre desde su domesticación, así como a los numerosos nichos ecológicos y efectos ambientales que cada condición climática ejerce sobre las poblaciones para determinar su adaptación (3).

De acuerdo con este concepto, Hatheway plantea la existencia en Cuba de siete razas de maíz (4), que se diferencian y clasifican principalmente por los caracteres de la mazorca: Criollo, Tusón, Argentino, Canilla, White

Ms.C. M. Martínez, Investigador, Dr.C. R. Ortiz, Investigador Titular, Dr.C. H. Ríos, Investigador Auxiliar y Ms.C. Rosa Acosta, Investigadora Agregada del departamento de Genética y Mejoramiento Vegetal, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, gaveta postal 1, San José de las Lajas, La Habana, Cuba, CP 32 700.

✉ mmcruz@inca.edu.cu

Pop, Yellow Pop y White Dent. En estos estudios, el concepto de raza se estableció en función de los criterios de Mangelsdorf y Lister (5) en México. Por otra parte, Fernández informa la existencia de seis razas de maíz en Cuba: Criollo, Canilla, Tusón, Argentino, Amarillo Reventador y Dulce (6).

El maíz es un alimento básico para millones de personas en Latinoamérica, África subsahariana y parte de Asia (7). Como la mayoría de los granos de cereales, el maíz tiene baja calidad y cantidad de las proteínas y es particularmente deficiente en lisina y triptófano (8), dos aminoácidos que son esenciales en la dieta de los humanos y animales monogástricos (9).

Actualmente, en Cuba, las variedades criollas y foráneas las utilizan principalmente los productores y han sido incorporadas a programas de mejoramiento genético, empleándose varios métodos para lograr la mejor articulación del material genético (10). De esta forma, se han obtenido variedades sintéticas y mejoradas mediante la selección masiva de la población formada por variedades originales, así como híbridos dobles y triples mediante el cruzamiento de líneas puras, de acuerdo con su comportamiento y la capacidad combinatoria. Igualmente, se ha utilizado el método *top crosses*.

Es importante la selección de los caracteres cuantitativos más adecuados para la clasificación taxonómica. Algunos señalan que los datos morfológicos pueden tener una precisión taxonómica limitada, debido a la interacción ambiental y al desconocimiento de los mecanismos genéticos que controlan esos caracteres (11). Otros sugieren que los caracteres morfológicos deberían ser estudiados para identificar aquellos que estén altamente correlacionados, los cuales además de tener una alta repetibilidad podrían contribuir a la estimación de las asociaciones entre las poblaciones (12).

Por estas razones, resulta importante conocer las correlaciones fenotípicas que se dan en las diferentes poblaciones cubanas de maíz, de manera que brinden una panorámica clara de los caracteres que se asocian entre sí, permitiendo de esta manera dilucidar cuándo seleccionar sobre un carácter, en cuáles otros caracteres se está influyendo de manera indirecta y si la influencia es positiva o negativa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Análisis de correlaciones. Las 106 accesiones estudiadas se dividieron y agruparon en seis poblaciones: una primera, conformada por las 106 accesiones, denominada población general y las restantes cinco poblaciones se conformaron atendiendo al lugar donde se colectaron: Pinar del Río (21 accesiones), La Habana (22), INIFAT (19), región central (17) y región oriental (26). A esta población se le realizaron tres ciclos de evaluación en tres años: 2003, 2004 y 2005.

Las siembras se realizaron en el área central del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). En el 2003 la siembra se hizo el 10 de junio, en el 2004 el 5 de febrero y en el 2005 el 11 de noviembre, todas manualmente a una distancia de 0.30 m x 0.70 m en un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado (13). Las características del suelo se muestran en la Tabla I.

La siembra se efectuó en parcelas de 5,0 m de largo por 3,5 m de ancho, a razón de cinco surcos por parcela. Se aplicó un diseño completamente aleatorizado con tres réplicas. Las atenciones culturales se realizaron según el Instructivo técnico del cultivo (14), excepto la aplicación de fertilizantes que en este caso no hubo.

Durante el ciclo del cultivo, se evaluaron los caracteres 1 al 5 de la Tabla II. Durante las cosechas, cada variedad y réplica se recolectó por separado. En poscosecha se evaluaron 11 caracteres relacionados con la mazorca (6-16 de la Tabla III).

Para las evaluaciones se tomó una muestra de 10 plantas por accesión (15), según el Manual gráfico para la descripción varietal del maíz (*Zea mays* L.). Para determinar el comportamiento de las accesiones estudiadas ante la incidencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith), se tomó una muestra de 30 plantas por accesión y se determinó el porcentaje de plantas afectadas por la plaga.

Para evaluar la calidad nutricional, se eligieron 50 accesiones del total según el método estratificado con representación de los cinco grupos: Pinar del Río, La Habana, INIFAT, región central y región oriental y dentro de ellas la selección se hizo al azar. De este modo, se garantiza que estén representadas las tres regiones del país: occidente, centro y oriente, así como las variaciones que existen en términos de clima y condiciones de cultivo.

Tabla I. Contenido en materia orgánica y algunas características físico-químicas del perfil del suelo donde se realizaron las siembras

Horizonte	Profundidad (cm)	pH (H ₂ O)	MO (%)	Calcio	Cationes cambiabiles (cmol.kg ⁻¹)			Suma
					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

MO=materia orgánica

Tabla II. Caracteres evaluados durante el ciclo del cultivo

No.	Carácter	Acrónimo	Unidad de medida	Momento de evaluación
1	Incidencia de <i>Spodoptera frugiperda</i> (Smith)	ISF	Por ciento (%)	Tres 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 mazorcas por planta	NoMP	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	NoGH	Unidad	Después cosecha
12	Número de hileras	NoH	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	NoGM	Unidad	Después cosecha
16	Peso de 100 granos	P100G	(g)	Después cosecha

NH=número de hileras, P100G=peso 100 granos, 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, ISF=incidencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith) y NGH=número de granos por hileras

* Momentos de evaluación de *Spodoptera frugiperda* (Smith). 1-30 días; 2-45 días; 3- 60 días después de la siembra

Tabla III. Clasificación de los coeficientes de correlación

Clasificación	Rango del valor r
Débil	≤ 0.100
Moderada	0.101-0.300
Moderadamente fuerte	0.301-0.500
Fuerte	0.501-0.700
Muy fuerte	≤ 0.701

La caracterización de la calidad nutricional se hizo tomando una muestra de 100 g de semillas libres de patógenos y daños físicos. Los caracteres evaluados fueron los contenidos de nitrógeno (%), aceite (%), azúcares totales (%), ceniza (%), Lisina (%) y Triptófano (%).

Esta evaluación se llevó a cabo en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), Texcoco, México. Las muestras se analizaron con los protocolos para el desarrollo de cultivares de alta calidad proteica (16). Los testigos fueron una muestra de maíz normal (variedad: TL00A 1440-36) y uno de alta calidad proteica (NUTRICTA) con contenido de triptófano conocido (aproximadamente 0,095). Estas muestras se tomaron del banco de germoplasma del CIMMYT.

Preparación de muestras. Estas no se trataron con ningún producto químico ni biológico que haya influido en los resultados de los análisis, 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 por seis horas; posteriormente, las muestras se secaron al aire para eliminar el exceso de hexano.

Determinación de elementos evaluados. Se realizó con los métodos siguientes:

- ◆ cenizas totales: AACC, 1995 (17)
- ◆ extracto etéreo: AOAC, 1975 (18)
- ◆ nitrógeno total: método Microkjeldahl, según AOAC, 1975 (18)
- ◆ azúcares totales: método de la antrona, según AACC, 1995 (17)
- ◆ contenido de lisina: método de Tsai, Dalby y Jones, 1975 (19), modificado por Villegas, Ortega y Bauer, 1984 (20).

El contenido de triptófano se determinó por el método colorimétrico basado en ácido glicoxílico; se utiliza la papaína como blanco, que es una proteína que en cada una de sus moléculas contiene siete unidades de triptófano (16).

El cálculo del contenido de proteína se realizó con la fórmula siguiente:

$$\% \text{proteína} = \% \text{nitrógeno} \times 6.25 \text{ (factor de conversión para maíz)}$$

A partir de los datos obtenidos de las determinaciones anteriores, se calculó el índice de calidad (IQ, por sus siglas en inglés), que es la relación triptófano-proteína expresada en porcentaje (%) y calculada de la siguiente manera:

$$\text{Índice de calidad (IQ)} = (100 \times \% \text{trp}) / \text{proteína}$$

Además, en las 50 accesiones estudiadas se determinó el contenido de los minerales: zinc (Zn), hierro (Fe), sodio (Na), calcio (Ca), fósforo (P), magnesio (Mg) y potasio (K) 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 MAPA (21) de España.

Para calcular los minerales contenidos en el grano de maíz, se partió de una muestra de 200 g de semilla y, en una fracción, tras la mineralización ácida, se procedió a la determinación espectrofotométrica del contenido de fósforo MAPA (21), por fotometría de llama la de sodio y potasio MAPA (21) y por absorción atómica la de calcio, magnesio, hierro y zinc MAPA (20).

Asociaciones entre los caracteres morfológicos y de calidad nutricional evaluados en la población general y en las poblaciones conformadas por localidades de colecta. Con el programa estadístico SPSS versión 11.5, se realizó un análisis de las correlaciones de Pearson (r) entre los caracteres cuantitativos evaluados: diámetro del tallo (DT), altura a la mazorca superior (AMS), longitud de la planta (LP), número de mazorcas por planta (NoMP), número de granos por hilera (NoGH), número de hileras (NoH), longitud de la mazorca (LM), diámetro medio de la mazorca (DMM), número de granos por mazorca (NoGM), peso de cien granos (P100G) e incidencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith) (IFS) (Tabla I). Las correlaciones se estudiaron tanto en la población general como en cada una de las cinco poblaciones formadas, atendiendo al lugar de colecta. Este análisis se realizó con el objetivo de conocer cómo son las correlaciones existentes entre los caracteres evaluados en cada población y en la población general.

Se determinaron las correlaciones de Pearson (r) entre los caracteres morfológicos: DT, AMS, LP, NoMP, NoGH, NoH, LM, DMM NoGM, P100G e ISF y de calidad nutricional evaluados: contenido de los minerales zinc, hierro, sodio, calcio, fósforo, magnesio y potasio. Estos análisis utilizaron el programa estadístico SPSS versión 11.5 para Windows.

Por último, se determinaron las correlaciones de Pearson (r) entre los caracteres de calidad nutricional evaluados: contenido de los minerales zinc, hierro, sodio, calcio, fósforo, magnesio y potasio. Estos análisis emplearon el programa estadístico SPSS versión 11.5 para Windows.

Para una mayor comprensión biológica, se utilizaron los rangos del coeficiente de correlación (r) propuestos por Ortiz (22), como se presenta en la Tabla III.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Asociaciones entre los caracteres morfológicos y de calidad nutricional evaluados en la población general y en las poblaciones conformadas por localidades de colecta. La Tabla IV muestra las correlaciones de Pearson (r) detectadas entre los caracteres morfológicos evaluados en la población general integrada por 106 accesiones.

En la población general, las mayores correlaciones detectadas fueron entre NoGH–NoGM (0,911); LM–NoGM (0,885); AMS–LP (0,800); NoH–LM (0,790), NoGH–LM y P100G–LM, todas positivas y muy significativas.

Según la clasificación propuesta (22) sobre el valor de r, se deben resaltar estas asociaciones entre los caracteres morfológicos como las de mayor importancia biológica, debido a que se catalogan como correlaciones muy fuertes ($=0,701$).

Posteriormente, se ubican las correlaciones muy significativas entre NoGH–P100G (0,572), NoH–P100G (0,560), NoH–NoGM (0,698), NoH–DT (0,546), P100G–NoGM (0,671) y AMS–ISF (-0,669), consideradas como correlaciones fuertes (0,501-0,700).

Estas correlaciones encontradas son importantes, dado que estos caracteres influyen directamente en el rendimiento del maíz y son utilizados frecuentemente por investigadores y campesinos para seleccionar las accesiones de su interés (23). Los campesinos generalmente no emplean el P100G para seleccionar sus accesiones, pero al hacer la selección basada en alguno de estos otros caracteres, están indirectamente influyendo en el P100G.

Se ha dicho que la correlación entre algunos caracteres se debe a que ellos probablemente representan diferentes vías de medir el mismo carácter, aunque también podría deberse a una relación estructural o del desarrollo, como por ejemplo, el número de hojas con el número de nudos y la longitud de la planta con la altura de la mazorca superior (12). De acuerdo con estos autores, alguno caracteres correlacionados podrían ser descartados, mientras que otras correlaciones podrían ser dependientes de un germoplasma base particular y del proceso evolutivo en ese germoplasma.

Tabla IV. Correlaciones de Pearson entre los caracteres morfológicos evaluadas en la población general

	NoGH	NoH	P100G	LM	DMM	NoGM	DT	AMS	LP
NoH	,343(**)	1							
P100G	,572(**)	,560(**)	1						
LM	,720(**)	,790(**)	,721(**)	1					
DMM	,172	,485(**)	,156	,403(**)	1				
NoGM	,911(**)	,698(**)	,671(**)	,885(**)	,343(**)	1			
DT	-,146	,546(**)	,210(*)	,124	,393(**)	,137	1		
AMS	,133	,094	,089	-,008	,234(*)	,161	,321(**)	1	
LP	-,177	-,139	-,129	-,359(**)	,205 (*)	-,174	,353(**)	,800(**)	1
ISF	,028	-,031	-,254(**)	,080	,064	-,001	-,464(**)	-,669(**)	-,471(**)

**=(p=0,01), *(p=0,05). NH= número de hileras, P100S= peso 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, ISF= incidencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith) y NGH= número de granos por hilera

Caracteres como el diámetro de la mazorca y número de hileras o la longitud de la mazorca y el número de granos por hilera están altamente correlacionados, por estar midiendo el mismo carácter.

El resto de las correlaciones se ubica entre los rangos de débil a moderadamente fuerte, que aunque estadísticamente muestran correlaciones significativas, al clasificarlas desde el punto de vista biológico no son importantes.

Por otra parte, se señala que los caracteres correlacionados son de interés por tres razones (24):

- ⇒ en conexión con las causas genéticas de correlación a través de la acción pleiotrópica de los genes,
- ⇒ en conexión con los cambios producidos por la selección, el mejoramiento de un carácter puede causar cambios simultáneos en otros caracteres
- ⇒ en conexión con la selección natural, la relación existente entre un carácter métrico y la aptitud es el agente principal que determina las propiedades genéticas de dicho carácter en una población natural.

Se han encontrado correlaciones que constituyen las más frecuentes en el maíz (25), que coinciden con las de este trabajo, como son las correlaciones entre la longitud de la planta y altura a la mazorca superior, la longitud de la mazorca y el número de granos por hilera y el número de hileras y diámetro de la mazorca.

La Tabla V muestra las correlaciones de Pearson (r) existentes entre los caracteres morfológicos evaluados en la población de La Habana conformada por 22 accesiones.

En la población de La Habana fueron 14 las correlaciones muy fuertes (=0,700): AMS–LP (0,987), NoGH–NoGM (0,976), LM–NoGM (0,922), NoGH–P100G (0,867), NoGH–LM (0,836), NoH–LP (-0,808), LM–LP (-0,805), P100G–NoGM (0,794), P100G–DT (0,793), LM–AMS (-0,784), NoH–DMM (0,757), NoH–AMS (-0,751), NoGM–AMS (-0,727) y NoGM–LP (-0,722). Todas las correlaciones mencionadas son muy significativas. Se destaca que los caracteres de la planta (AMS y LP) están correlacionados con caracteres propios de la mazorca, como el número de granos por hilera, número de hileras y diámetro medio de la mazorca, aunque de manera negativa, aspecto que en la población general ocurre en menor grado.

Se encontraron también siete correlaciones fuertes (0,501-0,700), que son: NoH–LM (0,645), NoGH–DT (0,623), NoGH–AMS (-0,604), NoGH–LP (-0,585), NoGM–DT (0,545), NoGH–ISF (-0,509) y P100G–LM (0,508). La correlación encontrada entre el peso de 100 granos (P100G) y la longitud de la mazorca (LM) es significativa; el resto de las correlaciones son muy significativas. Dentro de las asociaciones detectadas, cabe destacar la influencia negativa de IFS sobre el número de granos por hilera y de igual manera ocurre con la longitud de la planta y altura a la mazorca superior. El resto de las correlaciones se ubican entre los rangos de débil a moderadamente fuerte.

La Tabla VI muestra las correlaciones de Pearson (r) existentes entre los caracteres morfológicos evaluados en la población de la región central conformada por 17 accesiones.

Tabla V. Asociaciones entre los caracteres morfológicos evaluados en la población de La Habana

	NoGH	NoH	P100G	LM	DMM	NoGM	DT	AMS	LP
NoH	,216	1							
P100G	,867(**)	-,033	1						
LM	,836(**)	,645(**)	,508(*)	1					
DMM	,008	,757(**)	-,128	-,356	1				
NoGM	,976(**)	,423(*)	,794(**)	,922(**)	,176	1			
DT	,623(**)	-,144	,793(**)	,321	-,019	,545(**)	1		
AMS	-,604(**)	-,751(**)	-,364	-,784(**)	-,355	-,727(**)	,050	1	
LP	-,585(**)	-,808(**)	-,330	-,805(**)	-,430(*)	-,722(**)	,054	,987(**)	1
ISF	-,509(*)	,124	-,219	-,426(*)	,363	-,448(*)	,138	,396	,360

Tabla VI. Correlaciones de Pearson entre los caracteres morfológicos evaluados en la población de plantas de la región central

	NoGH	NoH	P100G	LM	DMM	NoGM	DT	AMS	LP
NoH	,294	1							
P100G	,881(**)	,176	1						
LM	-,162	,759(**)	-,125	1					
DMM	,099	,644(**)	,178	,679(**)	1				
NoGM	,851(**)	,750(**)	,700(**)	,296	,408	1			
DT	-,458	,686(**)	-,480	,873(**)	,592(*)	,056	1		
AMS	,010	,936(**)	-,093	,742(**)	,574(*)	,521(*)	,808(**)	1	
LP	-,056	,907(**)	-,171	,731(**)	,559(*)	,461	,825(**)	,992(**)	1
ISF	-,081	-,968(**)	,040	-,787(**)	-,630(**)	-,587(*)	-,816(**)	-,984(**)	-,969(**)

NGM= número de granos por mazorca, D1= diámetro del tallo, AMS= altura a la mazorca superior, LP= longitud de la planta, ISF= incidencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith) y NGH= número de granos por hilera

En la población de la región central se hallaron 17 correlaciones muy fuertes ($=0,700$): AMS-LP (0,992), AMS-IFS (-0,984), LP-IFS (-0,969), NoH-IFS (-0,968), NoH-AMS (0,936), NoH-LP (-0,907), NoGH-P100G (0,881), LM-DT (0,873), NoGH-NoGM (0,851), DT-LP (0,825), DT-IFS (-0,816), DT-AMS (0,808), LM-IFS (-0,787), NoH-LM (0,759), NoH-NoGM (0,750), LM-AMS (0,742) y LM-LP (0,731). La totalidad de las correlaciones mencionadas son muy significativas.

Se detectaron cinco correlaciones muy significativas y fuertes: P100G-NoGM (0,700), NoH-DT (0,686), LM-DMM (0,679), NoH-DMM (0,644) y DMM-IFS (-0,630) y además cinco correlaciones significativas y fuertes: DMM-DT (0,592), NoGM-IFS (-0,587), DMM-AMS (0,574), DMM-LP (0,559) y NoGM-AMS (0,521).

En la región central es importante destacar la influencia negativa que ejerció la incidencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith) en seis caracteres incluidos dos de la mazorca, NoH y LM, con los que tiene muy fuerte correlación al igual que con DT, AMS y LP. Esta asociación que se presenta en la población en estudio es importante, dado que es la plaga clave del maíz y puede causar serias afectaciones al rendimiento; habría que evaluar en las condiciones específicas de su lugar de origen si se comporta de la misma manera.

Hay que acentuar que las correlaciones muy fuertes que presentan los caracteres de la planta DT, AMS y LP con los caracteres de la mazorca NoH y LM son inversas a lo que sucede en la población de La Habana, donde son negativas, mientras que en la región central son positivas.

Es necesario resaltar también las correlaciones muy fuertes que se presentan entre los caracteres del rendimiento NoGH-P100G, NoGH-NoGM, NoH-LM y NoH-NoGM.

La Tabla VII muestra las correlaciones de Pearson (r) existentes entre los caracteres morfológicos evaluados en la población del INIFAT conformada por 19 accesiones.

En la población conformada con las accesiones provenientes del INIFAT se encontraron 24 correlaciones muy significativas y fuertes ($=0,700$): LM-AMS (-0,994),

NoGM-AMS (-0,984), AMS-LP (0,982), NoGM-LP (-0,975), NoGH-IFS (-0,972), LM-LP (-0,966), LM-IFS (-0,921), NoGH-LM (0,912), AMS-IFS (-0,892), NoGH-AMS (-0,876), NoGH-NoGM (0,866), NoGM-IFS (-0,857), P100G-LM (0,824), NoH-LP (-0,818), P100G-NoGM (0,817), P100G-AMS (-0,816), LP-IFS (-0,806), NoGH-LP (-0,779), NoH-NoGM (0,754), P100G-IFS (-0,748), NoGH-P100G (0,733) y NoH-AMS (-0,709).

Se detectaron en esta población cuatro correlaciones muy significativas y fuertes: DMM-DT (-0,670), NoGH-DT (-0,662), NoH-LM (0,659) y DT-IFS (-0,635).

Las accesiones provenientes del banco de germoplasma del INIFAT son las que mostraron mayor influencia negativa del carácter influencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith) y se refleja en las correlaciones que se manifiestan al influir negativamente este carácter en otros siete casos (NoGH, P100G, LM, NoGM, DT, AMS y LP), en seis de los cuales la correlación es muy fuerte, donde se excluye el DT, evidenciando que una afectación severa por la plaga específicamente en esta población reduce significativamente su rendimiento.

En coincidencia con lo que sucede en la población de la región central, se presentan correlaciones muy fuertes y negativas entre los caracteres de la planta DT, AMS y LP con los de la mazorca NoH y LM, además con P100G y NoGM. También se correlacionan muy fuertes los caracteres del rendimiento entre sí.

La Tabla VIII muestra las correlaciones de Pearson (r) existentes entre los caracteres morfológicos evaluados en la población de Pinar del Río conformada por 21 accesiones.

En la población conformada con las accesiones provenientes de Pinar del Río se encontraron 18 correlaciones muy significativas y fuertes ($=0,700$): NoH-P100G (-0,924), P100G-DMM (-0,909), NoGH-NoH (-0,898), AMS-LP (0,874), NoGH-AMS (0,870), NoGH-IFS (0,855), LM-DT (-0,850), NoGM-IFS (-0,847), NoH-DMM (0,833), P100G-AMS (0,821), P100G-LP (0,816), DMM-LP (-0,810), NoGH-LP (0,795), NoH-AMS (-0,783), DMM-AMS (-0,756), NoGH-DMM (-0,746), AMS-IFS (-0,710) y NoGH-NoGM (0,707).

Tabla VII. Correlaciones de Pearson entre los caracteres morfológicos evaluados en la población de plantas del INIFAT

	NoGH	NoH	P100G	LM	DMM	NoGM	DT	AMS	LP
NoH	,324	1							
P100G	,733(**)	,568(*)	1						
LM	,912(**)	,659(**)	,824(**)	1					
DMM	,436	-,408	-,048	,142	1				
NoGM	,866(**)	,754(**)	,817(**)	,982(**)	,082	1			
DT	-,662(**)	,471(*)	-,225	-,319	-,670(**)	-,210	1		
AMS	-,876(**)	-,709(**)	-,816(**)	-,994(**)	,070	-,984(**)	,250	1	
LP	-,779(**)	-,818(**)	-,818(**)	-,966(**)	,070	-,975(**)	,079	,982(**)	1
ISF	-,972(**)	,342	-,748(**)	-,921(**)	,349	-,857(**)	-,635(**)	-,892(**)	-,806(**)

**= ($p \leq 0,01$), *= ($p \leq 0,05$), NH= número de hileras, P100S= peso 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, ISF= incidencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith) y NGH= número de granos por hilera

Se detectaron en esta población siete correlaciones muy significativas y fuertes entre los caracteres: NoH–LP (-0,682), NoGM–LP (0,667), NoGH–IFS (-0,648), NoGM–AMS (0,636), LP–IFS (-0,616), NoH–DT (0,601) y LM–LP (-0,549).

En las accesiones provenientes de Pinar del Río también se manifiestan correlaciones entre los caracteres de la planta y los de la mazorca, demostrando que para esta población, como ocurre en la de La Habana, el buen desarrollo de la planta influye positivamente en algunos caracteres de la mazorca (NoGH, NoH, LM y DMM). También es junto a la población de La Habana la que es menos afectada por la influencia de la plaga clave del maíz.

La Tabla IX muestra las correlaciones de Pearson (r) existentes entre los caracteres morfológicos evaluados en la población de la región oriental conformada por 21 accesiones.

En la población conformada con las accesiones provenientes de la región oriental se encontraron 18 correlaciones muy significativas y fuertes (=0,700): AMS–IFS (-0,963), LM–NoGM (0,913), NoH–LM (0,912), P100G–DMM (0,905), NoH–NoGM (0,903), DT–IFS (-0,866), DT–AMS (0,852), NoH–DMM (0,839), NoGM–DT (0,836), P100G–NoGM (0,826), NoH–P100G (0,809), DMM–NoGM (0,793), AMS–LP (0,790), P100G–LM (0,789), NoH–DT (0,754), LM–DMM (0,751), DMM–DT (0,711) y LP–IFS (-0,705).

Se detectaron en esta población cinco correlaciones muy significativas y fuertes entre los caracteres: P100G–DT (0,654), LM–DT (0,643), DT–LP (0,587), NoGM–AMS (0,543) y NoGM–IFS (-0,515).

En la región oriental el porcentaje de infestación por *Spodoptera frugiperda* (Smith) afecta a seis caracteres también, incluidos dos de la mazorca de poca importancia biológica: número de hileras y diámetro medio de la mazorca.

De manera general, el carácter más afectado por la incidencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith) es la longitud de la planta que no es afectado solamente en la población de La Habana, seguido del diámetro del tallo y diámetro medio de la mazorca, que son los otros caracteres negativamente influenciados por esta plaga.

Por una parte, en las accesiones andinas de maíz se encontró correlación de manera positiva y significativa (26), entre el diámetro medio de la mazorca y la longitud de la planta (LP) y con la altura a la mazorca superior (AMS). Por otra parte, al evaluar las poblaciones de maíz para uso forrajero (27), se han encontrado correlaciones entre la producción de tallos (diámetro y longitud del tallo) y la de la mazorca (longitud y grosor de la mazorca, así como peso de los granos).

Tabla VIII. Correlaciones de Pearson entre los caracteres morfológicos evaluados en la población de plantas de Pinar del Río

	NoGH	NoH	P100G	LM	DMM	NoGM	DT	AMS	LP
NoH	-,898(**)	1							
P100G	,855(**)	-,924(**)	1						
LM	-,012	-,209	-,063	1					
DMM	-,746(**)	,833(**)	-,909(**)	,194	1				
NoGM	,707(**)	-,328	,388	-,428	-,313	1			
DT	-,359	,601(**)	-,381	-,850(**)	,250	,259	1		
AMS	,870(**)	-,783(**)	,821(**)	-,247	-,756(**)	,636(**)	-,143	1	
LP	,795(**)	-,682(**)	,816(**)	-,549(**)	-,810(**)	,667(**)	,145	,874(**)	1
ISF	-,648(**)	,352	-,362	,323	,324	-,847(**)	-,217	-,710(**)	-,616(**)

Tabla IX. Correlaciones de Pearson entre los caracteres morfológicos evaluados en la población de plantas de la región oriental

	NoGH	NoH	P100G	LM	DMM	NoGM	DT	AMS	LP
NoH	-,424(*)	1							
P100G	-,116	,809(**)	1						
LM	-,181	,912(**)	,789(**)	1					
DMM	-,278	,839(**)	,905(**)	,751(**)	1				
NoGM	,000	,903(**)	,826(**)	,913(**)	,793(**)	1			
DT	-,062	,754(**)	,654(**)	,643(**)	,711(**)	,836(**)	1		
AMS	,013	,453(*)	,348	,250	,481(*)	,543(**)	,852(**)	1	
LP	-,384	,382	,232	,032	,435(*)	,272	,587(**)	,790(**)	1
ISF	-,068	-,394(*)	-,302	-,233	-,438(*)	-,515(**)	-,866(**)	-,963(**)	-,705(**)

**= (p≤0,01), *= (p≤0,05), NH= número de hileras, P100S= peso 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, ISF= incidencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith) y NGH= número de granos por hilera

Correlaciones entre los caracteres morfológicos y de calidad nutricional evaluados. La Tabla X muestra las correlaciones de Pearson (r) existentes entre los caracteres morfológicos y los de calidad nutricional evaluada a la población conformada por 50 accesiones, a las cuales también se les evaluó la calidad nutricional del grano.

Desde el punto de vista biológico, las correlaciones que se presentaron entre los caracteres morfológicos y de calidad nutricional se ubicaron en las categorías de moderada (0,101–0,300) y moderadamente fuerte (0,301–0,500), por lo que su importancia fue menor a las que ocurren entre los caracteres morfológicos. Se destacan por su importancia práctica las que se encontraron entre el número de hileras (NoH) y contenido de triptófano (Trp) de manera negativa (-0,408) y el contenido de sodio (Na) positivamente (0,367); en esencia, un aumento en el número de hileras para esta población constituye una disminución en el contenido de triptófano y un posible aumento del contenido de sodio.

En el caso del contenido de triptófano (Trp), existe una correlación negativa con la longitud de la mazorca (LM) (-0,288) y el número de granos por mazorca (NoGM) (-0,361). Este aspecto es importante, debido a que con regularidad los campesinos tienen una tendencia a seleccionar accesiones que tengan una mazorca de mayor longitud y número de granos, y pueden estar indirectamente seleccionando de manera negativa para la calidad nutricional. De igual forma ocurre en la correlación que existe entre el contenido de azúcares totales (AZU) y la longitud de la mazorca (LM) (-0,297) y el número de granos por mazorca (NoGM) (-0,460).

Correlaciones entre los caracteres de calidad nutricional evaluados. La Tabla XI muestra las correlaciones de Pearson (r) existentes entre los caracteres de calidad nutricional evaluados a la población.

Tabla X. Correlaciones de Pearson entre los caracteres morfológicos y de calidad nutricional evaluados

	NoGH	NoH	P100G	LM	DMM	NoGM	DT	AMS	LP	NoMP	ISF
PRT	-,107	-,102	-,121	-,053	,000	-,114	,002	,183	,202	-,249	,068
TRP	-,253	-,408(**)	-,180	-,288(*)	,183	-,361(*)	-,111	-,102	,014	-,064	,060
QI	-,139	-,271	-,059	-,245	,148	-,229	-,084	-,312(*)	-,207	,254	-,031
LIS	,167	-,259	-,062	,044	,156	,051	-,352(*)	,160	,062	-,288(*)	,165
AZU	-,440(**)	-,223	-,112	-,297(*)	-,019	-,460 (**)	,204	-,132	,037	,132	-,099
CEN	,283(*)	-,163	,118	,011	,138	,189	-,139	,352(*)	,240	-,317(*)	-,139
ACE	,012	-,047	,030	,003	,213	-,015	,024	-,092	-,049	-,022	-,093
ZN	,302(*)	,063	,078	,169	,060	,278	-,242	-,010	-,114	-,010	,111
FE	-,062	-,032	-,298(*)	-,196	-,238	-,056	,032	-,084	,021	,209	,199
NA	,140	,367(**)	,101	,285(*)	-,242	,248	,185	,090	-,016	,015	,027
CA	,210	,161	-,052	,173	-,159	,231	-,100	-,244	-,319(*)	,290(*)	,189
P	,272	,070	-,063	,133	-,019	,263	-,234	-,013	-,120	,063	,216
MG	,031	,155	-,043	,086	-,071	,081	-,036	-,026	-,016	,023	,230
K	-,175	-,052	-,139	-,128	,023	-,166	-,010	-,302(*)	-,114	,149	,260

Tabla XI. Correlaciones de Pearson entre los caracteres de calidad nutricional evaluados

	PRT	TRP	QI	LIS	AZU	CEN	ACE	ZN	FE	NA	CA	P	MG
TRP	,554(**)	1											
QI	-,643(**)	,270	1										
LIS	,611(**)	,471(**)	-,295(*)	1									
AZU	-,020	,114	,114	-,137	1								
CEN	,410(**)	,269	-,201	,540(**)	-,165	1							
ACE	-,565(**)	-,278	,409(**)	-,252	,091	-,034	1						
ZN	-,071	-,062	-,004	-,074	-,204	-,034	-,097	1					
FE	-,034	-,056	-,025	-,262	-,043	-,105	-,042	,271	1				
NA	,049	-,194	-,254	,079	-,015	,061	-,021	,081	,006	1			
CA	-,242	-,216	,089	-,190	-,252	-,077	,068	,431(**)	,289(*)	,339(*)	1		
P	,075	-,020	-,110	-,033	-,128	,048	-,093	,490(**)	,499(**)	,121	,359(*)	1	
MG	,135	,160	-,037	,048	-,109	,084	-,162	,278	,291(*)	,222	,234	,409(**)	1
K	,146	,153	-,021	-,002	,189	,045	-,076	,133	,185	-,033	,097	,509(**)	,396(**)

Zn= zinc, Fe= hierro, Na= sodio, Ca= calcio, P= fósforo, Mg= magnesio y K= potasio

En este caso aparecieron cinco correlaciones fuertes entre los caracteres, de las cuales es importante destacar que el contenido de los dos aminoácidos esenciales, que determinan en gran medida la calidad proteica del maíz, tienen una correlación muy significativa y positiva entre sí en esta población, lo que implica que el aumento en el contenido de uno de los dos aminoácidos equivale directamente al aumento del otro y viceversa; de esta manera, la calidad de la proteína aumenta o disminuye considerablemente.

La otra correlación interesante es la que se produce de manera muy significativa y positiva entre el contenido de nitrógeno y el de lisina y triptófano, de forma tal que un aumento en el porcentaje de proteínas viene dado también por un aumento en el contenido de lisina y triptófano.

También se debe destacar la correlación negativa y muy significativa que se manifiesta entre el contenido de aceite y el de nitrógeno, demostrando así que disminuyendo el contenido de aceite de esta población se provoca un aumento del contenido de nitrógeno y, por consiguiente, un aumento también en el contenido de triptófano, lisina y ceniza.

Evidentemente, entre los minerales evaluados en este trabajo existen correlaciones importantes que se deben subrayar. En este caso está el contenido de fósforo (P), que está correlacionado en diferentes niveles de significación con el resto de los caracteres: contenidos de zinc, hierro, magnesio, calcio y potasio.

Las correlaciones que se manifestaron en la población estudiada permiten seleccionar o mejorar indirectamente algunos caracteres basados en la selección o mejora de otros que están directamente correlacionados con estos. Es necesario resaltar que las correlaciones siempre están supeditadas a las poblaciones evaluadas.

Se han encontrado correlaciones (25), que son las más frecuentes en el maíz cuando se analizan varias poblaciones y que coinciden con las encontradas en este trabajo, como son las correlaciones entre la longitud de la planta y altura a la mazorca superior, longitud de la mazorca y el número de granos por hilera y número de hileras y diámetro de la mazorca.

De manera general, es evidente que las correlaciones en el maíz son extremadamente variables; ninguna de las seis poblaciones estudiadas, incluida la general, presenta las mismas correlaciones ni los mismos niveles de significación para cada carácter. También se demuestra que las correlaciones varían con el tiempo, debido a que se han encontrado correlaciones diferentes al evaluar las accesiones de colectadas en La Habana y la región oriental (28), además de tener en cuenta que la mayoría de los caracteres de importancia económica son de herencia cuantitativa y, por lo general, tienen baja heredabilidad (24).

Se deben destacar también las relaciones que directa o indirectamente tuvieron los caracteres número de granos por hilera, número de hileras, número de granos por mazorca, peso de 100 semillas y longitud de la mazorca; siendo en muchos casos sus correlaciones muy fuertes y en otros fuertes, lo que constituye en todos ellos componentes del rendimiento del maíz.

REFERENCIAS

1. Muñoz, O. A. Centli-Maíz. Prehistoria e historia, diversidad, potencial, origen genético y geográfico, glosario centli-maíz. Montecillo: Colegio de Postgraduados, 2003. 210 p.
2. Wilkes, G. Teosinte and the other wild relatives of maize. En: Recent advances in the conservation and utilization of genetic resources: Proceedings of the global maize germplasm workshop (1988 6-12 mar: México) México, D. F.: CIMMYT, 1988, p. 70-80. ISBN: 968-6127-44-5.
3. Carballoso, V.; Mejía, A.; Valderrama, S.; Carballo, A. y González, F. Divergencia en poblaciones de maíz nativas de Valles Altos de México. *Agrociencia*, 2000, vol. 34, no. 2, p. 167-174.
4. Hatheway, W. H. Races of maize in Cuba. Washington, D.C.: National Academy of Sciences-National Research Council, 1957. 75 p.
5. Mangelsdorf, P. C. Reconstructing the ancestor of corn. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 1958, vol. 102, no. 5 p. 454-463.
6. Fernández, L. Identificación de razas de maíz (*Zea mays* L.) presentes en el germoplasma cubano. La Habana: Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical (INIFAT), 2009.
7. Gunaratna, N. S. Evaluating the nutritional impact of maize varieties genetically improved for protein quality. [A dissertation submitted of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy]. [on line] Indiana: Purdue University West Lafayette, 2007. 134 p. ISBN: 9780549303589 [Consultado: 07 de julio del 2009]. Disponible en: <http://docs.lib.purdue.edu/dissertations/AAI3287297/>.
8. Sansano, C. Cereales: estructura y composición nutricional. [en línea] Alicante: Universidad de Alicante, 2008. [Consultado: 07 de julio del 2009]. Disponible en: <http://www.scribd.com/doc/8651521/Sansano-Cereales-A>.
9. FAO. El maíz en la nutrición humana Roma, 1993. 172 p. Colección FAO: Alimentación y Nutrición. No. 25.
10. Rabí, B. O. Comportamiento de una variedad de maíz de introducción. La Habana: X Forum de Ciencia y técnica, IHLD. 1997.
11. Camussi, P. L., Spagnoletti, Z. y Melchiorre, P. Numerical taxonomy of Italian maize populations: Genetic distances on the basis of heterotic effects. *Maydica*, 1983, vol. 28, p. 411-424.
12. Smith, J. S. C. y Smith, O. S. The description and assessment of distance between inbred lines of maize: I. The use of morphological traits as descriptors. *Maydica*, 1989, vol. 34, p. 141-150.
13. Hernández, A.; Morell, F.; Ascanio, M. O.; Borges, Y.; Morales, M. y Yong, A. Cambios globales de los suelos ferralíticos rojos lixiviados (Nitisoles Ródicos Eútricos) de la provincia La Habana. *Cultivos Tropicales*, 2006, vol. 27, no. 2, p. 41-45.
14. MINAGRI. Instructivo técnico del cultivo del maíz. La Habana: Dirección Nacional de Cultivos Varios, 1992.
15. Carballo, C. A. y Benítez, V. A. Manual gráfico para la descripción varietal del maíz (*Zea mays* L.). Montecillos: Colegio de Postgraduados, 2003. 114 p.

16. Vivek, B., Krivanek, A., Palacios, N., Twumasi, S., Diallo, A. Breeding quality protein maize (QPM): Protocols for developing QPM cultivars. Mexico, D. F.: CIMMYT, 2008. 50 p. ISBN: 9789706481603.
17. AACCC. Approved methods of analysis. 9th ed. St. Pau: Ed. Am. Assoc. Cereal Chem, 1995.
18. AOAC. Official methods of analysis. AOAC Publication, 1975.
19. Tsai, C. Y.; Dalby, A. y Jones, R. A. Lysine and tryptophan increases during germination of maize seed. *Cereal Chem.*, 1975, vol. 52, p. 356-360.
20. Villegas, E.; Ortega, E. y Bauer, R. Chemical methods used at CIMMYT for determining protein quality in cereal grains. México D. F.: CIMMYT, 1984. 35 p.
21. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación (MAPA). Métodos oficiales de análisis. Tomo III. Suelos, aguas, fertilizantes y plantas. Madrid: Editorial MAPA, 1994.
22. Ortiz, R. Características poblacionales y criterios de selección en las primeras etapas en caña de azúcar (*Saccharum* sp p. híbridos). [Tesis de candidato a Doctor en Ciencias] La Habana: INCA, 1982.
23. Acosta, R.; Ríos, H.; Kessel, A.; Martínez, M. y Ponce, M. Selección participativa de germoplasma cubano de maíz (*Zea mays*, L.) en el sistema local del municipio de Batabanó, La Habana. *Cultivos Tropicales*, 2007, vol. 28, no. 2, p. 63-70.
24. Falconer, D. S. Introducción a la genética cuantitativa. México, D. F.: Compañía Editorial Continental, S. A., 1978. 430 p.
25. Alfaro, Y. y Segovia, V. Maíces del sur de Venezuela clasificados por taxonomía numérica. I. Caracteres de la planta y de la mazorca. *Agronomía Tropical*, 2000, vol. 50, no. 3, p. 413-433.
26. Ligarreto M. G.; 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*, 1998, vol. 2, no. 2.
27. Wong, R.; Gutiérrez, E.; Rodríguez, S. A.; Palomo, A.; Córdova, H. y Espinoza, A. Aptitud combinatoria y parámetros genéticos de maíz para forraje en la Comarca Lagunera, México. *Universidad y Ciencia*, 2006, vol. 22, no. 2, p. 141-151.
28. Martínez, 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 (INCA). La Habana. 2004.

Recibido: 2 de junio de 2009

Aceptado: 22 de diciembre de 2009