



Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas

CARACTERIZACIÓN MORFOAGRONÓMICA Y NUTRICIONAL,  
DE UNA COLECCIÓN CUBANA DE MAÍZ (*Zea Mays L.*)



Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas

*Aspirante: MSc. Michel Martínez Cruz*

*Tutor: Dr. C. Rodobaldo Ortiz Pérez*

*Mayabeque, 2011*

Citación correcta (Sistema numérico. Norma iso 690)

Martínez Cruz, Michel . Caracterización morfoagronómica y nutricional, de una colección cubana de maíz (Zea Mays L.) [Tesis de Doctor en Ciencias Agrícolas] Mayabeque: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2011. 91 p., xxi

Citación correcta (Sistema apellido, año. Norma iso 690)

Martínez Cruz, Michel . 2011. Caracterización morfoagronómica y nutricional, de una colección cubana de maíz (Zea Mays L.) [Tesis de Doctor en Ciencias Agrícolas] Mayabeque: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. 91 p., xxi

# SÍNTESIS

---

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 en fincas de campesinos y conservadas ex situ. El objetivo del estudio fue evaluar el grado de variabilidad morfoagronómica y nutricional de la colección e identificar accesiones con calidad nutricional alta; utilizando para ello 17 caracteres morfoagronómicos y 13 caracteres relacionados con la calidad nutricional, con énfasis en el contenido de los aminoácidos esenciales lisina y triptófano, debido a su deficiencia en el maíz. Los resultados obtenidos permitieron detectar la existencia de variabilidad morfoagronómica y nutricional en la muestra. Se demostró que la colección de maíz evaluada, presentó variabilidad morfoagronómica y nutricional y que la producción local de maíz, en las zonas estudiadas, dependió principalmente de la semilla producida y conservada por los campesinos. Desde el punto de vista nutricional, el 74 % de las accesiones evaluadas, se caracterizaron por elevados contenidos de triptófano y altos índices de calidad, encontrándose cinco accesiones que superaron los indicadores de calidad nutricional establecidos para el contenido de triptófano, proteína e índice de calidad. Los contenidos de triptófano e índice de calidad, de las accesiones evaluadas, mostraron valores equivalentes a los producidos por el gen Opaco-2, aunque sin la manifestación de las características morfoagronómicas negativas asociadas a este gen.

# TABLA DE CONTENIDO

---

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. Conservación de los recursos fitogenéticos.....	5
2.1.1. Conservación ex situ: .....	6
2.1.2. Conservación in situ: .....	7
2.1.3. Manejo de la variabilidad por los agricultores.....	8
2.2. Origen, clasificación taxonómica e Importancia del cultivo del maíz en el mundo y en Cuba. ....	10
2.2.1. Origen del maíz. ....	10
2.2.2. Clasificación taxonómica del Maíz. ....	11
2.2.3. Importancia del cultivo del maíz en Cuba y en el mundo. ....	13
2.3. Variabilidad y diversificación del maíz .....	17
2.4. Composición química y valor nutritivo del maíz .....	18
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....	26
3.1. Prospección de semillas de maíz.....	26
3.1.1. Origen y nomenclatura de la semilla colectada.....	29
3.2. Caracterización morfoagronómica. ....	29
3.2.1. Evaluación cualitativa de la colección estudiada.....	32
3.2.2. Análisis de la variabilidad de la colección estudiada.....	33
3.3. Evaluación de la calidad nutricional del grano de 50 accesiones de maíz..	33
3.4. Estudio de las asociaciones entre caracteres.....	38
3.5. Selección de posibles progenitores .....	39
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40
4.1. Prospección de semillas de maíz.....	40
4.1.1. Origen y nomenclatura de las accesiones colectadas.....	45
4.2. Evaluación morfoagronómica. ....	50
4.2.1. Evaluación cualitativa de la colección estudiada .....	50
4.2.2. Análisis de la variabilidad de la colección estudiada. ....	55
4.3. Evaluación de la calidad nutricional del grano de 50 accesiones de maíz..	65
4.4. Estudio de las asociaciones entre caracteres.....	80
4.5. Selección de posibles progenitores .....	88
CAPITULO 5. CONCLUSIONES.....	90
CAPÍTULO 6. RECOMENDACIONES.....	91
CAPÍTULO 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	I

ANEXOS: .....	XVII
Anexo 1. Encuesta.....	XVII
Anexo 2. Datos climáticos de los tres años de siembra (2003, 2004 y 2005) de los experimentos de campo.....	XVIII
Anexo 3. Escalas de valores utilizadas y momentos de evaluación de Spodoptera frugiperda (Smith).....	XXI

---

# ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla I. Distribución de las 106 accesiones evaluadas en cuanto a región y localidad. ....	30
Tabla II. Características físico-química del suelo donde se realizaron las siembras (Hernández y col. 2006). ....	31
Tabla III. Caracteres evaluados, acrónimo, unidad de medida y momento de evaluación en las 106 accesiones estudiadas en condiciones “ex situ”. ....	32
Tabla IV. Código, nombre, donante y procedencia de las 50 accesiones evaluadas nutricionalmente. ....	34
Tabla V. Niveles utilizados para dividir las accesiones según la calidad nutricional. ....	38
Tabla VI. Clasificación de los coeficientes de correlación según Ortiz, 1982. ....	39
Tabla VII. Contenidos mínimos de proteína, triptófano e índice de calidad establecidos para accesiones de alta calidad proteica. ....	39
Tabla VIII. Nomenclatura de los campesinos, donante y lugar de colecta de las accesiones colectadas. ....	40
Tabla IX. Media y coeficiente de variación para los caracteres cuantitativos en la colección general y en las tres regiones. ....	55
Tabla X. Contribución de los caracteres evaluados a la variabilidad de la colección General en las dos primeras funciones canónicas. ....	58
Tabla XI. Contribución de los caracteres evaluados a la variabilidad de la colección general en cada función discriminante. ....	62
Tabla XII. Código, media, mínimo, máximo y contenido de minerales totales, grasa cruda, azúcares solubles, proteína, triptófano, lisina e Índice de Calidad del grano de las 50 accesiones evaluadas y los testigos utilizados. ....	66
Tabla XIII. Contenido de zinc, hierro, sodio, calcio, fósforo, magnesio y potasio determinados en las 50 accesiones. ....	73
Tabla XIV. Contribución de los caracteres evaluados a la variabilidad de las 50 accesiones evaluadas nutricionalmente en cada función discriminante. ....	77
Tabla XV. Correlaciones fenotípicas de los caracteres morfoagronómicos evaluados en la Colección general, atendiendo al coeficiente de correlación de Pearson. ....	81
Tabla XVI. Coeficientes de correlación clasificados como muy fuerte y fuerte. ....	84
Tabla XVII. Correlaciones Fenotípicas de los caracteres de calidad nutricional evaluados. ....	85
Tabla XVIII. Correlaciones fenotípicas de los caracteres morfoagronómicos y de calidad nutricional evaluados. ....	87
Tabla XIX. Accesiones que superaron los límites establecidos por Vivek y col. (2008) para ser utilizadas en programas de mejoras destinados a la calidad proteica del maíz. ....	88
Tabla XX. Accesiones que superaron dos de los límites establecidos por Vivek y col. (2008) para ser utilizadas en programas de mejoras destinados a la calidad proteica del maíz. ....	89

# ÍNDICE DE FIGURAS Y FOTOS

---

Figura 1. Ubicación geográfica del municipio donde se realizó la prospección en la provincia La Habana.....	26
Figura 2. Ubicación geográfica del municipio donde se realizó la prospección en Santiago de Cuba.....	27
Figura 3. Ubicación geográfica de los municipios donde se realizó la prospección en Villa Clara y Sancti Spíritus. ....	28
Figura 4. Distribución (%) de las fuentes de obtención de la semilla, utilizadas por los campesinos de las tres zonas de colecta. ....	45
Foto 1. Planta de maíz recuperada después del ataque de <i>Spodoptera frugiperda</i> (Smith).....	47
Foto 2. Muestra la variabilidad en cuanto a la forma color y tamaño de la tusa....	48
Figura 5. Distribución de la nomenclatura utilizada por los campesinos para las accesiones en las regiones de colecta. ....	49
Figura 6. Frecuencia de los caracteres: cobertura de la mazorca y forma de la corona de los granos, en la colección general estudiada. ....	50
Figura 7. Frecuencia de los colores del grano en la colección general y en los 3 grupos formados atendiendo a la procedencia de las accesiones. ....	52
Figura 8. Frecuencia de las formas de la mazorca en la colección general y en los 3 grupos formados atendiendo a la procedencia de las accesiones. ....	53
Figura 9. Frecuencia de la disposición de las hileras en la colección general y en los cinco grupos formados, atendiendo a la procedencia de las accesiones. ....	54
Figura 10. Distribución gráfica de las 106 accesiones en las dos funciones canónicas. ....	59
Figura 11. Distribución gráfica de las 106 accesiones en las dos funciones discriminantes. ....	63
Figura 12. Distribución gráfica de las 106 accesiones en las dos funciones discriminantes. ....	79
Figura 13. Comportamiento de las precipitaciones (mm) en los meses de junio, julio y agosto del 2003.....	XVIII
Figura 14. Temperatura media (°C) en los meses de junio, julio y agosto del 2003. ....	XVIII
Figura 15. Comportamiento de las precipitaciones (mm) en los meses de febrero, marzo y abril del 2004. ....	XIX
Figura 16. Temperatura media (°C) en los meses de febrero, marzo y abril del 2004. ....	XIX
Figura 17. Comportamiento de las precipitaciones (mm) en los meses de noviembre y diciembre del 2005 y enero del 2006. ....	XX
Figura 18. Temperatura media (°C) en los meses de noviembre y diciembre del 2005 y enero del 2006.....	XX

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

---

Entre las plantas cultivadas actualmente, el maíz, por su producción a nivel mundial, ha superado al trigo y al arroz; se cultivan aproximadamente 140 millones de hectáreas, siendo Estados Unidos, China y Brasil los principales productores (Seefoó y col. 2010).

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 (Socorro, 1989). En el 2009 en Cuba se cosecharon 203,981 miles de hectáreas ( $M. ha^{-1}$ ), con una producción de 304,800 miles de toneladas ( $M. t^{-1}$ ) (FAO, 2010).

Es la planta más estudiada por el hombre, la de mayor diversidad, no sólo genética, sino también de usos. Este cereal ha evolucionado por selección natural, por la realizada por los agricultores-mejoradores durante miles de años y por los mejoradores profesionales en los últimos 150 años (Muñoz, 2003). De acuerdo con lo planteado por Wilkes (1988), México es el centro primario de diversidad genética y la Zona Andina el secundario, donde el cultivo ha tenido una rápida evolución.

Desde el punto de vista biológico, los procesos que generan y mantienen la diversidad genética del maíz son dinámicos (mutación, selección, recombinación, etc.) y están ligados a las necesidades a largo plazo de las poblaciones humanas en crecimiento y a sus cada vez mayores expectativas de vida (Wilkes, 1979). La conservación de la diversidad debe estar basada en el mantenimiento de estos procesos, así como, en la preservación de la razas per se. Actualmente se observa una variación continua en la diversidad, sobre todo en sus caracteres cuantitativos; la mayoría de las poblaciones representan combinaciones de raza (Ramos y Hernández X., 1972). En gran medida, la diversidad del maíz, se puede atribuir también a la selección practicada por el hombre desde su domesticación, así como a los numerosos nichos ecológicos y los efectos ambientales que cada condición climática ejerce sobre las poblaciones para determinar la adaptación de estas (Carballoso y col. 2000).

El maíz es un alimento básico para millones de personas en Latinoamérica, África y parte de Asia (Gunaratna, 2007); como la mayoría de los cereales, tiene baja calidad y cantidad de proteína y es particularmente deficiente en lisina y triptófano (Sansano, 2008); dos aminoácidos esenciales en la dieta de humanos y animales monogástricos (FAO, 1993).

La mejora de la calidad proteica del maíz tiene sus orígenes en la evaluación de la variabilidad genética para el contenido de lisina y triptófano y en la biofortificación con dichos aminoácidos esenciales (Bressani y col. 1958 y 1963; Scrimshaw y col. 1958; Bressani, Arroyave y Scrimshaw, 1953 y Bressani y col. 1960).

A principio de los años 60's, fue detectada la mutación natural llamada opaco-2 (o2o2), la cual provocó un cambio en la composición de las proteínas del endospermo del maíz, duplicando el contenido de los aminoácidos esenciales lisina y triptófano, incrementando por consiguiente, la calidad proteica y manteniéndose inalterable el contenido de proteínas (Mertz, Bates y Nelson, 1964); sin embargo, la mutación o2o2 tuvo efectos pleiotrópicos indeseables como bajos rendimientos, endospermo suave y de apariencia opaca y un incremento en la susceptibilidad a enfermedades y plagas de almacén.

Seguidamente, se ejecutaron programas de mejoramiento genético convencionales utilizando la mutación o2o2, obteniéndose, después de diez años, variedades de alta calidad proteica (VACP) con endospermo cristalino, buen comportamiento agronómico y tolerancia a plagas y enfermedades (Krivanek y col. 2007). Hasta el momento, no han sido informadas diferencias significativas, entre las variedades estándares y las de alta calidad proteica respecto a otros nutrientes: carbohidratos, grasas, fibra, micronutrientes, etc.; estas estriban principalmente en el contenido de lisina y triptófano (Bressani, 1991 y FAO, 1993).

En Cuba, existen seis razas de maíz (Criollo, Tusón, Canilla, Argentino, Amarillo Reventador y Dulce) con una alta diversidad morfoagronómica, la cual ha sido ampliamente estudiada (Fernández, 2009); sin embargo, no se conoce sobre la diversidad y características nutricionales del cultivo, ni se han introducido variedades

mejoradas para este fin, por tanto, la evaluación de la calidad nutricional de una amplia diversidad de maíz, representa un importante impacto, debido a que brindará la información necesaria a investigadores, productores y otros actores, para seleccionar las accesiones a utilizar en la alimentación humana y animal y en los programas de mejoramiento destinados a la calidad nutricional del maíz en nuestro país. Dada esta situación se plantea la siguiente hipótesis:

La caracterización morfoagronómica y nutricional de una colección cubana de maíz, permitirá la selección de accesiones con alto valor nutricional y buen comportamiento agronómico, para su empleo como progenitores en programas de mejora para este carácter.

Para aceptar o refutar dicha hipótesis, el presente trabajo tuvo como objetivo general:

Caracterizar la variabilidad morfoagronómica y nutricional de una colección de maíz y establecer las relaciones existentes entre ambos tipos de caracteres evaluados.

Objetivos específicos:

Detectar la variabilidad morfoagronómica de una colección de maíz colectada en diferentes regiones del país.

Caracterizar la calidad nutricional presente en una muestra representativa de la colección de maíz estudiada.

Recomendar posibles progenitores para programas de mejora que contemplen la calidad nutricional del maíz.

### Novedad Científica

Se caracterizó la variabilidad nutricional de una colección de maíz en Cuba, encontrándose, por primera vez, accesiones de maíz con elevados contenidos de triptófano sin la presencia del gen Opaco-2 (o2o2).

Se establecieron las relaciones existentes entre la calidad nutricional y los caracteres morfoagronómicos evaluados; permitiendo realizar una selección de posibles progenitores para el mejoramiento de la calidad proteica del grano.

### Importancia práctica.

Se posibilita la implementación de programas de mejora para la calidad nutricional del grano de maíz, al haber identificado progenitores con alto contenido de triptófano.

Se establecen, para las condiciones de Cuba, las relaciones existentes entre la variabilidad morfoagronómica y nutricional del maíz, contribuyendo así, al conocimiento del cultivo para su manejo y preservación futura.

### Importancia teórica.

Por primera vez, se descubren y caracterizan, variedades de maíz con alta calidad nutricional sin la presencia del gen Opaco-2 (o2o2), constituyendo un aporte a la base teórica de la calidad nutricional del cultivo. Se establecen las relaciones existentes entre la calidad nutricional y los caracteres morfoagronómicos evaluados. Los resultados de este trabajo pueden ser utilizados en la docencia de pre y postgrado, en materias relacionadas con el tema.

## CAPÍTULO 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

---

### 2.1. Conservación de los recursos fitogenéticos.

Desde la aparición de la vida en la Tierra, el proceso evolutivo ha originado una enorme diversidad de especies e individuos, que mediante los procesos de selección permanente, se han adaptado a las diferentes condiciones ambientales. Esta variabilidad genética acumulada resulta esencial para el equilibrio del sistema natural y constituye lo que se denomina germoplasma del planeta (Bellon y col. 2009).

Dentro de este conjunto, los recursos fitogenéticos comprenden la diversidad genética correspondiente al mundo vegetal, que se considera poseedora de un valor para el presente o el futuro. Bajo esta definición se incluyen las categorías siguientes: variedades de especies cultivadas, tanto tradicionales como comerciales; especies silvestres o asilvestradas afines a las cultivadas o con un valor actual o potencial, y materiales obtenidos en trabajos de mejora genética (Bellon y col. 2009).

La mayoría de los recursos fitogenéticos de importancia para la alimentación y la agricultura, están situados fuera de los bancos de germoplasma ex situ y con frecuencia, no sólo se conservan, sino que también se utilizan como fuente de alimentos e ingresos.

En muchos países, los agricultores conservan en la práctica la diversidad genética manteniendo variedades locales tradicionales (variedades obtenidas localmente). Los agricultores seleccionan las semillas en función de diversas características, cultivan las plantas y recogen y conservan las semillas para sembrarlas de nuevo. Dichas prácticas no se limitan a la simple conservación, sino que mejoran y obtienen nuevos recursos fitogenéticos. La única posibilidad real que tienen a menudo los agricultores se limita a mejorar y conservar sus propias variedades locales. Son más de 1 000 millones de personas las que viven en familias de agricultores, y la responsabilidad de la ordenación y mejoramiento de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura recae ahora en la propia familia (Bellon y col. 2009).

Los métodos de conservación de los recursos fitogenéticos pueden clasificarse en dos grandes categorías: métodos de conservación ex situ y métodos de conservación in situ (Baena y col. 2003).

#### 2.1.1. Conservación ex situ:

La conservación ex situ, se refiere a la conservación de genes o genotipos de plantas fuera de su ambiente de ocurrencia natural, para su uso actual o futuro, y abarca un amplio espectro taxonómico. Sirve para proteger desde especies silvestres y formas regresivas, hasta especies cultivadas (Baena y col. 2003).

A escala global, se han desarrollado diferentes estrategias para conservar los recursos fitogenéticos en bancos formales de genes ex situ y así contrarrestar la erosión genética. Estos forman parte de una red internacional, que comprende también los bancos in vitro y los jardines botánicos (Demissie, 2000).

Se destaca entre estos centros, el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) con más de 25 000 accesiones de germoplasma, de 64 países, y se preservan 329 clases de cultivares tradicionales, identificadas por razas o por nombres locales (CIMMYT, 2004 y CIMMYT, 2006).

Cuando se conserva en condiciones ex situ, se restringe a la capacidad de lo que estos bancos pueden almacenar y que además, solo representa una porción de la diversidad genética existente, la que esta aun más limitada si se considera que depende del tamaño de la muestra cuando se colecta in situ, lo que varía según el agricultor (IPGRI, 1998 y Moreno, 2007). Otra desventaja de esta conservación, es que se detienen los procesos evolutivos tales como la hibridación y la selección (natural o artificial) que ocurren normalmente in situ.

La diversidad genética preservada en los bancos de germoplasma, sin embargo, constituye una fuente potencial de genes útiles para programas de mejoramiento genético (Goodman, 1985; Rincon y col. 1996 y 1997). A pesar de los diversos estudios realizados, todas las poblaciones de maíz de amplia base genética contenidas en los bancos de germoplasma, nunca han sido eficientemente utilizadas,

por la falta de caracterización y evaluación, documentación e intercambio de germoplasma; en ello ha incidido evidentemente la escasez de recursos para realizar estos trabajos (Salhuana, 1988; Wellhausen, 1988 y Goodman, 1990). Sin embargo, el germoplasma caribeño almacenado provee alelos favorables para el rendimiento y sus componentes, por lo que es de utilidad intercambiar esta diversidad genética en programas de mejoramiento (Geadelmann, 1984 y Hameed y col. 1994).

#### 2.1.2. Conservación in situ:

Idealmente, la forma más apropiada de conservar una entidad biológica es dentro del ecosistema del que naturalmente forma parte. En la conservación in situ no sólo se preservan cada uno de los componentes del ecosistema sino también todas sus relaciones recíprocas y se permite la continuación de los procesos evolutivos de las plantas (IPGRI, 2000).

La conservación in situ de variedades locales, denominada actualmente conservación “en finca”, implicaría en un sentido estricto, el cultivo de estos materiales en sus zonas de origen y con las técnicas tradicionales. En general, este tipo de conservación ha sido considerada problemática por su complejidad y costo, ya que, en principio, precisaría de constante supervisión y de incentivos a los agricultores para compensar los menores rendimientos de las variedades tradicionales. Sin embargo, en los últimos años, la conservación “en finca” está siendo objeto de atención creciente en el ámbito internacional, habiendo aumentado el número de proyectos e iniciativas para respaldar y fomentar la ordenación, conservación y mejora de los recursos fitogenéticos en explotaciones agrícolas (Sthapit y Jarvis, 2000).

Desde una perspectiva real, la conservación “en finca” de variedades locales es poco viable si no se realiza con un enfoque de utilización. En este sentido, el desarrollo de sistemas agrícolas sin grandes insumos, más respetuosos con el medio ambiente y más diversificados, revaloriza y preserva la diversidad genética contenida en los cultivares tradicionales, especialmente adaptados a este tipo de agricultura. Asimismo, las variedades locales pueden ofrecer características de calidad

organoléptica en cuanto a diversidad de sabores, aromas, aspecto, etc., que son valoradas cada vez más positivamente, al menos en un sector de población dentro del mundo desarrollado (Sthapit y Jarvis, 2000).

La conservación in situ y ex situ, en sus diversas modalidades, deben considerarse como métodos complementarios y no excluyentes para lograr el objetivo común de preservar los recursos fitogenéticos (Altieri y Merrick, 1987 y Rice y col. 2006).

Almekinders y Boef (2000) plantearon que existe una complementariedad y sostenibilidad de la conservación in situ y ex situ, y se basan en el hecho de que a través de muchos y repetidos procesos de selección y producción de semillas, los agricultores han desarrollado y dado forma a las variedades locales de cultivos. Por esa razón, la conservación en finca de los recursos genéticos vegetales y animales es sinónimo de conservación in situ. El mantenimiento de la diversidad genética en la finca o in situ, es una estrategia de conservación, complementaria a la conservación ex situ en bancos de genes y su importancia esta en el hecho de que el proceso de evolución puede continuar, mientras que la conservación ex situ representa una situación “congelada y estática” que detiene la evolución, pero que preserva el germoplasma contra los eventos extremos (Wood y Lenne, 1997 y Almekinders y Boef, 2000).

### 2.1.3. Manejo de la variabilidad por los agricultores.

Pocas han sido las investigaciones que han ayudado a entender mejor los procesos de evolución dentro de los ecosistemas agrícolas tradicionales en las comunidades rurales. Las poblaciones tradicionales de maíz, igual que las poblaciones naturales, son objeto de migraciones y deriva genética. Ambas, junto a la selección natural y la realizada por los agricultores, han ocasionado la extinción local y/o los procesos de recolonización de variedades (Pressoir y Berthaud, 2004). Sin embargo, para tener una visión mas completa de la dinámica de los sistemas agrícolas tradicionales, es imprescindible documentarse en las prácticas utilizadas por los agricultores y su impacto en el manejo de las variedades tradicionales.

Según Pressoir y Berthaud (2004), el manejo del cultivo a pequeña escala por parte de los agricultores, constituye la clave en la evolución del maíz y su diversidad. Las prácticas de cultivo, en el sentido más amplio, incluyen el manejo de numerosas poblaciones de maíz en una pequeña área por un solo agricultor, lo que ha propiciado la variabilidad existente en los sistemas de fincas tradicionales.

Una variedad o población tradicional de maíz, es definida por los agricultores en términos de las características de la mazorca; por tanto, seleccionan preferentemente por el tipo de la mazorca; que será luego mantenida a través de un proceso de selección conservacionista, sin tener en cuenta el considerable flujo de genes que se produce (Louette y col. 1997 y Louette y Smale, 2001).

Muchos agricultores cultivan el maíz en Cuba de la misma forma que lo hacían las generaciones pasadas. Las semillas son obtenidas de las mazorcas seleccionadas por ellos en el ciclo anterior de cosecha, y así sucesivamente. Es evidente que la riqueza que poseen los agricultores en sus fincas, donde a través de generaciones se han mantenido sus variedades tradicionales con prácticas de producción y conservación de las semillas muy propias, es de vital importancia para el futuro del cultivo (Castiñeiras y col. 1999). En ocasiones, obtienen la semilla de vecinos de la propia comunidad, lo cual coincide con la práctica de otros países (Smale y col. 1999, 2001 y Pressoir y Berthaud, 2004).

Una de las mayores incógnitas en la evolución del maíz, es como explicar la extraordinaria diversidad morfológica y genética que existe entre los maíces tradicionales (Matsuoka y col. 2002). Esto es de interés para los investigadores y genetistas del cultivo, porque deben entender la evolución del cultivo para poder desarrollar futuros programas de mejoramiento. La conservación dentro de los sistemas agrícolas, implica necesariamente un constante cambio en las poblaciones de los cultivos, como resultado de los procesos de evolución de los mismos. Es por ello, que la conservación in situ es generalmente conocida como un proceso dinámico, que se encuentra en las manos de los agricultores (Perales y col. 2003).

## 2.2. Origen, clasificación taxonómica e Importancia del cultivo del maíz en el mundo y en Cuba.

### 2.2.1. Origen del maíz.

Según las observaciones de Vavilov, el origen del maíz junto con aproximadamente 49 especies más, se localiza desde el centro sur de México, hasta la mitad del territorio de Centroamérica. Desde sus primeras exploraciones en México, para Vavilov fue evidente que *Euchlaena*, género en el que antiguamente se clasificó al teocintle, era el pariente silvestre más cercano del maíz (Muñoz, 2003).

El maíz se originó en una parte restringida de México y los tipos más desarrollados emigraron posteriormente hacia otros sitios de América. Hoy no hay dudas acerca del origen americano del maíz, pues nunca fue mencionado en ningún tratado antiguo, ni en la Biblia, hasta el descubrimiento de América por Cristóbal Colón, quien lo vio por primera vez en la isla de Cuba en octubre de 1492 (McClintock, Kato y Blumenshein, 1981).

De acuerdo con Wilkes y Goodman (1995) el maíz surgió aproximadamente entre los años 8000 y 600 antes del presente (A. P.) en Mesoamérica, probablemente a lo largo del acantilado occidental de México Central o del Sur, a 500 km de la Ciudad de México. El ecosistema que dio lugar al maíz era de inviernos secos estacionales, en alternancia con las lluvias de verano y en una región montañosa, de cuevas empinadas y sobre roca caliza. Las propiedades anteriores también describen el área mayor ocupada por el género *Tripsacum*. Considerando la gran diversidad genética que tiene el maíz, su origen filogenético fue discutido por más de 100 años, durante este largo período se dieron a conocer diversas hipótesis (Ascherson, 1880); (Langham, 1940); (Longley, 1941); (Miranda, 1966); (Harlan, 1970) y (McClintock, Kato y Blumenshein, 1981) de las cuales la más aceptada y con la que se identifica el presente trabajo es la siguiente:

El maíz cultivado proviene del teocintle o maíz silvestre: esta hipótesis fue rechazada con base en los 60 000 años de antigüedad atribuidos a los granos de polen fósil de maíz encontrados, a 70 m de profundidad en la Ciudad de México. En

el mismo sitio se encontraron granos de polen de teocintle, pero a una profundidad menor y también con una antigüedad más reducida (Barghoorn, Wolfey Clisby, 1954 y Mangelsdorf, 1960) y la diferente antigüedad de los granos de polen mencionados parecía indicar que el maíz domesticado había precedido al teocintle en la naturaleza. Sin embargo, se argumentó que el valle de México, ubicado a 2 200 metros sobre el nivel del mar (msnm), no correspondía al centro de diversificación primaria del teocintle, situado a 1 200 msnm. Esto indicaba que el teocintle posiblemente ya estaba creciendo en su lugar de origen mucho antes de los 60 000 años de antigüedad, asignados a los granos de polen fósil encontrados en el Valle de México (Miranda, 1966)

Esta hipótesis es la más aceptada porque ambas entidades taxonómicas tienen 10 cromosomas en sus células gaméticas; los cromosomas son muy semejantes en longitud, posición del centrómero y se asocian en forma normal en la profase meiótica; el cruzamiento entre el maíz y el teocintle ocurre con mucha frecuencia en forma natural, y los híbridos son fértiles en un porcentaje alto. Las diferencias que se observan en algunos órganos del teocintle, en relación con los del maíz cultivado, se deben a los efectos de la selección natural en la primera especie y a los de la selección artificial en la segunda (Miranda, 1966).

#### 2.2.2. Clasificación taxonómica del Maíz.

En cuanto a su posición sistemática, el maíz, según la nomenclatura ofrecida por Linneo en 1737 en su libro "Genera Plantarum" se designa como *Zea mays*, con la siguiente clasificación:

Orden: Poales

Familia: Poacea (según Cronquist en Graminae)

Tribu: Maydeae

Genero: *Zea* (Iltis y Doebley, 1980)

Especie: *Zea mays* L.

Antiguamente se consideraba que el género poseía una sola especie botánica, con dos parientes cercanos: *Tripsacum* y *Euphorbia* (Teocintle). Actualmente en el teocintle se incluyen dos especies: *Zea mexicana* (teocintle anual) y *Zea perennis* (teocintle perenne) (Bejarano, 2000).

#### Clasificación del maíz

La primera clasificación del maíz se basó en la textura o estructura del endospermo y consideró siete grupos: (Sturtevant, 1899)

**Maíz tunicado:** *Zea mays tunicata* St., considerado como uno de los tipos más primitivos de los maíces cultivados. Se caracteriza por presentar cada grano envuelto en su propia bráctea. No tiene valor comercial.

**Maíz reventón:** *Zea mays everta* St., caracterizado por presentar granos pequeños con endospermo cristalino, constituido preferentemente por almidón córneo. Es capaz de explotar cuando es sometido al calor formando las llamadas cotufas o palomitas.

**Maíz cristalino:** *Zea mays indurata* St., se caracteriza por presentar granos con endospermo vítreo duro, cristalino y translúcido, con almidón en su mayoría córneo.

**Maíz amiláceo:** *Zea mays amilácea* St., caracterizado por presentar granos con endospermo blando y amiláceo. En este grupo, el maíz “Blanco Gigante del Cuzco” o “Blanco Imperial”, legado del imperio incaico, causa admiración por el gran tamaño de su grano y alto rendimiento.

**Maíz dentado:** *Zea mays indentata* St., se caracteriza por presentar granos con endospermo formado con almidón córneo cristalino, tanto exteriormente como en su interior. Están coronados en la parte superior con almidón suave, que en la madurez origina una depresión central superior debido a una mayor hidratación, dándole al grano la forma característica de diente.

Maíz dulce: *Zea mays saccharata* St., los maíces de este grupo son dulces y se caracterizan por presentar un grano completamente arrugado cuando están maduros. Posee un gen recesivo (su) en el cromosoma 4, el cual impide la conversión de algunos azúcares solubles en almidón.

Maíz ceroso: *Zea mays ceratina* Kul., se caracteriza por presentar aspecto ceroso en el endospermo. En este tipo de maíz, el almidón está constituido por un 100% de amilopectina, lo que origina un almidón de característica gomosa parecido al de yuca.

Aunque esta es una clasificación consensuada, existen científicos que plantean que se deben incluir un mayor número de datos genéticos como características de las mazorcas, caracteres genéticos, citológicos, fisiológicos y agronómicos (Anderson y Cutler, 1942).

Partiendo del concepto establecido por Anderson y Cutler (1942); en Cuba, los primeros trabajos de clasificación racial del maíz se realizaron en 1949 por Hernández y Clement, quienes efectuaron 57 colectas en 90 localidades del país, informando 6 razas de maíz. Hatheway (1957) plantea la existencia en Cuba de siete razas de maíz, las cuales se diferencian y clasifican principalmente por los caracteres de la mazorca (longitud, diámetro, número de hileras, forma, número de granos, tipo de granos, etc.), las mismas son: Maíz Criollo, Tusón, Argentino, Canilla, Blanco Reventador, Amarillo Reventador y Blanco Dentado. Dichos autores indicaron que cinco de ellas estaban relacionadas con los tipos encontrados en México.

En Cuba en 1949 no existían barreras geográficas que impidieran el cruzamiento entre las variedades, por lo que las poblaciones eran constituidas probablemente por híbridos entre razas (Hatheway, 1957).

### 2.2.3. Importancia del cultivo del maíz en Cuba y en el mundo.

Aproximadamente 140 millones de hectáreas de maíz se cultivan en el mundo. Los principales productores son: Estados Unidos, China y Brasil, seguidos por Argentina, Sudáfrica y la Comunidad Europea. Cerca de 96 millones de hectáreas se cultivan en

países como China, Brasil, México e India, acumulando más del 50% del área total (Taba y col. 2004).

La importancia del maíz a nivel mundial, esta dada por los diversos usos que tienen las diferentes partes de la planta. Puede utilizarse para la alimentación humana y animal; en la industria para producir harinas, siropes, cereales, aceites y hasta para producir whisky (Dowswell y col. 1996). Su follaje además es un excelente forraje para el ganado.

Según Taba y col. (2004), el uso primario del maíz es para la alimentación animal (78%) y después para consumo humano (13%), donde su aplicación es diversa. La versatilidad que tienen sus derivados es tal, que pueden encontrarse en medicamentos como la aspirina y los antibióticos, en cosméticos, sopas y en un amplio rango de productos industriales.

Cada día se descubren nuevos productos elaborados a partir del maíz; se ha comenzado a utilizar papeles elaborados con maíz, en los países desarrollados se están elaborando plásticos biodegradables a partir de almidón de maíz, más ecológicos que los plásticos industriales derivados del petróleo. A partir de estos plásticos, se están desarrollando telas de secado rápido para deportistas, discos compactos, computadoras, teléfonos celulares, frazadas, alfombras y envases de alimentos, entre otros. Actualmente se utiliza el maíz también para la obtención del etanol. Se asegura que ya hay más de 4,000 usos diferentes para los productos que se extraen del maíz (Krivanek y col. 2007).

El almidón de maíz es el producto mas importante del procesamiento húmedo, y se utiliza en numerosas aplicaciones alimenticias e industriales (Watson, 1988). La extracción de almidón y aceite comprenden cerca del 70% de los productos; el 30% restante esta principalmente en forma de fibras, sobre todo celulosa y hemicelulosa, las cuales en su mayoría son convertidas en alimento para animales. Tanto la molienda húmeda, como la seca, se utilizan para la producción de etanol y gasohol; cerca de un tercio del gasohol es producido por el proceso de molienda en seco y el resto por el proceso en húmedo. En ambos procesos, algo más del 70% del producto

bajo la forma de almidón, se usa para la producción de etanol y cerca del 11% de celulosa, hemicelulosa, restos de almidón y azúcares van a suplementar alimentos animales. Las tusas del maíz y los restos de tallos secos no contienen almidón y no tienen mayor valor alimenticio, pero contienen celulosa y, por lo tanto, constituyen una fuente potencial para la producción de etanol (Elander y Russo, 1993).

Los productores de etanol a gran escala avalan que, con los precios actuales de los combustibles fósiles, la producción y el uso de etanol son viables, y que el maíz es el cultivo más adecuado. Los promotores del etanol, consideran que la clave está en el incremento del rendimiento. (NCGA, 2007).

El maíz en los trópicos es cultivado en una gran diversidad de ambientes, mucho mayor que en las zonas templadas. El ciclo del cultivo puede variar entre dos y tres meses, como en el caso de los maíces cultivados para el uso de las mazorcas verdes y de las variedades extra-precoces, a casi 14 meses, como en el caso de algunas variedades extra-tardías de las tierras altas. Los sistemas de cultivo del maíz incluyen una amplia variedad de métodos de manejo agrícola, desde sistemas de monocultivo altamente intensivos, mecanizados y con altos niveles de insumos hasta los sistemas de subsistencia en pequeñas parcelas con bajos niveles de insumos, cultivado en asociación u otras formas, con otros cultivos y usando solo trabajo manual. Por lo tanto, las variedades de maíz que se usan en los trópicos, varían desde variedades con un alto desarrollo tecnológico, como híbridos simples, hasta variedades de polinización abierta o variedades de los agricultores y variedades primitivas (Smith y Paliwal, 1996).

#### El maíz en Cuba

En Cuba, desde la época de los aborígenes hasta la actualidad, el maíz ha constituido un alimento básico en la alimentación humana, del ganado y de las aves (Socorro, 1989). Su cultivo en el país se justifica por la diversidad de usos a la que es destinado este cereal, más que por su rendimiento, ya que en Cuba las características climáticas se catalogan como no óptimas, aún teniendo en cuenta las dos épocas de siembra (González del Valle, 1941).

Constituye el segundo cereal de importancia y es de alta preferencia de consumo por la población. Se cultiva en toda la isla y sobre una superficie que está entre 77 000 y 100 000 hectáreas, destacándose las provincias de las regiones central y oriental con mayores superficies de siembra. Se siembra principalmente maíz de grano amarillo (cristalino o dentado), para la alimentación humana en forma de elotes y en grano seco para consumo animal. Existen 47 variedades comerciales, de las cuales sólo cuatro son tradicionales y el resto son cultivares avanzados procedentes de diferentes programas nacionales de mejoramiento; las variedades tradicionales se encuentran incluidas en los programas de producción (MINAG, 2004). Además, tanto en las colecciones nacionales ex situ como en dos áreas inventareadas in situ, existen 18 variedades tradicionales más, las que son utilizadas por los campesinos en sus fincas (Comisión Nacional de Recursos Genéticos, 2007).

En el 2006 en Cuba se cosecharon 122,160 miles de hectáreas ( $M. ha^{-1}$ ) de maíz, de ellas al sector estatal corresponden 8,919 y al no estatal 113,241  $M. ha^{-1}$ ; con una producción de 305,400 miles de toneladas ( $M. t^{-1}$ ) de maíz tierno, siendo en el sector estatal de 19,978  $M. t^{-1}$  y en el no estatal de 285,422  $M. t^{-1}$ . El rendimiento del maíz fue de 2,50 toneladas de maíz mazorca por hectárea siendo en el sector estatal de 2,24 toneladas por hectárea y en el sector no estatal de 2,52  $t/ha^{-1}$ . (Oficina Nacional de Estadísticas, 2008. Edición 2009).

Actualmente en Cuba las variedades criollas y foráneas se encuentran utilizadas principalmente por parte de los productores e incorporadas a programas de mejoramiento genético del cultivo (Comisión Nacional de Recursos Genéticos, 2007) utilizándose principalmente métodos de mejoramiento como son la obtención de variedades sintéticas, híbridos, variedades de polinización abierta, etc., aunque últimamente se está utilizando la inducción de mutaciones y la transgénesis. De esta forma, se han obtenido variedades sintéticas y mejoradas mediante selección masal, así como híbridos dobles y triples (Comisión Nacional de Recursos Genéticos, 2007).

### 2.3. Variabilidad y diversificación del maíz

Todos los tipos de maíz pertenecen a la misma especie, pero el tamaño, la textura, la forma y el color de la mazorca y los granos, varían ampliamente de una raza a otra. Esta amplia diversidad es el resultado de siglos de selección, mutación e hibridación (Dowswell y col. 1996). El desarrollo de las culturas de diferentes pueblos, sus migraciones, el descubrimiento del hemisferio oeste y el subsiguiente movimiento de los europeos, son también importantes factores en la creación de la diversidad del germoplasma de maíz. La polinización cruzada, acompañada de continuos intercambios

de genes entre poblaciones y el movimiento de las personas, han creado pools adicionales de genes (Fernández, 2009). Las selecciones subsiguientes, tanto la natural como la artificial, desarrollaron un germoplasma que es diferente en su genotipo y fenotipo del germoplasma paternal original.

La variabilidad genética presente dentro y entre poblaciones de maíz ha sido reconocida como una de las más abundantes del reino vegetal. Mucha de esta variabilidad se debe a caracteres de herencia simple que han sido identificados a través del tiempo y que controlan características fenotípicas fácilmente visibles tales como colores, formas y estructuras. Por ello, se realiza selección masal en aquellas plantas que son más resistentes a virosis, condiciones climáticas, plagas y que desarrollen un buen porte, para cruzarse con otras plantas de maíz que aporten unas características determinadas, de lo que se quiera conseguir como mejora de cultivo (Riccelli, 2000).

Bird (1980), establece la evolución del maíz, en un horizonte de 2 500 años, ligada a la historia cultural de Mesoamérica y Sudamérica, y propone la correlación de los estudios morfológicos y citogenéticos de las razas y complejos raciales del maíz con ciertos rasgos generales de las civilizaciones y grupos humanos en el continente. Sin olvidar la compleja interacción de los primeros tipos de maíz y teocintle en etapas tempranas de la diversificación de las razas, en las cuales podríamos suponer que la intervención humana fue menor, Bird identifica y define los complejos raciales de

maíz característicos de las diferentes regiones culturales del continente. Por sus rasgos culturales y ambientales particulares describe seis regiones principales.

#### 2.4. Composición química y valor nutritivo del maíz

Existe un número considerable de datos sobre la composición química del maíz y múltiples estudios han sido llevados a cabo, para tratar de comprender y evaluar, las repercusiones de la estructura genética del número relativamente elevado de variedades de maíz existentes, en su composición química, así como la influencia de los factores ambientales y las prácticas agronómicas en los elementos constitutivos químicos y en el valor nutritivo del grano y sus partes anatómicas (FAO, 1993).

##### Composición química de las partes del grano

Las partes principales del grano de maíz difieren considerablemente en su composición química. La cubierta seminal o pericarpio se caracteriza por un elevado contenido de fibra cruda, aproximadamente el 87 por ciento, la que a su vez está formada fundamentalmente por hemicelulosa (67 por ciento), celulosa (23 por ciento) y lignina (0,1 por ciento) (Burge y Duensing, 1989). El endospermo, en cambio, contiene un nivel elevado de almidón (87 por ciento), aproximadamente 8 por ciento de proteínas y un contenido de grasas crudas relativamente bajo.

Por último, el germen se caracteriza por un elevado contenido de grasas crudas, el 33 por ciento por término medio, y contiene también un nivel relativamente elevado de proteínas (próximo al 20 por ciento) y minerales. Se dispone de algunos datos sobre la composición química de la capa de aleurona, elemento con un contenido relativamente elevado de proteínas (aproximadamente el 19 por ciento) y de fibra cruda. El endospermo aporta la mayor parte del nitrógeno, seguido por el germen y, en último lugar, por la cubierta seminal, que presenta sólo cantidades reducidas, mientras que en el teosinte cerca del 92 por ciento de las proteínas proceden del endospermo.

El contenido de hidratos de carbono y proteínas de los granos de maíz depende en medida considerable del endospermo; el de grasas crudas y, en menor medida, proteínas y minerales, del germen. La fibra cruda del grano se encuentra fundamentalmente en la cubierta seminal. La distribución ponderal de las partes del grano, su composición química concreta y su valor nutritivo tienen gran importancia cuando se procesa el maíz para consumo; a este respecto, hay dos cuestiones de importancia desde la perspectiva nutricional: el contenido de ácidos grasos y el de proteínas (FAO, 1993).

El aceite de germen suministra niveles relativamente elevados de ácidos grasos (Wéber, 1987); cuando se dan ingestas elevadas de maíz, como sucede en determinadas poblaciones, quienes consumen el grano sin elaborar, obtendrán menos ácidos grasos que quienes comen el maíz entero elaborado. Esta diferencia tiene probablemente igual importancia en lo que se refiere a las proteínas, dado que el contenido de aminoácidos de las proteínas del germen difiere radicalmente del de las proteínas del endospermo. Por otro lado, el endospermo representa del 70 al 86 por ciento del peso del grano, y el germen del 7 al 22 por ciento. Así pues, si se analiza todo el grano, el contenido de aminoácidos esenciales refleja el contenido de aminoácidos de las proteínas del endospermo, pese a que la configuración de éstos en el caso del germen es más elevada y mejor equilibrada. No obstante, las proteínas del germen proporcionan una cantidad relativamente alta de determinados aminoácidos, aunque no suficiente para elevar la calidad de las proteínas de todo el grano. El germen aporta pequeñas cantidades de lisina y triptófano, los dos aminoácidos esenciales limitantes en las proteínas del maíz. Las proteínas del endospermo tienen un bajo contenido de lisina y triptófano, al igual que las proteínas de todo el grano. La deficiencia de lisina, triptófano e isoleucina ha sido perfectamente demostrada mediante numerosos estudios con animales (Howe, Jason y Gilfillan, 1965) y un número reducido de estudios con seres humanos (Bressani, 1992).

La calidad de las proteínas del germen es muy elevada en comparación con la de las del endospermo y patentemente superior a la calidad proteínica del grano entero. La calidad de las proteínas del endospermo es inferior a la del grano entero, a causa de la mayor aportación de proteínas del germen. Estos datos son también importantes para las modalidades de elaboración del maíz para el consumo y por sus consecuencias para el estado nutricional de los consumidores.

#### Composición química general

La información de que se dispone sobre la composición química general del maíz es abundante y permite conocer que la variabilidad de cada uno de sus principales nutrientes es muy amplia. La variabilidad es tanto genética como ambiental y puede influir en la distribución ponderal y en la composición química específica del endospermo, el germen y la cáscara de los granos.

#### Almidón

El componente químico principal del grano de maíz es el almidón, al que corresponde hasta el 72-73 por ciento del peso del grano. Otros hidratos de carbono son azúcares sencillos en forma de glucosa, sacarosa y fructosa, en cantidades que varían del 1 al 3 por ciento del grano. El almidón está formado por dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina. La amilosa es una molécula esencialmente lineal de unidades de glucosa, que constituye hasta el 25-30 por ciento del almidón. El polímero amilopectina también consiste de unidades de glucosa, pero en forma ramificada y constituye hasta el 70-75 por ciento del almidón. La composición del almidón viene determinada genéticamente. En el maíz común, ya sea con un endospermo de tipo dentado o córneo, el contenido de amilosa y amilopectina del almidón es tal como se ha descrito anteriormente, pero el gen que produce maíz ceroso contiene un almidón formado totalmente por amilopectina. Un mutante del endospermo, denominado diluyente de la amilosa (da), hace aumentar la proporción de amilosa del almidón hasta el 50 por ciento y más. Otros genes, solos o combinados, pueden modificar la composición del almidón al alterar la proporción entre la amilosa y la amilopectina (Boyer y Shannon, 1987).

## Proteínas

Después del almidón, las proteínas constituyen el siguiente componente químico del grano por orden de importancia. En las variedades comunes, el contenido de proteínas puede oscilar entre el 8 y el 11 por ciento del peso del grano, y en su mayor parte se encuentran en el endospermo. Las proteínas de los granos del maíz han sido estudiadas ampliamente, y según Landry y Moureaux (1970; 1982), están formadas por lo menos por cinco fracciones distintas.

El Maíz aporta numerosos elementos nutritivos (proteínas, aceites, ácidos grasos, carbohidratos, vitaminas, minerales, etc.) y materiales energéticos. El 57% de sus sales minerales son ácidas, por lo que tiene una acción ligeramente acidulante. Por su contenido en celulosa, favorece el peristaltismo intestinal y modera la acción tiroidea. (Krivanek y col. 2007).

Como resultado de su contenido alto en grasas e hidratos de carbono, no es recomendable para las personas diabéticas ni obesas. Posee un valor nutritivo similar al de los otros cereales, aunque se diferencia de éstos en su elevado contenido en carotenos - ningún otro cereal los contiene- o provitaminas A, que se transforman en vitamina A en el organismo y se caracterizan por su alto poder antiinfeccioso y su condición beneficiosa para la vista (Gunaratna, 2007).

Los estudios realizados para evaluar el valor proteico del grano de maíz, han demostrado su baja calidad en comparación con proteínas de origen animal, sin embargo, esta relación es superior o similar a la de otros cereales (Bressani, 1972 y Sikka y Johari, 1979). La calidad nutricional de la proteína está definida por el contenido, disponibilidad y balance de aminoácidos. Las proteínas con contenido de aminoácidos cercano al punto óptimo de satisfacción de las necesidades animales son consideradas de alta calidad y aquellas que no se acercan a ese punto son catalogadas como proteínas de baja calidad (Jansen, 1978).

Los principales componentes del grano de maíz son proteínas, almidón, lípidos; y en menor proporción, fibras, azúcares, minerales y vitaminas (Sansano, 2008). Las proteínas constituyen aproximadamente el 10 % del grano entero y están formadas

por albúminas (3,2 %), globulinas (1,5%), zeínas (47,2 %) y glutaminas (35,1 %) (Morales, 2002). La mayor cantidad de proteína se encuentra en el endospermo (75 a 85 %) (Huang y col. 2004).

El valor nutritivo bajo del maíz se debe a que el contenido proteínico del grano está representado principalmente por zeínas y glutelinas insolubles en alcohol, las cuales constituyen más del 50% de la proteína total siendo estos tipos de proteínas deficientes en los aminoácidos esenciales lisina y triptófano, que no se localizan abundantemente en las proteínas de origen vegetal; siendo más crítico en el caso de los cereales debido al elevado consumo diario de estos (Ortiz y Guerra, 1983 y Azevedo, Lancien y Lea, 2006).

La calidad del grano del maíz se puede medir por diversos métodos o procedimientos; desde observaciones visuales simples hasta ensayos de laboratorio más complicados (Zhao y col. 2004).

En 1963 se descubrió el mutante de maíz opaco-2 (o2o2) que produce un efecto en la composición de la proteína del maíz, aumentando el contenido de lisina y triptófano del endospermo (Paes y Bicudo, 1994). Las variedades que presentan este gen se caracterizan por presentar: textura blanda del endospermo y apariencia opaca del grano; mayor susceptibilidad a los hongos de la pudrición de la mazorca y a las plagas; mayor humedad del grano en el momento de la cosecha; pericarpio más grueso, baja germinación de la semilla y rendimientos más bajos (Morales, 2002 y Montaner, 2003).

Tras varios ciclos de selección, se desarrolló un híbrido de alta calidad proteica, con alto valor nutritivo, altos rendimientos y endospermo de textura dura. Como resultado se han obtenido varios híbridos de alta calidad proteica probados en diferentes países en desarrollo con buenos resultados. Se investigan otras dos áreas de progreso en la calidad de la proteína del maíz con el uso de marcadores moleculares en la selección del gen opaco-2 y la técnica ELISA de análisis de la calidad del endospermo (Paes y Bicudo, 1994).

El maíz de alta calidad proteica, además de ser un excelente producto para el consumo humano, en el ámbito forrajero aumenta los nutrientes en alimentos balanceados, dando como resultado, rendimientos altos e importantes ahorros en la producción de carne, huevo y leche (Vasal, 2000). Al comparar el maíz de alta calidad proteica con el estándar, no se observan diferencias en cuanto a: sabor, rendimiento por hectárea y resistencia a plagas y enfermedades (Poehlman y Allen, 2003).

La proteína del maíz normal contiene alrededor de 0,16 % de lisina y 0,047 % de triptófano, mientras que los maíces de calidad proteica, contienen como promedio 0,31 % de lisina y 0,10 % de triptófano. Estos maíces han presentado rendimientos iguales o superiores a sus homólogos comerciales (De Groote y col. 2006).

En el maíz, hay principalmente cuatro clases de proteínas: globulina, albúmina, prolamina (zeína) y luteína. La zeína es una proteína de baja calidad y constituye más de la mitad del contenido de proteínas del maíz estándar. La presencia del gen opaco-2 aumenta el contenido de la fracción “no zeína” en el grano, la cual es rica en lisina y triptófano (Mendoza y col. 2006).

El consumo del maíz de alta calidad proteica, comparado con variedades convencionales, aumenta en un 8% la velocidad de crecimiento en la altura y en un 9% (IC del 95%: 4-12%) la velocidad de crecimiento en el peso de los niños con problemas de desnutrición leve o moderada, en los que el maíz ocupa un lugar significativo en su dieta alimenticia (Gunaratna, 2007).

#### Aplicaciones del maíz

Como ya se ha señalado anteriormente, el maíz tiene tres aplicaciones posibles: alimento, forraje y materia prima para la industria. Como alimento, se puede utilizar todo el grano, maduro o no, o bien se puede elaborar con técnicas de molienda en seco para obtener un número relativamente amplio de productos intermedios, como por ejemplo sémola de partículas de diferentes tamaños, sémola en escamas, harina y harina fina, que a su vez tienen un gran número de aplicaciones en una amplia

variedad de alimentos; se debe notar que el maíz cultivado en la agricultura de subsistencia continúa siendo utilizado como cultivo alimentario básico (FAO, 1993).

En lo que respecta a su aplicación como forraje, en los países desarrollados más del 60 por ciento de la producción se emplea para elaborar piensos compuestos para aves de corral, cerdos y rumiantes; en los últimos años, aun en los países en desarrollo en los que el maíz es un alimento fundamental, se utiliza un porcentaje más elevado de la producción como ingrediente para la fabricación de piensos. Desde hace relativamente poco, el maíz «de elevada humedad» ha despertado gran interés como alimento para animales, debido a su menor costo y a su capacidad de mejorar la eficiencia de la transformación de los alimentos. Los subproductos de la molienda en seco son el germen y la cubierta seminal el primero se utiliza para obtener aceite comestible de elevada calidad mientras que la cubierta seminal, o pericarpio, se emplea fundamentalmente como alimento, aunque en los últimos años ha despertado interés como fuente de fibra dietética (Seefoó y col. 2010).

La molienda húmeda es un procedimiento que se utiliza fundamentalmente en la aplicación industrial del maíz, aunque el procedimiento de cocción en solución alcalina empleado para elaborar las tortillas (el pan fino y plano de México y otros países de América Central) también es una operación de molienda húmeda que sólo elimina el pericarpio (Bressani, 1992). La molienda húmeda produce almidón de maíz y subproductos entre los que figura el gluten que se utiliza como ingrediente alimenticio, mientras que el germen de maíz elaborado para producir aceite da como subproducto harina de germen que se utiliza como pienso; ha habido algunos intentos de emplear dichos subproductos para el consumo humano en distintas mezclas y formulaciones alimenticias.

El aumento de los precios del petróleo ha impulsado la intensificación de las investigaciones sobre la fermentación del maíz para producir alcohol combustible, el cual tiene un uso muy difundido en algunas partes de los Estados Unidos. Con maíz fermentado se elaboran también algunas bebidas alcohólicas.

Por último, también tienen importancia las aplicaciones de los residuos de la planta de maíz, que se utilizan, entre otras cosas, como alimento para animales y como base para extraer diversos productos químicos de las panojas, como por ejemplo, furfural y xilosa. Estos residuos también tienen importancia como elementos para mejorar los suelos (FAO, 1993).

## CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

### 3.1. Prospección de semillas de maíz.

Se realizaron tres prospecciones de maíz, recolectando de 0,5 - 1,0 kg. de semilla por cada accesión. El objetivo principal de estas prospecciones 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 (figura 1). Se seleccionó esta zona debido al flujo de semilla que en la misma ocurre (Martínez, 2004), donde cada año entran y salen del sistema local de semillas un gran número de variedades de maíz.

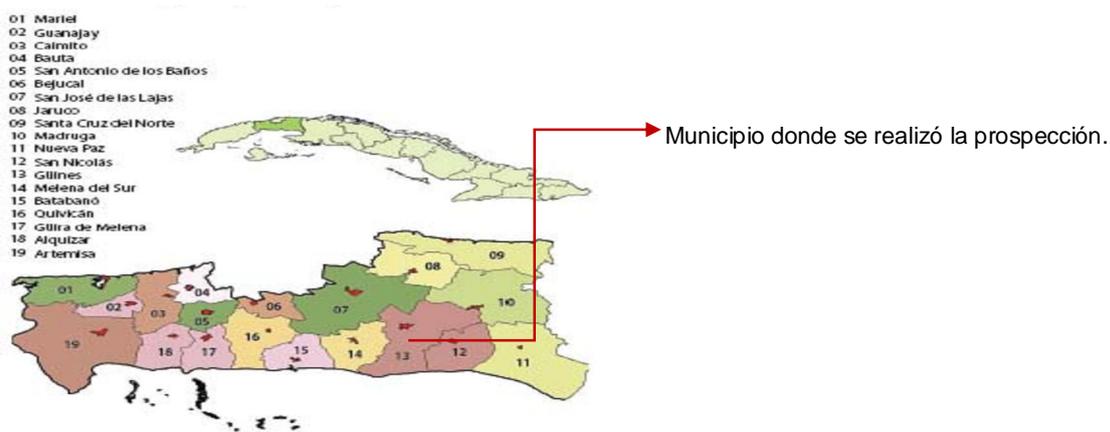


Figura 1. Ubicación geográfica del municipio donde se realizó la prospección en la provincia La Habana.

La provincia está situada en la parte occidental de Cuba, limita al norte con la provincia de Ciudad de la Habana y el Estrecho de la Florida, al sur con el Golfo de Batabanó y la Ensenada de la Broa, por el este con la provincia de Matanzas y al oeste con la provincia de Pinar del Río. La Habana se encuentra ubicada entre los  $22^{\circ}58'$ ,  $23^{\circ}10'$  de latitud norte y los  $82^{\circ}30'$ ,  $82^{\circ}06'$  de longitud oeste. La producción de maíz en el año 2008 en la provincia fue de 34,1 Miles de toneladas ( $M. t^{-1}$ ); logrando

el sector no estatal una producción de 26,8 M. t<sup>-1</sup> y el estatal 7,3 M. t<sup>-1</sup>. (Oficina Nacional de Estadísticas, 2008. Edición 2009).

La zona de Catalina de Güines donde se realizó la colecta, presenta relieve ligeramente ondulado y sistemas agrícolas basados en la utilización de tracción animal y enmiendas orgánicas. Son campesinos con extensiones de suelos entre 0,4 y 1,7 ha. En esta zona, el 23,3 % de las fincas visitadas emplean riego por gravedad.

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 (Figura 2); 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.



Figura 2. Ubicación geográfica del municipio donde se realizó la prospección en Santiago de Cuba.

La provincia esta ubicada en el extremo oriental de Cuba; Limita al norte con las provincias de Holguín y Granma, al sur con el Mar Caribe y al este y oeste con las provincias de Guantánamo y Granma, respectivamente (Figura 2). Santiago de Cuba se encuentra ubicada entre los 19°53', 20°12' de latitud norte y los 75°22', 77°02' de longitud oeste. La producción de maíz en el año 2008 en la provincia fue de 31,22 M. t<sup>-1</sup>. (Oficina Nacional de Estadísticas, 2008. Edición 2009).

La localidad de las Ventas de Casanova se caracteriza por presentar un relieve ondulado, suelos pardos y un sistema de producción de maíz basado en la utilización de tracción animal y uso limitado de productos químicos y de enmiendas orgánicas. Además, en esta zona existe un arraigo de los campesinos en la producción de maíz; el 7,1 % de las fincas visitadas emplean el riego por gravedad y los campesinos poseen extensiones de suelos que oscilan entre las 0,5 y 2,0 ha.

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 Spíritus (Municipios: Yaguajay y Taguasco) (Figura 3). Fue seleccionada esta zona del país por las referencias que se tenían de la tradición en la siembra de maíz.

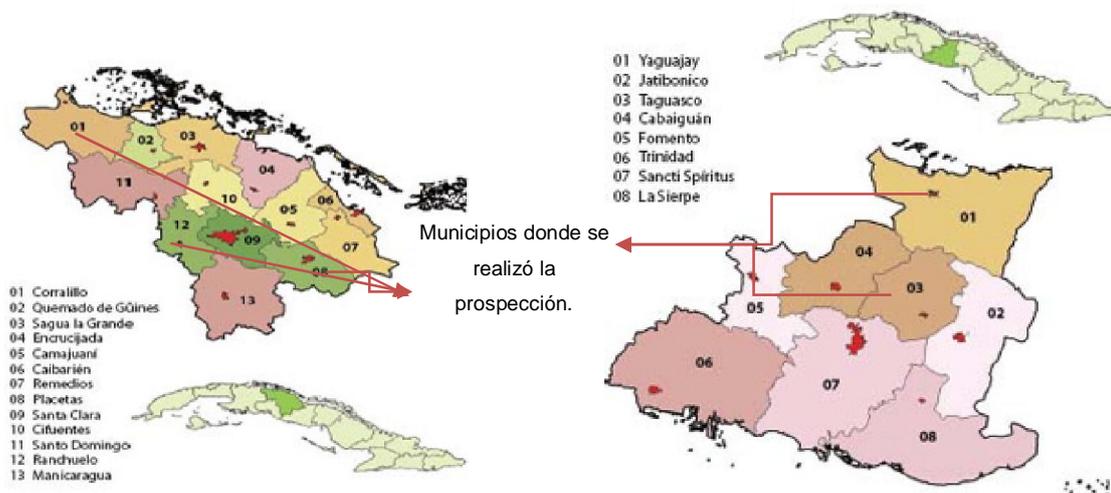


Figura 3. Ubicación geográfica de los municipios donde se realizó la prospección en Villa Clara y Sancti Spíritus.

La provincia Villa Clara está situada en el centro de la isla, entre los  $22^{\circ}16'$ ,  $23^{\circ}09'$  de latitud norte y los  $80^{\circ}02'$ ,  $80^{\circ}25'$  de longitud oeste; limitando al norte con el Océano Atlántico, al sur con las provincias de Cienfuegos y Sancti Spíritus, con las que también limita por el este, sudeste y sudoeste y hacia el oeste con Matanzas (figura 3). La producción de maíz en el año 2008 en la provincia fue de 16,9 M. t-1. (Oficina Nacional de Estadísticas, 2008. Edición 2009).

La provincia Sancti Spíritus está situada en el centro de la isla, entre  $21^{\circ}32'$ ,  $22^{\circ}27'$  de latitud norte y los  $78^{\circ}56'$ ,  $80^{\circ}07'$  de longitud oeste; limitando al norte con el Canal Viejo de Bahamas, al este con la Provincia de Ciego de Ávila, al sur con el Mar Caribe y al oeste con las provincias de Cienfuegos y Villa Clara. La producción de maíz en el año 2008 en la provincia fue de 23,1 M. t<sup>1</sup>. (Oficina Nacional de Estadísticas, 2008. Edición 2009).

Las localidades donde se realizaron prospecciones en las provincias Villa Clara y Sancti Spíritus, se caracterizan por un relieve de llano a ligeramente ondulado, predominan los suelos pardos y sistemas de producción basados en la utilización de la tracción animal y uso limitado de productos químicos en la producción del maíz. El 5,2 % de las fincas visitadas tienen riego por gravedad y los campesinos tienen extensiones de tierras que van desde 0,5 a 3,0 ha.

Se informan los datos de pasaporte de las accesiones colectadas en las diferentes localidades estudiadas, brindando el nombre de la accesión, tipo de donante y la procedencia.

### 3.1.1. Origen y nomenclatura de la semilla colectada.

Se definió a través de una encuesta (anexo 1), entrevistas informales, observaciones y fotografías la fuente de obtención de la semilla y se determinó, por localidad, el porcentaje de distribución del origen; además, se obtuvo la nomenclatura local de las accesiones colectadas.

### 3.2. 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 Spíritus 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.

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.

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. Los datos climáticos de los periodos de siembras de los tres años se muestran en el anexo 2.

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 m x 0,70 m, con una población de 115 plantas por parcela sobre en un suelo Ferralítico rojo lixiviado (Hernández y col. 2006); las características del suelo se muestran en la tabla II.

Las atenciones culturales se realizaron según el Instructivo Técnico del cultivo (MINAGRI, 1992), excepto que no se efectuaron aplicaciones de fertilizantes químicos. Se utilizó, en cada siembra, un diseño completamente aleatorizado con tres réplicas.

Tabla II. Características físico-química del suelo donde se realizaron las siembras (Hernández y col. 2006).

Horizonte	Profundidad (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	M.O. (%)	Cationes cambiabiles (c mol. kg <sup>-1</sup> )				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.

A las 106 accesiones, se les realizaron evaluaciones de 17 caracteres morfoagronómicos (Tabla III) en cada ciclo de siembra, tomando una muestra de 10 plantas por accesión, según el Manual Gráfico para la Descripción Varietal del Maíz (*Zea mays* L.) (Carballo y Benítez, 2003).

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.

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

\* Las escalas de valores y los momentos de evaluación de ISF se muestran en el anexo 3.

### 3.2.1. Evaluación cualitativa de la colección estudiada

La evaluación cualitativa de la colección estudiada, se basó en los siguientes caracteres: cobertura de la mazorca, color del grano, forma de la mazorca, disposición de las hileras y forma de la corona de los granos. Se realizó un análisis de frecuencia a través del paquete estadístico SPSS, Versión 11,5, (2002); Para los caracteres cobertura de la mazorca y forma de la corona de los granos, debido a su homogeneidad, el análisis se realizó en la colección general, graficando los niveles de cobertura de la mazorca y las diferentes forma de los granos; mientras que en los caracteres color de los grano, forma de la mazorca y disposición de las hileras, el análisis se ejecutó por región, graficando los distintos grados de cada carácter.

### 3.2.2. 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.

Se realizó un análisis de componentes principales, a los caracteres cuantitativos (DT, AMS, LP, NMP, NGH, NH, LM, DMM, NGM, ISF, M100S y R/P) de la colección general, utilizándose el factor accesión y se construyó un gráfico de dispersión, donde se ubicaron las 106 accesiones estudiadas, en base a las dos primeras funciones canónicas.

Se realizó un análisis discriminante, utilizando como variable discriminante la región de procedencia, basado en los caracteres cuantitativos de la colección general, con el objetivo de definir si existen diferencias entre los grupos de accesiones, pertenecientes a diferentes regiones de procedencia. Posteriormente se elaboró un gráfico de dispersión, donde se ubicaron las 106 accesiones estudiadas, en base a las dos primeras funciones discriminantes.

Todos los análisis estadísticos fueron ejecutados utilizando el paquete estadístico SPSS, Versión 11,5, (2002).

### 3.3. Evaluación de la calidad nutricional del grano de 50 accesiones de maíz.

Para la caracterización de la calidad nutricional del grano, en abril del 2007, se sembró la colección general de maíz en el área central del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, sobre un suelo Ferralítico rojo lixiviado (Hernández y col. 2006). La siembra se realizó en parcelas de 5,0 m de largo a razón de seis surcos por parcela, a una distancia de 0,30 m x 0,70 m, con una población de 115 plantas por parcela. Las atenciones culturales se realizaron según el Instructivo Técnico del

cultivo (MINAGRI, 1992), excepto que no se efectuaron aplicaciones de fertilizantes químicos.

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  $\pm 22$  °C, y la humedad relativa de  $\pm 75$  %.

A partir de las 106 accesiones cosechadas, se tomó un muestra representativa integrada por 50 accesiones (tabla IV), utilizando el método estratificado con representación de las tres regiones (Occidental, Central y Oriental) y dentro de ellas 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, 2 de la Empresa de semillas de Santiago de Cuba y 1 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.

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

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	Camajuaní	Central
35	200	maíz morado	Campesino	Camajuaní	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

De las 50 accesiones seleccionadas, se tomó una muestra de 200 gramos de semilla, cosechada en agosto del 2007 en el INCA, las cuales estaban libres de patógenos y sin daños físicos. Para evaluar la calidad nutricional de la muestra se determinaron los caracteres: Contenido de nitrógeno total (N), grasa cruda (GC), azúcares solubles (AS), minerales totales (MT), lisina (Lis), triptófano (Trp), contenido de zinc (Zn), hierro (Fe), sodio (Na), calcio (Ca), fósforo (P), magnesio (Mg) y potasio (K).

La evaluación de los caracteres contenido de nitrógeno total, grasa cruda, azúcares solubles, minerales totales, lisina y triptófano; se realizó en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), Texcoco, México. Las muestras fueron analizadas utilizando los protocolos para el desarrollo de cultivares de alta calidad proteica (Vivek y col. 2008). En estos análisis se utilizaron como testigos la variedad estándar<sup>1</sup> TL00A 1440-36 y la variedad de alta calidad proteica NUTRICTA, por presentar, ambas, contenidos de triptófano conocidos (0,065 y 0,096 respectivamente). Estas muestras fueron tomadas del banco de germoplasma del CIMMYT.

De cada accesión evaluada, fueron examinados 100 granos a través de una mesa de luz, con el objetivo de identificar si estos portan el gen Opaco-2 en su estado homocigótico recesivo (o2o2), empleando el grado de opacidad como medida indirecta o característica secundaria de ese genotipo (Vivek y col. 2008). Todas las accesiones presentaron granos traslúcidos.

Las muestras 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 (Vivek y col. 2008).

---

<sup>1</sup> Variedad estándar: Variedad que no es de alta calidad nutricional. Presenta valores estándares (bajos) de los aminoácidos esenciales lisina y triptófano.

Los métodos utilizados fueron los siguientes: para minerales totales: (AACC, 1995), grasa cruda: (AOAC, 1975), nitrógeno total: método Microkjeldahl, (AOAC, 1980), azúcares solubles: método de la antrona según AACC, (1995), contenido de lisina: método colorimétrico de Tsai, Dalby y Jones (1975), modificado por Villegas, Ortega y Bauer (1984). El contenido de triptófano se determinó por el método colorimétrico de Opienska-Blauth (1963), modificado por Hernández y Bates (1969) y Vivek y col. (2008). El cálculo del contenido de proteínas totales se realizó utilizando la siguiente fórmula (Nkonge y Balance, 1982):

$$\% \text{ Proteína} = \% \text{ Nitrógeno} \times 6,25 \text{ (factor de conversión para maíz)}$$

A partir de los datos obtenidos de las determinaciones anteriores se calculó el índice de calidad (IC), que es la relación triptófano - proteína expresado en porcentaje. Se calculó de la siguiente manera (Vivek y col. 2008):

$$\text{Índice de Calidad (IC)} = (100 * \% \text{ triptófano}) / \% \text{ Proteína}$$

Las determinaciones de: zinc, hierro, sodio, calcio, fósforo, magnesio y potasio 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 (MAPA, 1994) de España.

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 (MAPA, 1994).

#### Análisis estadísticos

Se realizó un análisis discriminante, utilizando como variable discriminante la calidad nutricional dividida en tres niveles (tabla V), sobre la base de los caracteres cuantitativos: masa de 100 semillas, incidencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith), longitud de la planta, diámetro medio de la mazorca, número de granos por hileras, rendimiento por planta, longitud de la mazorca y diámetro del tallo, además de los

caracteres de calidad: contenido de triptófano, azúcares solubles, proteína, lisina, índice de calidad, magnesio, fósforo, potasio, calcio, sodio, hierro y zinc.

Tabla V. Niveles utilizados para dividir las accesiones según la calidad nutricional.

Nivel	Características
1	8,0 de Proteína, > 0,075 de triptófano y > 0,8 de Índice de calidad
2	> 0,075 de triptófano
3	< 0,075 de triptófano

Posteriormente se elaboró un gráfico de dispersión, donde se ubicaron las 50 accesiones estudiadas, en base a las dos primeras funciones discriminantes.

### 3.4. Estudio de las asociaciones entre caracteres

ü Asociaciones entre los caracteres morfoagronómicos evaluados.

Para determinar las asociaciones entre caracteres, en la colección general, se realizó un análisis de las correlaciones bilaterales de Pearson (r) entre los caracteres cuantitativos evaluados (DT, AMS, LP, NMP, NGH, NH, LM NGM y M100S).

ü Asociaciones entre los caracteres de calidad nutricional.

Para conocer las posibles asociaciones entre los diferentes caracteres de calidad se realizaron las correlaciones bilaterales de Pearson (r).

ü Asociaciones entre caracteres morfoagronómicos y de calidad nutricional evaluados.

Se determinaron las correlaciones bilaterales de Pearson (r) entre los caracteres morfoagronómicos y de calidad nutricional, evaluados. Estos análisis se realizaron utilizando el paquete estadístico SPSS, Versión 11,5, (2002).

Se utilizaron, para la interpretación biológica de los resultados, los rangos del coeficiente de correlación ( $r$ ) propuestos por Ortiz (1982). (Tabla VI).

Tabla VI. Clasificación de los coeficientes de correlación según Ortiz, 1982.

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

### 3.5. Selección de posibles progenitores

Utilizando como base los indicadores de calidad nutricional, establecidos por Vivek y col. (2008) (tabla VII), el comportamiento agronómico de las accesiones y las asociaciones encontradas, se recomendaron las accesiones a utilizar como posibles progenitores en programas de mejora dirigidos a la calidad nutricional del maíz y buen comportamiento agronómico.

Tabla VII. Contenidos mínimos de proteína, triptófano e índice de calidad establecidos para accesiones de alta calidad proteica.

Carácter	Contenido (%)
Proteína	8,0
triptófano	> 0,075
Índice de calidad	> 0,8

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### 4.1. Prospección de semillas de maíz

#### Datos de pasaporte

Se colectaron 125 accesiones de maíz, distribuidas de la siguiente manera: 30 en Catalina de Güines, 28 en Las Ventas de Casanova y 67 en la región central (Villa Clara y Sancti Spíritus), donadas por 10 campesinos en el primer caso, 26 en el segundo y 67 en el tercero (Tabla VIII).

Tabla VIII. Nomenclatura de los campesinos, donante y lugar de colecta de las accesiones colectadas.

No.	Nomenclatura de los campesinos	Donante	Lugar de colecta
1	Criollo	Obdulio Rodríguez	Catalina de Güines
2	Criollo	Obdulio Rodríguez	Catalina de Güines
3	Criollo	Obdulio Rodríguez	Catalina de Güines
4	Criollo	Obdulio Rodríguez	Catalina de Güines
5	Criollo	Cristóbal Hernández	Catalina de Güines
6	Criollo	Cristóbal Hernández	Catalina de Güines
7	Criollo	Cristóbal Hernández	Catalina de Güines
8	Criollo	Cristóbal Hernández	Catalina de Güines
9	Criollo	Eddy Rodríguez	Catalina de Güines
10	Criollo	Eddy Rodríguez	Catalina de Güines
11	Criollo	Vicente Rodríguez	Catalina de Güines
12	Criollo	Vicente Rodríguez	Catalina de Güines
13	Criollo	Carlos Romero	Catalina de Güines
14	Criollo	Carlos Romero	Catalina de Güines
15	Criollo	Carlos Romero	Catalina de Güines
16	Criollo	Daúl Alonso	Catalina de Güines
17	Criollo	Daúl Alonso	Catalina de Güines
18	Criollo	Daúl Alonso	Catalina de Güines
19	Criollo	José Arnedo	Catalina de Güines
20	Criollo	José Arnedo	Catalina de Güines
21	Criollo	Luis Martínez	Catalina de Güines
22	Criollo	Luis Martínez	Catalina de Güines
23	Criollo	Luis Martínez	Catalina de Güines

24	Criollo	Nildo Valdés	Catalina de Güines
25	Criollo	Nildo Valdés	Catalina de Güines
26	Criollo	Nildo Valdés	Catalina de Güines
27	Criollo	Nildo Valdés	Catalina de Güines
28	Criollo	Raúl Valdés	Catalina de Güines
29	Criollo	Raúl Valdés	Catalina de Güines
30	Criollo	Raúl Valdés	Catalina de Güines
<hr/>			
1	Canilla	Arnaldo Borges	Ventas de Casanova
2	Canilla	Ramón Maldonado	Ventas de Casanova
3	Canilla	Mario Paz	Ventas de Casanova
4	Tayuyo Tusón	Luis Lora	Ventas de Casanova
5	Tayuyo	Amparo Hernández	Ventas de Casanova
6	Tayuyo	Tomas Núñez	Ventas de Casanova
7	“Criollo”	Hipólito Ramírez	Ventas de Casanova
8	Tayuyo Diente Caballo	Luis M. Duani	Ventas de Casanova
9	Canilla Morado	Aladino Segura	Ventas de Casanova
10	Tayuyo (Media Tusa)	Roberto Vázquez	Ventas de Casanova
11	Tayuyo	Iván Maldonado	Ventas de Casanova
12	Diente de Caballo	Ubaldo Ijuelo	Ventas de Casanova
13	Canilla	Reynol Vázquez	Ventas de Casanova
14	Tayuyo	Luis Rosales	Ventas de Casanova
15	Tayuyo	Julio Segura	Ventas de Casanova
16	Canilla	Jorge Maldonado	Ventas de Casanova
17	Tayuyo	Salvador Segura	Ventas de Casanova
18	Canilla	Andrés Del toro	Ventas de Casanova
19	Tayuyo Blanco	Danilo Álvarez Núñez	Ventas de Casanova
20	Tayuyo		Ventas de Casanova
21	Canilla	Luisinio Fonseca	Ventas de Casanova
22	Canilla Diente de Caballo	Miguel Núñez	Ventas de Casanova
23	Canilla	Eduardo Díaz	Ventas de Casanova
24	Canilla	Henry Maldonado	Ventas de Casanova
25	Tayuyo Blanco	Selestino Segura	Ventas de Casanova
26	Tusón	Virtudes Pérez	Ventas de Casanova
27	Tusón	Misael Lora	Ventas de Casanova
28	Tayuyo Blanco	Aladino Segura	Ventas de Casanova
<hr/>			
1	maíz blanco y morado	Elaine Morales Trimiño	Región Central

2	maíz morado y blanco	Osmani Martín	Región Central
3	maíz argentino	Maguey, S. Clara	Región Central
4	maíz morado	Vladimir Perdomo	Región Central
5	maíz	Ismael Vinaiza	Región Central
6	maíz	Pedro Rodríguez	Región Central
7	maíz mexicano	Abel Torres Santana	Región Central
8	maíz mexicano (mas años de manejo)	Abel Torres Santana	Región Central
9	maíz rojo	Pedro Mesa García	Región Central
10	maíz	Eduardo Valdés Cabrales	Región Central
11	maíz	Nelson Perdoma Alé	Región Central
12	maíz argentino	Juan Rami	Región Central
13	maíz criollo	Vladimir Perdomo	Región Central
14	maíz amarillo y morado	Vladimir Perdomo	Región Central
15	maíz amarillo	Vladimir Perdomo	Región Central
16	maíz argentino y morado	Jorge Félix Rodríguez Jomolca	Región Central
17	maíz colorado	Jorge Félix Rodríguez Jomolca	Región Central
18	maíz blanco	Osmani Pérez	Región Central
19	maíz blanco	Leonel Martí	Región Central
20	maíz criollo	Erasmo Évora Brito	Región Central
21	maíz blanco y morado	Francisco Llerena	Región Central
22	maíz criollo	Oscar Padrón	Región Central
23	maíz argentino	Jorge Martínez	Región Central
24	maíz criollo	Ismael Fariñas	Región Central
25	maíz	José Fariñas	Región Central
26	maíz rojo	José Fariñas	Región Central
27	maíz criollo blanco	Enrique Suárez	Región Central
28	maíz morado	Enrique Suárez	Región Central
29	maíz criollo	Pedro Mesa García	Región Central
30	maíz blanco y morado	Roberto Rivero García	Región Central
31	maíz paja blanca	Katia Cáceres Fuentes	Región Central
32	maíz blanco y morado	Jordán Caballero Hernández	Región Central
33	maíz morado y blanco	Modesto Núñez Castro	Región Central
34	maíz paja blanca	Alberto Amaro	Región Central
35	maíz morado	Oscar Calero Martínez	Región Central
36	maíz rosita	Oscar Calero Martínez	Región Central
37	maíz gallego	Juan Miguel Francisena	Región Central

38	maíz morado	Juan Miguel Francisena	Región Central
39	maíz	Justo Quintero Fumero	Región Central
40	maíz de 70 días	Enrique Hernández Hernández	Región Central
41	maíz criollo de paja blanca	Enrique Hernández Hernández	Región Central
42	maíz argentino	Gonzalo Vera Cortés	Región Central
43	maíz híbrido	Gonzalo Vera Cortés	Región Central
44	maíz criollo	Gonzalo Vera Cortés	Región Central
45	maíz híbrido argentino	Armando Gil	Región Central
46	maíz criollo	Ángel R. Méndez	Región Central
47	maíz paja blanca	Rino García	Región Central
48	maíz blanco	Oreste Mármol	Región Central
49	maíz blanco y argentino, tusa gorda	Alejandro Rodríguez	Región Central
50	maíz argentino y TGH (diente de caballo)	Daniel Cervantes	Región Central
51	maíz argentino y TGH (diente de caballo)	Rodolfo Picaso	Región Central
52	maíz blanco	Elio Guedez Rodríguez	Región Central
53	maíz	Jesús Martínez Castillo	Región Central
54	maíz canadiense	Octavio Rojas del Río	Región Central
55	maíz argentino	Octavio Rojas del Río	Región Central
56	maíz morado	Ibaldo García Bravo	Región Central
57	maíz	Osmel Denis	Región Central
58	maíz victoria	Agustín Hernández Jiménez	Región Central
59	maíz morado	Agustín Hernández Jiménez	Región Central
60	maíz mantequilla (descendiente de victoria)	José León	Región Central
61	maíz morado	Fidel Valles Hernández	Región Central
62	maíz paja blanca y morada	Juan Miguel Francisena	Región Central
63	maíz burro y criollo	Edmeregildo Rodríguez	Región Central
64	maíz argentino	Noelio Díaz	Región Central
65	maíz argentino y TGH	Orledo Ortega	Región Central
66	maíz paja blanca	Dagoberto Águila	Región Central
67	maíz gallego	Noelio Díaz	Región Central

Las accesiones colectadas se incluyeron en la colección de trabajo de maíz en el INCA, lo que permitió enriquecer ésta con genotipos que hasta entonces estaban en baja frecuencia o no estaban presentes.

Es importante destacar que en el maíz, al constituir una especie alógama, el porcentaje de polinización cruzada es superior al 95% (Sevilla, 2006), por tanto, es inevitable que se produzcan de manera natural hibridaciones o mezclas, ya que muchos agricultores mantienen en sus sistemas tradicionales más de una accesión.

También el cultivo es mantenido y modificado por el hombre, basado en la selección que este realiza, en sistemas de manejos, necesidades e intereses diferentes, lo que permite que muchos caracteres deseables por los agricultores, se mantengan hasta nuestros días; por tanto, las prospecciones son necesarias para mantener actualizado el germoplasma de maíz, máxime cuando son colectadas en su lugar de domesticación, por lo que es posible que estas nuevas accesiones puedan presentar determinados genes de tolerancia que les permitan adaptarse a las condiciones típicas de estos ambientes. Además hay que resaltar la importancia de la conservación in situ del maíz en Cuba, debido a la falta de infraestructura adecuada para mantener la semilla en las condiciones que exige su conservación ex situ.

El germoplasma colectado, constituye una importante fuente de variabilidad genética, de utilidad para los programas de mejora en este cultivo (Muñoz, 2003 y Fernández, 2009), además, estos resultados ofrecen elementos que apoyarán la estrategia de conservación a mediano y largo plazo del acervo genético del cultivo en Cuba, ya que éste puede resultar un recurso estratégico para la seguridad alimentaria futura del país (Comisión Nacional de Recursos Genéticos, 2007).

Sevilla (2006), destacó que la selección artificial juega un papel importante en la adaptación de las razas a los ecosistemas y sistemas de producción, y en la especialización para los múltiples usos culturales. Este propio autor plantea que, en ocasiones, las razas parecen ser mantenidas por los agricultores cuando tienen para ellos algún valor, aunque no sea de tipo económico, y este es el caso del uso mágico-religioso, que incide en que algunas coloraciones de grano rojo intenso se mantengan en los lotes de semillas que los agricultores conservan de un ciclo a otro en la región Oriental del país.

#### 4.1.1. Origen y nomenclatura de las accesiones colectadas.

En la figura 4 se muestra el origen de la semilla de las accesiones colectadas en las tres zonas, basado en la fuente de obtención de la semilla.

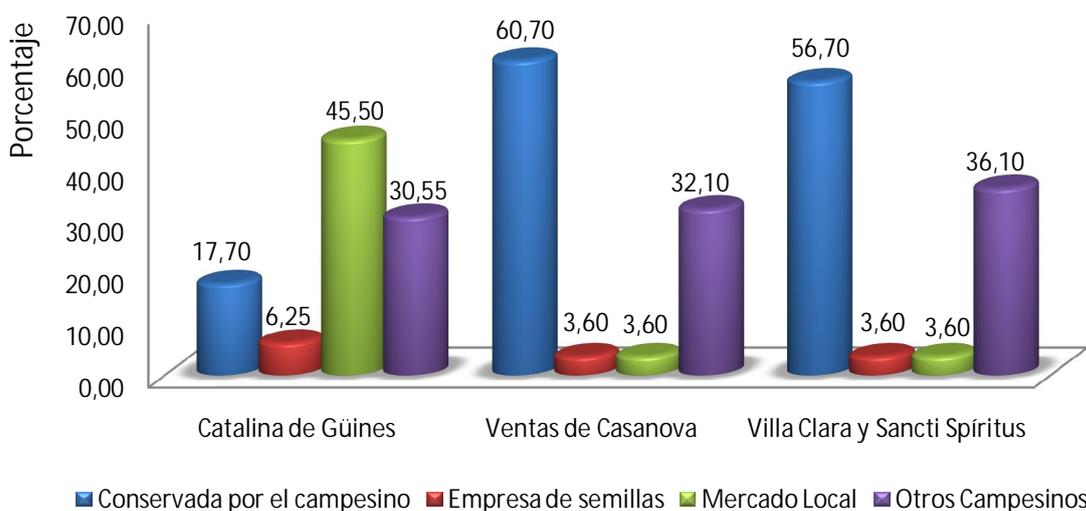


Figura 4. Distribución (%) de las fuentes de obtención de la semilla, utilizadas por los campesinos de las tres zonas de colecta.

En Catalina de Güines, el 45,5 % de los campesinos compraron la semilla en los puntos de venta del mercado agropecuario local, el 30,55 % obtuvo la semilla de otros campesinos de la propia zona, quienes generalmente también la obtuvieron del mercado agropecuario local. El 17,7 % manifiesta que conservó su semilla y el 6,25 % adquirió su semilla a través de la empresa de semilla.

En Las Ventas de Casanova y en las localidades de Villa Clara y Sancti Spíritus, a diferencia de Catalina de Güines, el mayor porcentaje de obtención de semilla (figura 4) se refiere a campesinos que conservaron sus accesiones (60,7 y 56,7 % respectivamente); mientras que el 3,6 %, en ambas regiones, la compraron en la empresa de semillas del territorio y este mismo porcentaje la obtuvieron en los puntos de ventas del mercado local. Un porcentaje similar al de Catalina de Güines, 32,1 % en las Ventas de Casanova y 36,1 en Villa Clara y Sancti Spíritus, adquirieron la semilla por intercambio con otros campesinos de la zona.

La distribución de la fuente de obtención de la semilla, en Catalina de Güines, se debe principalmente, a que la producción de maíz en esta zona estuvo dirigida, mayoritariamente, al mercado agropecuario local; los campesinos cosechan en la fase de maíz tierno y lo venden, debido a que los precios son más atractivos en este momento; además no es rentable dejar secar el maíz porque significa un aumento en gastos de salario para su cuidado y las tierras permanecen ociosas por un mayor periodo de tiempo, elevando considerablemente los costos de producción.

Este flujo de semillas permitió que en cada ciclo de siembra en la zona de Catalina de Güines se hayan introducido, de forma no controlada, nuevas accesiones de maíz, que contribuyeron a la variabilidad de este cultivo, aunque de manera general las accesiones que entraron en el sistema no provinieron de otras regiones del país, sino de la propia comunidad.

Para Las Ventas de Casanova y las localidades de Villa Clara y Sancti Spíritus, la distribución de las fuentes de obtención de la semilla, se caracterizó, por la estabilidad de la producción de maíz y la conservación de la semilla; aspectos que contribuyeron positivamente a la adaptación de las accesiones a las condiciones específicas de estas regiones (Fernández, 2009); además los rendimientos del maíz se mantuvieron en niveles satisfactorios para los campesinos (aproximadamente  $0,95 \text{ t/ha}^{-1}$ ) y con buen comportamiento ante la incidencia de plagas tanto de campo (*Spodoptera frugiperda* Smith) como de almacén, a pesar de las bajas precipitaciones y la falta de riego, por lo que las accesiones colectadas en este lugar pudieran constituir una importante fuente de tolerancia a la sequía. En estos territorios, dado la estabilidad en el uso de las accesiones locales, se mantienen razas de maíces informadas por Hatheway (1957) como son el tusón, canilla y maíz argentino. La producción de maíz de estas regiones es utilizada, fundamentalmente, para la alimentación de la familia y sus animales.

Según criterio de los campesinos, las accesiones colectadas en estas zonas presentan buen comportamiento frente a *Spodoptera frugiperda* (Smith); las que muestran un mecanismo de recuperación después de la incidencia inicial de la plaga (foto 1), sin la aplicación de medios de control y sin el aporte de las lluvias, debido a que las zonas se caracterizan por bajas precipitaciones.



Foto 1. Planta de maíz recuperada después del ataque de *Spodoptera frugiperda* (Smith).

En la zona de Las Ventas de Casanova, se observó que a pesar, de ser campesinos residentes en la localidad o zonas aledañas, no todos utilizan las mismas accesiones, sino que cada uno conserva sus propias accesiones basado en intereses y necesidades específicas lo que permitió detectar diferencias entre las accesiones colectadas en cuanto al color de la tusa, el color de los granos así como su tamaño y forma; el grosor, tamaño y color de la tusa (foto 2), lo que evidencia una gran variabilidad morfológica.



Foto 2. Muestra la variabilidad en cuanto a la forma color y tamaño de la tusa.

En resumen, existieron diferencias en cuanto a las fuentes de obtención de semilla, entre Catalina de Güines y las zonas de Las Ventas de Casanova y las localidades de la región central. En Las Ventas de Casanova, Villa Clara y Sancti Spíritus, debido a la experiencia que tienen en conservación de semillas y a la estabilidad en la producción de este cultivo en la zona, los campesinos lograron mantener sus semillas por más de 50 años; mientras que en Catalina de Güines, los campesinos compraron, en mayor porcentaje, la semilla de maíz en los puntos de ventas del mercado agropecuario local.

En las zonas estudiadas, los menores porcentajes de obtención de semillas, correspondieron a la compra en las empresas de semillas de los territorios; a partir de la situación económica desfavorable del país en la década del 90, que disminuyó la capacidad de producción sostenible y suficiente de semillas por estas entidades, que no les permitió abastecer en cuanto a cantidad y calidad de semillas a los campesinos (Ríos, 2003), evidenciando la necesidad de nuevas alternativas que requieren de un trabajo conjunto entre los institutos de investigación, los campesinos y otros actores interesados e involucrados en el tema.

En general, se observó que existieron diferencias en el manejo de la semilla por parte de los campesinos, en las diferentes localidades, las prácticas de almacenamiento utilizadas por los campesinos de Las Ventas de Casanova, Villa Clara y Sancti Spíritus han permitido la conservación in situ de accesiones de maíz con adaptación a las condiciones específicas de estas localidades, permitiéndoles mantener una producción del cultivo con rendimientos que según declaraciones de los propios agricultores son estables. Estos resultados coinciden con lo referido por Ortiz y col. (2003), quienes plantearon que es acertado buscar accesiones de adaptación específica, que permitan enfrentar las diversas condiciones que se puedan presentar en cada ambiente.

Nomenclatura de las accesiones colectadas en las tres regiones.

En las Ventas de Casanova, las accesiones manejadas mayoritariamente por los campesinos, fueron el Tayuyo y el Canilla, las que tradicionalmente han sido sembradas en la zona y mantenidas por los campesinos debido a que responden positivamente en las condiciones específicas con que producen el maíz en la zona. Además siembran el Diente de Caballo, Tusón, criollo y mezclas de razas (figura 5).

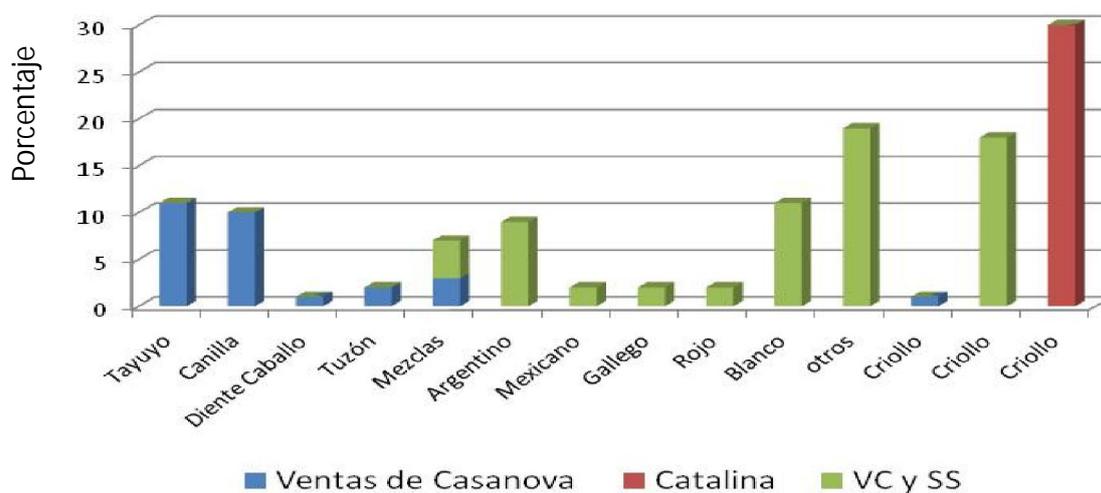


Figura 5. Distribución de la nomenclatura utilizada por los campesinos para las accesiones en las regiones de colecta.

Los campesinos de Catalina de Güines, le llamaron “criollo” a todas las accesiones que siembran (figura 5); mientras que en las localidades de Villa Clara y Sancti Spíritus se utilizó una nomenclatura diversa: criollo, blanco, rojo, gallego, mexicano, argentino, mezclas y otros. El tayuyo, canilla, argentino y criollo son razas que fueron informadas en Cuba por Hernández (1949) y por Hatheway (1957) y que los campesinos cubanos han sido capaces de mantener en el transcurso de los años debido a la selección artificial que estos han realizado (Fernández, 2009).

Esta nomenclatura no constituye una fuente fiable para identificar razas o variedades de maíz, debido a que los campesinos pueden variar la forma de nombrar las accesiones que utilizan, siendo necesario un estudio amplio de las características específicas de cada raza o variedad.

#### 4.2. Evaluación morfoagronómica.

##### 4.2.1. Evaluación cualitativa de la colección estudiada

Al realizar un análisis de frecuencia con los caracteres cualitativos evaluados, se pudo observar que la cobertura de la mazorca en el 100 % de las accesiones fue buena y que predominaron los granos con forma convexa (98,11 %); solo el 1,89 % tuvo forma hendida (Figura 6).

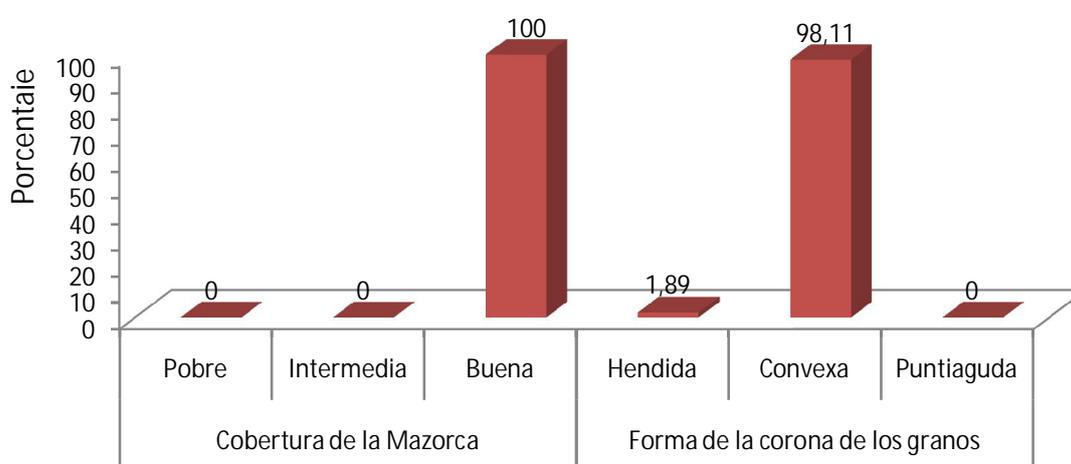


Figura 6. Frecuencia de los caracteres: cobertura de la mazorca y forma de la corona de los granos, en la colección general estudiada.

Estos resultados coinciden con los encontrados por Fernández, (2009), quien al evaluar una colección de 92 accesiones de maíz procedentes de diferentes regiones de Cuba, informó una cobertura buena de la mazorca en la totalidad de las accesiones; lo que pudiera deberse a la selección que realizan los agricultores sobre este carácter para mitigar la afectación por plagas y enfermedades que afectan a la mazorca (Acosta y col. 2003) y/o a la adaptación de estas accesiones a las condiciones ambientales específicas de las zonas.

En cuanto al color del grano (Figura 7) predominó el amarillo, constituyendo el 63,73 % de la colección general, el 65,58 % en la región occidental, el 70,42 % en la región oriental y el 72,42 % en la región central; seguido del amarillo naranja, con 24,69 % de la colección general, el 23,90 % en la región occidental, el 25,70 % en la región oriental y el 24,33 % en la región central. En baja frecuencia se encontraron el resto de los colores, ubicados en rangos de 3,25 a 5,15 % en el caso del naranja y naranja rojo y entre el 0,94 y 1,58 % el blanco y rojo.

Los resultados coinciden con Fernández (2009), quien al caracterizar las razas de maíz existentes en Cuba, encontró predominio de los colores amarillo y amarillo naranja, con 51 y 33% respectivamente, seguidos de los colores naranja y naranja rojo, con 8 y 4%, y en baja frecuencia los colores blanco y rojo, ambos con el 1%.

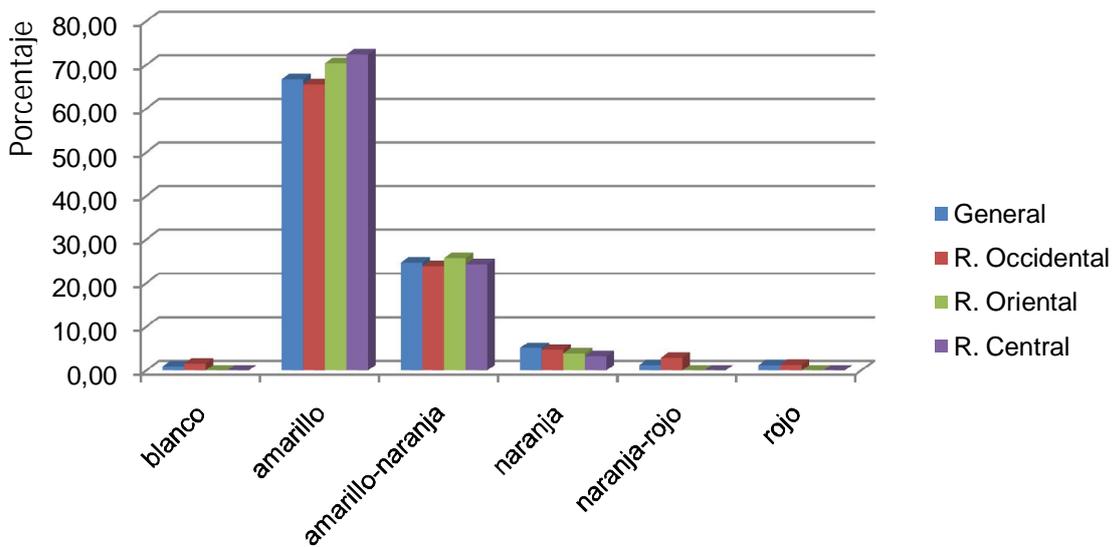


Figura 7. Frecuencia de los colores del grano en la colección general y en los 3 grupos formados atendiendo a la procedencia de las accesiones.

La distribución de los colores se debe a los criterios de selección de los campesinos; la predilección por el grano amarillo pudiera deberse a la preferencia de los campesinos en cuanto a esta tonalidad a la hora de confeccionar los platos que se realizan con maíz en nuestro país y a la cultura ya milenaria del cultivo del maíz amarillo en Cuba.

Betrán y col. (2006), resaltaron la importancia del color del grano, pues muchos consumidores prefieren los colores amarillo intenso y naranja para la industria del alimento animal, por el alto contenido de carotenoides.

Sevilla (2006), explicó que la caracterización del color del grano es importante, porque es un carácter de muy alta heredabilidad, y no está permeado por la influencia ambiental.

En cuanto a la forma de la mazorca (figura 8), predominaron las accesiones con mazorca cónica – cilíndrica en todos los grupos, siendo el 73,39 % en la colección general, el 70,24 % en la región occidental, el 72,84 % en la región oriental y el 77,08 % en la región central; mientras que la forma cilíndrica fue de un 23,81 % en la

colección general, en el 26,30 % en la región occidental, el 22,22 % en la región oriental y el 22,92 % en la región central; siendo las menos frecuentes las mazorcas cónicas.

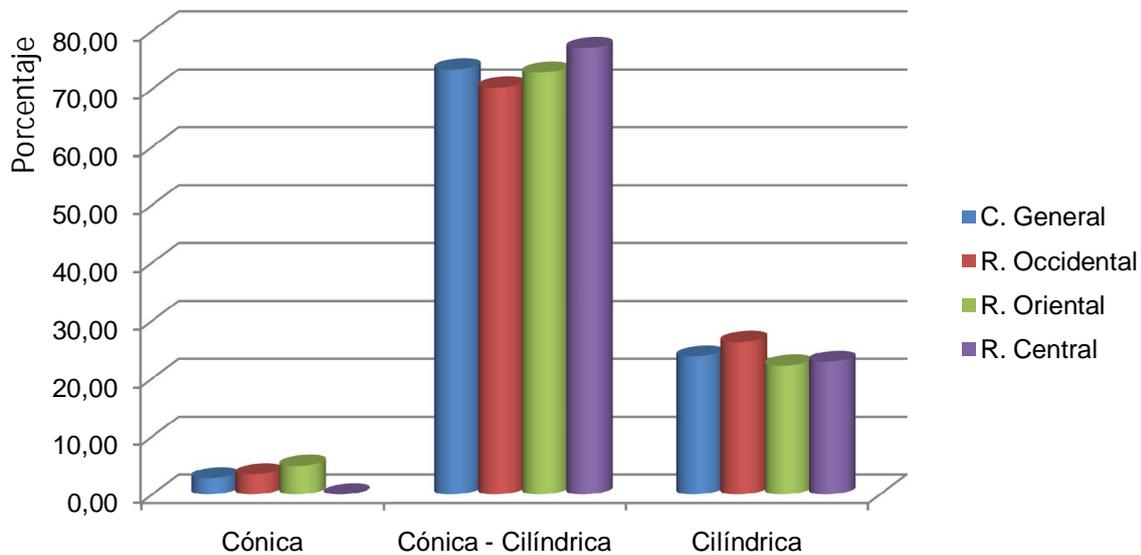


Figura 8. Frecuencia de las formas de la mazorca en la colección general y en los 3 grupos formados atendiendo a la procedencia de las accesiones.

Estos resultados coinciden con Fernández, (2009), quien planteó que, al evaluar 92 accesiones de maíz de diferentes regiones de Cuba, la forma cónica – cilíndrica de la mazorca predominó. Las formas de las mazorcas están definidas por los criterios de selección de los agricultores; estos prefieren las formas cilíndricas y cónicas – cilíndricas debido a que existe una tendencia hacia que las mazorcas con estas formas presentan un mayor número de granos (Martínez, 2004).

La figura 9 muestra las proporciones de la disposición de las hileras en los grupos evaluados. La disposición recta de las hileras predominó, presentándose en un 97,58 % en la colección general, 92,75 % en la región occidental y 100 % en las regiones oriental y central del país. Las hileras dispuestas ligeramente en espiral se presentaron en un 1,93 % en la colección general y en un 5,80 % en la región occidental; mientras que la disposición en espiral de las hileras se presentó en un 0,48 % en la colección general y en un 1,45 % en las accesiones provenientes de la

región occidental, no presentándose en el resto de los grupos. No hubo mazorcas con hileras dispuestas irregularmente.

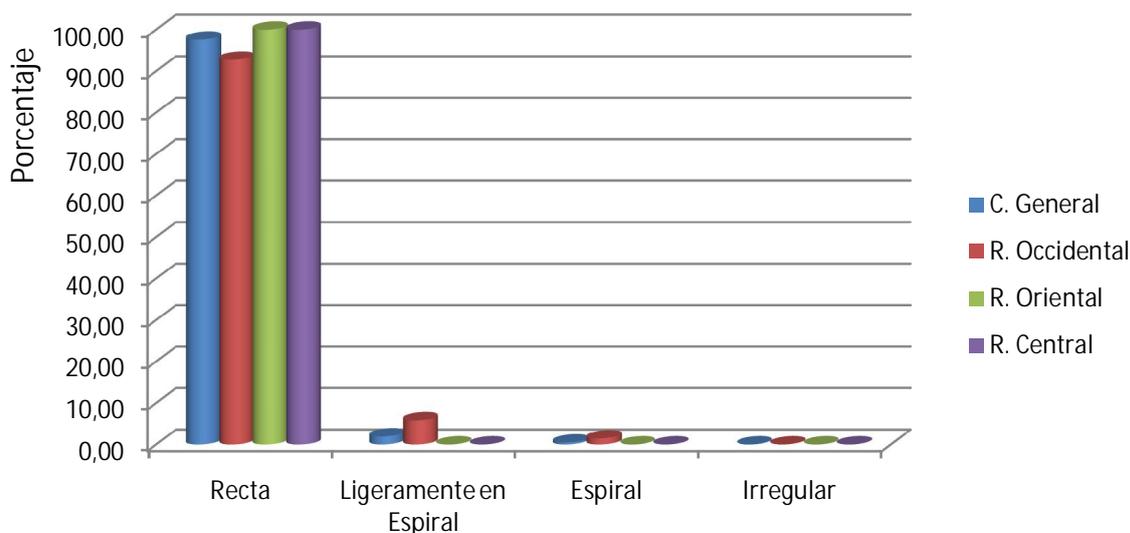


Figura 9. Frecuencia de la disposición de las hileras en la colección general y en los cinco grupos formados, atendiendo a la procedencia de las accesiones.

La preponderancia de la disposición recta de las hileras, en todos los grupos estudiados, está determinada por los criterios de selección de los campesinos, quienes prefieren esta característica porque las mazorcas tienen mejor presencia en el mercado y porque, según Martínez, 2004, existe una correlación positiva entre la disposición recta de las hileras y el número de granos por mazorca.

Dado la baja de frecuencia de algunas características cualitativas, como algunas tonalidades del grano (blanco, naranja, naranja-rojo y rojo) así como de la forma cónica de la mazorca, se recomienda, establecer una estrategia en función de elevar la frecuencia de éstas, tanto, en las colecciones in situ como en las ex situ, de forma tal que se amplíe la variabilidad de estos caracteres.

#### 4.2.2. Análisis de la variabilidad de la colección estudiada.

La tabla IX presenta los valores de la 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).

Tabla IX. 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

La incidencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith) fue el carácter de mayor dispersión, en la colección general, con un coeficiente de variación de 27,15 % y en las accesiones de la región occidental (29,17 %); siendo también variable en la región oriental (21,21 %).

El rendimiento por planta mostró una alta dispersión (CV > 25 %) en todas las colecciones, siendo, el carácter de mayor variabilidad, en las accesiones procedentes de las regiones oriental y central, con coeficientes de variación de 28,88 % y 25,64 % respectivamente. La altura a la mazorca superior mostro una 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 del CV siempre superiores a 25 %, 16 %, 14 %, 12,5 % y 11 % respectivamente. Los resultados expuestos coinciden con Hatheway (1957), quien informó que los maíces cubanos tienen su mayor variación para los caracteres de la mazorca y que por tanto, constituyen los más importantes para clasificar el germoplasma; sin embargo, la altura a la mazorca superior, es un carácter de la planta, el cual mostró variabilidad en las colecciones evaluadas, por tanto se recomienda evaluar su importancia, en la clasificación del germoplasma cubano.

Ortiz y Sevilla (1997), al evaluar accesiones de maíz en Perú, obtuvieron valores inferiores a los antes citados para los caracteres de la mazorca, en contraste, Ligarreto, Ballén y Huertas (1998), al evaluar 25 accesiones de maíz de la zona andina, encontraron 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 %). Las colecciones evaluadas en Cuba, presentan menor variabilidad que las evaluadas en la región andina; debido a que esta región es definida por Muñoz (2003) como centro secundario de diversificación del maíz y por tanto la variabilidad de los caracteres es alta.

González y col. (2008), al analizar variedades comerciales e híbridos de maíz en el Valle Toluca-Atzacmulco en México, encontraron los coeficientes de variación siguientes: para el número de hileras el CV = 4,9 %, para la masa de 100 semillas CV = 10,0 %, para la longitud de la mazorca CV = 4,87 %, para la altura a la mazorca es superior el CV = 7,78 % y para la longitud de la planta el CV = 5,25 %.

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, las cuales, de manera general, presentan mayor homogeneidad.

Espinosa, Mendoza y Castillo (2006), al evaluar poblaciones locales de maíz en México, informaron que 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 %. La dispersión de los caracteres número de granos por hileras y número de hileras fue similar a la encontrada en las 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.

Fernández (2009), al evaluar accesiones cubanas de maíz conservadas tanto ex situ como in situ, informó 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 el carácter menos variable el NH con CV de 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 de las mismas. Los caracteres menos estables (ISF, AMS y M100S), son fuertemente influenciados por el ambiente, siendo esta es la causa principal de su variabilidad.

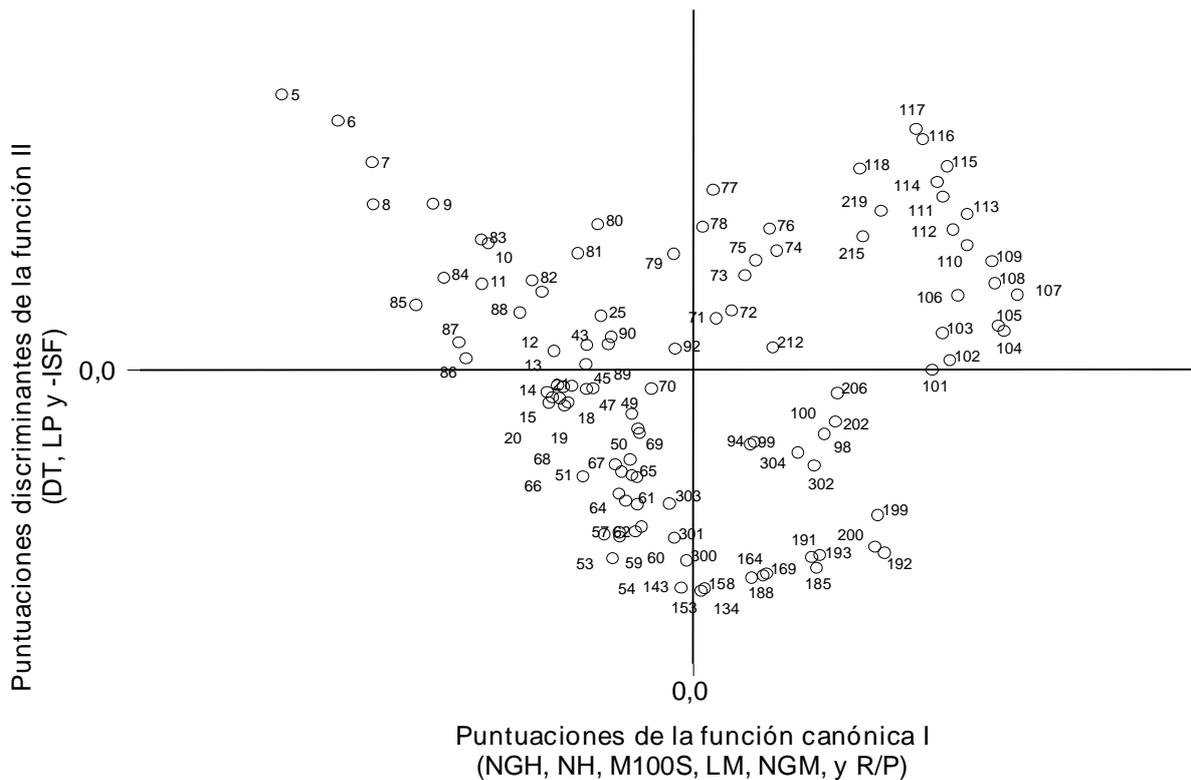
La tabla X muestra la matriz de funciones canónicas conformada a partir del análisis de componentes principales de los caracteres cuantitativos evaluados en la colección general.

Tabla X. Contribución de los caracteres evaluados a la variabilidad de la colección General en las dos primeras funciones canónicas.

Caracteres	Funciones Canónicas	
	I	II
Número de granos por hileras	,783	-,328
Número de hileras	,810	,223
Masa de 100 semillas	,818	,002
Longitud de la mazorca	,939	-,189
Diámetro medio de la mazorca	,480	,531
Número de granos por mazorca	,947	-,137
Diámetro del tallo	,289	,809
Longitud de la planta	-,176	,737
Incidencia de <i>Spodoptera frugiperda</i> (Smith)	-,102	-,709
Rendimiento por planta	,958	-,052
Porcentaje acumulado	42,89	71,87

Las dos primeras funciones canónicas resultantes del análisis de componentes principales explicaron el 71,87 % de la variabilidad total, siendo los caracteres R/P, NGM, LM, M100S, NH y NGH los que más aportaron a la conformación de la función I. En la función II los caracteres que más aportaron fueron DT, LP e -ISF.

La figura 10 muestra la distribución gráfica de las 106 accesiones evaluadas de acuerdo a las dos primeras funciones canónicas; mostrándose una alta dispersión de las 106 accesiones evaluadas, por tanto, existió una amplia variabilidad, la que se debió principalmente, a la multiplicidad de orígenes de las accesiones que integran la colección de trabajo, donde existen materiales diversos (accesiones criollas, variedades mejoradas, líneas, etc.), introducidos por diferentes vías y obtenidos por programas de mejoramiento destinados a objetivos distintos.



NGH=número de granos por hileras, NH=número de hileras, M100S=masa de 100 semillas, LM=longitud de la mazorca, DMM=díametro medio de la mazorca, NGM=número de granos por mazorca, DT=díametro del tallo, LP=longitud de la planta, ISF=incidencia de Spodoptera frugiperda (Smith) y R/P=Rendimiento por planta.

Figura 10. Distribución gráfica de las 106 accesiones en las dos funciones canónicas.

Las hibridaciones o mezclas que manera natural ocurren en el maíz, al constituir éste una especie alógama, constituye otro aspecto que aportó a la variabilidad del cultivo. También influyeron la selección realizada por los agricultores y la gran diversidad de usos y de ambientes en que se siembra, provocando que, poblaciones fenotípicamente parecidas puedan pertenecer ahora a razas distintas, ya que no pueden compartir por falta de adaptación, el mismo ambiente ecológico.

Defacio y col. (2005) encontraron variabilidad en los caracteres diámetro medio de la mazorca, número de granos por hileras y número de hileras al evaluar 60 accesiones de maíz nativas de Argentina.

De igual manera, Grijalva y col. (2003), encontraron una amplia dispersión en los caracteres días a la floración masculina, longitud de la planta, altura de la mazorca superior y masa de 100 semillas, al evaluar seis líneas endogámicas de maíz y sus correspondientes híbridos en Saltillo, México.

Según Alfaro y Segovia (2000), la evaluación de una determinada accesión colectada en un ambiente particular para posteriormente ser evaluada en un ambiente diferente, pudiera afectar el comportamiento de dicha accesión; por lo que la evaluación de la diversidad de las accesiones colectadas en diferentes zonas de Cuba, estuvo basada en los datos obtenidos en el lugar de evaluación (INCA) y no necesariamente representa su comportamiento en el lugar de origen.

Según Grant y col. (1965) y Sevilla (1991), los estudios de las poblaciones locales de maíz son indispensables si se quiere ampliar la base genética del cultivo para el mejoramiento con vista a la obtención de variedades con adaptación a condiciones específicas.

Estos resultados coinciden con Fontana y González (2000), quienes plantearon que la variabilidad genética presente dentro y entre poblaciones de maíz ha sido reconocida como una de las más abundantes del reino vegetal. Mucha de esta variabilidad es de herencia simple, identificada a través del tiempo y que controla caracteres fenotípicos de fácil identificación, tales como, colores, formas y estructuras.

Goodman y Paterniani (1969) al evaluar 111 caracteres de 55 razas y sub-razas de maíz del sureste de América del sur, en Piracicaba, Brasil, señalaron que muchos de los caracteres fueron afectados por el ambiente, siendo particularmente importante la interacción genotipo-ambiente de algunos caracteres relacionados con la arquitectura de la planta.

El trabajo reveló que los caracteres vegetativos tuvieron diferencias entre las razas evaluadas en diferentes ambientes, años y localidades. Algunas características de la mazorca fueron más discriminativas que las características vegetativas, estas

relaciones podrían indicar que, en general, los caracteres reproductivos fueron más estables que los vegetativos.

En este sentido, los mejoradores de maíz han expresado que en esta planta se encuentra toda la variabilidad genética necesaria para mejorar cualquier característica que se desee, pero en realidad, los programas de mejoramiento han hecho un uso limitado de la diversidad de los recursos genéticos del maíz disponibles fuera de los bancos de germoplasma de los institutos de investigación, mostrándose una tendencia general a usar el mismo germoplasma en los trabajos experimentales (Seefoó y col. 2010).

La principal fuente de variabilidad genética usada en los trabajos con maíz proviene, en general, de los materiales de que dispone el mejorador, o de un intercambio de germoplasma con otros mejoradores; sin embargo, hay un creciente interés en los mejoradores de maíz, de expandir la búsqueda de genes útiles, que aumenten la variabilidad genética y de este modo incrementar la sostenibilidad de la producción de dicho cultivo. De la misma forma, hay una constante preocupación sobre de la necesidad de conservar los recursos genéticos para su uso en este siglo y en el futuro más lejano.

El fitomejoramiento plantea una paradoja, ya que por un lado, se necesita variabilidad genética para mejorar y mantener alta productividad de los cultivos y por el otro, algunos cultivares mejorados se difunden ampliamente y su extenso uso provoca una reducción de variabilidad genética en las zonas de producción donde tienen éxito. El empleo de pocas variedades uniformes y con estrecha base genética en grandes áreas, ha ocasionado graves problemas en diferentes países y en distintas épocas. Se considera que, en especies cultivadas, el factor de mayor importancia en la pérdida de diversidad es el reemplazo de las variedades tradicionales y razas locales de los agricultores con amplia variabilidad genética, por materiales mejorados de mayor rendimiento pero con gran uniformidad genética, o por otros cultivos más productivos y/o más rentables.

En general, Las condiciones específicas de cultivo en cada finca de los agricultores, así como los diferentes criterios de selección, necesidades e intereses diferentes, contribuyó positivamente a mantener y ampliar la variabilidad útil en el maíz en las zonas estudiadas, por tanto, es importante el uso de esta variabilidad encontrada, tanto en programas de mejoramiento, como directamente en la producción, de forma tal que permita, tanto la conservación de este acervo genético como su mayor distribución y uso.

Distribución de las accesiones, en las diferentes zonas de procedencia, de acuerdo al análisis discriminante.

La tabla XI muestra la matriz de funciones discriminantes conformada a partir del análisis de los caracteres cuantitativos evaluados en la colección general que incluye las 106 accesiones estudiadas, utilizando como factor discriminante la región de procedencia de las accesiones.

Tabla XI. Contribución de los caracteres evaluados a la variabilidad de la colección general en cada función discriminante.

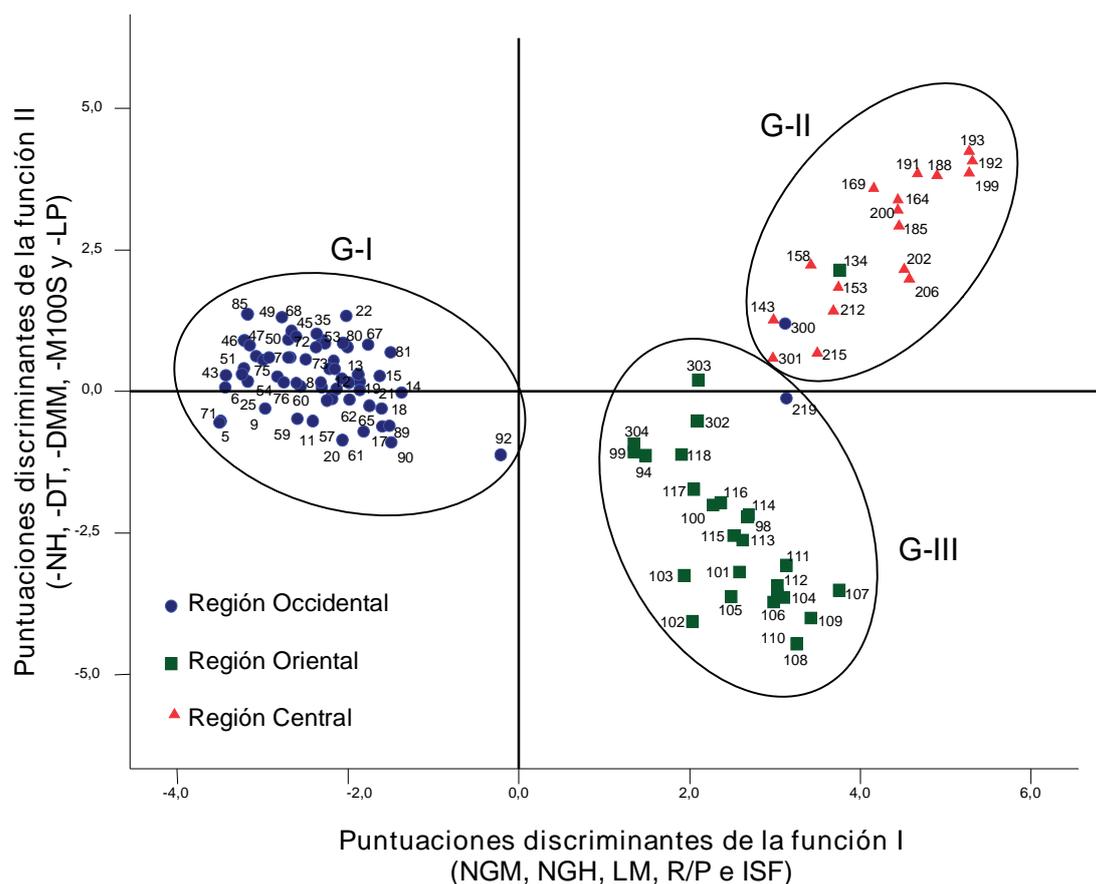
Caracteres	Función	
	I	II
Número de granos por mazorca	,599(*)	-,052
Número de granos por hileras	,540(*)	,257
Longitud de la mazorca	,438(*)	-,287
Rendimiento por planta	,388(*)	-,175
Incidencia de Spodoptera frugiperda (Smith)	,102(*)	,069
Número de hileras	,291	-,451(*)
Diámetro del tallo	,002	-,412(*)
Diámetro medio de la mazorca	,135	-,317(*)
Masa de 100 semillas	,194	-,235(*)
Longitud de la planta	-,013	-,078(*)
Porcentaje acumulado	74,4	100,0

\*=Mayor correlación absoluta entre cada variable y cualquier función discriminante.

Las dos primeras funciones discriminantes explicaron el 100 % de la variabilidad, siendo los caracteres: número de granos por mazorcas, número de granos por hileras, longitud de la mazorca, rendimiento por planta, e incidencia de Spodoptera frugiperda (Smith), con aporte positivo todos, los de mayor aporte a la explicación de la varianza en la Función I.

Los caracteres, número de hileras, diámetro del tallo, diámetro medio de la mazorca, masa de 100 semillas y longitud de la planta, con aporte negativo determinaron la conformación de la función II. El análisis dio como resultado diferencias significativas entre las dos funciones discriminantes.

A continuación se presenta la figura 11 que muestra la ubicación gráfica de las 106 accesiones evaluadas en las funciones discriminantes I y II, en base a los caracteres que tienen mayor contribución a la formación de las mismas.



NGM=número de granos por mazorca, NGH=número de granos por hileras, LM=longitud de la mazorca, R/P=Rendimiento por planta, ISF=incidencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith), NH=número de hileras, DT=diámetro del tallo, DMM=diámetro medio de la mazorca, M100S=masa de 100 semillas y LP=longitud de la planta.

Figura 11. Distribución gráfica de las 106 accesiones en las dos funciones discriminantes.

Las accesiones se agruparon atendiendo a las regiones de procedencia, formándose 3 grupos; un primer grupo (G-I) conformado por 61 de las 63 procedentes de la región occidental, quedando fuera de este, las accesiones 300 (variedad FELO) y 219 (línea Raúl) debido a que en el proceso de obtención de estas variedades fueron utilizadas accesiones de la región central como fuente principal de genes. El G-I se caracterizó por valores bajos de los caracteres en la función I y medios de los caracteres en la función II.

El grupo II (G-II) estuvo integrado por las accesiones de la región central más las accesiones 300, 219 (región occidental) y la 134 proveniente de la región oriental; se caracterizó por valores altos de los caracteres en la función I y bajos de los caracteres en la función II.

El grupo III estuvo conformado por 25 de las 26 accesiones de la región oriental; se caracterizó por valores altos de todos los caracteres. Este grupo constituye una importante fuente de genes para el mejoramiento genético, debido a que, tiene las accesiones de mayores rendimientos por planta, aunque presentó altos índices de afectación por *Spodoptera frugiperda* (Smith), en las condiciones y el ambiente en que fueron evaluadas. En este caso se recomienda evaluar el comportamiento, ante dicha plaga, de estas accesiones en su lugar de origen, donde, según los campesinos, tienen tolerancia a la incidencia de la plaga clave del maíz.

Goodman y Bird (1977), estudiaron la variabilidad entre 219 razas y subrazas de maíz de Latinoamérica, utilizando la taxonomía numérica sobre 20 caracteres morfoagronómicos y datos geográficos incluidos en catálogos de razas de maíz. Cuando consideraron todos los caracteres se formaron 14 grupos; al observar sólo ocho caracteres del grano (CG) y caracteres de mazorca (CM) encontraron que las razas, maíz reventador y el complejo Cuzco, quedaron bien separados de todas las otras razas, estas últimas formaron 19 grupos con poca sobreposición entre ellos.

Álvarez y Lasa (1990), encontraron resultados similares en 36 poblaciones de maíz colectadas al norte de España, evaluando 13 componentes del rendimiento. De esta evaluación se formaron 10 grupos diferentes; los análisis discriminantes revelaron que los caracteres del grano y caracteres de la mazorca constituyeron los de mayor importancia en esa clasificación, donde el 72,4% de la variación fue explicada por las dos primeras funciones canónicas. Llaurado y Moreno (1993), encontraron en maíces del noroeste de España que los caracteres con un mayor poder taxonómico o clasificatorio estaban relacionados con la precocidad y la altura de la planta, seguidos en orden de importancia por el cerrado de la mazorca y el color de los granos.

De las 106 accesiones evaluadas, 103 (97,2 %) se ubicaron en los grupos predefinidos inicialmente por la zona de procedencia demostrándose que las accesiones se agrupan según la zona de procedencia, basado en caracteres específicos que las identifican. Las accesiones provenientes de la región oriental y central, caracterizadas por valores altos de los caracteres de la función I, constituyen una fuente genética importante para ser utilizada en programas de mejoramiento.

#### 4.3. Evaluación de la calidad nutricional del grano de 50 accesiones de maíz.

En la tabla XII se muestran los resultados obtenidos al evaluar los caracteres relacionados con la calidad nutricional del maíz (contenido de minerales totales, grasa cruda, azúcares solubles, proteína, triptófano y lisina) en las 50 accesiones estudiadas.

El contenido de minerales totales de las accesiones evaluadas se ubicó en un rango de 1,15 a 1,63 %, el contenido de grasa cruda osciló entre 3,75 y 5,53 % y el de azúcares solubles fue desde 3,00 a 8,10 %. Estos niveles se encuentran en los rangos informados para variedades estándares y variedades de alta calidad proteica, que oscilan en el caso del contenido mineral total entre 0,80 y 1,70 %, en el contenido de grasa cruda entre 4,0 y 7,0 % y para el contenido de azúcares solubles entre 3,0 y 7,0 % (Méndez y col. 2005; Mendoza y col. 2006; ILSI, 2006; Raigón, 2007 y Sansano, 2008).

Tabla XII. Código, media, mínimo, máximo y contenido de minerales totales, grasa cruda, azúcares solubles, proteína, triptófano, lisina e Índice de Calidad del grano de las 50 accesiones evaluadas y los testigos utilizados.

Código	Minerales totales	Grasa cruda (%)	Azúcares solubles (%)	Proteína (%)	Lisina (%)	Triptófano (%)	Índice de calidad (%)*
Unidad de medida	g / 100 g de muestra	g / 100 g de muestra	g / 100 g de muestra	g / 100 g de	g / 100 g de	g / 100 g de muestra	Relación triptófano/proteína
Testigo Estándar	-	-	6,4	10,63	0,354	0,065	0,61
Testigo VACP	-	-	-	8,63	0,383	0,097	1,12
5	1,61	4,01	5,6	11,99	0,317	0,078	0,655
7	1,16	4,65	5,4	8,38	0,231	0,069	0,828
13	1,36	5,43	5,7	8,68	0,309	0,076	0,882
17	1,27	4,20	5,8	10,92	0,303	0,075	0,683
25	1,27	4,08	4,1	10,75	0,257	0,071	0,660
35	1,28	4,52	4,8	6,64	0,260	0,064	0,965
45	1,28	4,45	5,4	9,35	0,286	0,068	0,724
46	1,22	5,08	5,4	6,83	0,237	0,059	0,858
47	1,18	4,28	6,6	8,88	0,291	0,080	0,898
57	1,17	4,33	6,2	9,57	0,277	0,068	0,715
64	1,41	4,55	6,8	10,52	0,303	0,074	0,704
67	1,25	4,24	5,2	10,03	0,289	0,074	0,733
70	1,27	3,92	6,0	9,52	0,303	0,068	0,718
72	1,56	4,60	5,7	10,01	0,289	0,083	0,834
74	1,31	4,73	5,0	7,61	0,240	0,075	0,984
75	1,21	4,92	5,2	7,27	0,289	0,062	0,848
77	1,49	3,89	3,8	10,23	0,274	0,071	0,695
78	1,63	5,53	4,9	8,57	0,314	0,068	0,795
80	1,44	4,33	8,1	10,39	0,303	0,077	0,745
81	1,16	4,56	3,4	9,27	0,291	0,072	0,776
84	1,44	4,16	5,2	10,01	0,323	0,076	0,756
87	1,30	4,59	3,7	11,25	0,329	0,076	0,679
88	1,35	3,75	3,8	10,05	0,326	0,077	0,764
92	1,21	5,44	4,9	8,02	0,280	0,061	0,763
153	1,34	4,22	4,4	10,25	0,300	0,080	0,777
158	1,25	4,31	4,7	10,84	0,286	0,077	0,707
164	1,52	4,13	4,8	11,99	0,306	0,085	0,713
169	1,34	4,47	4,3	8,92	0,286	0,064	0,714
185	1,16	4,26	5,1	8,89	0,246	0,050	0,567
188	1,28	4,64	4,8	9,95	0,283	0,060	0,608
191	1,32	4,28	4,0	9,39	0,286	0,078	0,826
192	1,31	4,31	4,7	10,50	0,294	0,076	0,723
193	1,40	4,11	4,4	10,07	0,297	0,068	0,678

199	1,42	4,38	5,1	10,38	0,343	0,074	0,710
200	1,40	4,35	5,1	10,17	0,331	0,072	0,708
202	1,47	4,73	4,7	10,17	0,331	0,082	0,805
206	1,39	4,47	4,7	9,84	0,337	0,072	0,731
212	1,15	4,06	4,4	8,64	0,300	0,070	0,813
215	1,42	5,28	3,8	6,55	0,229	0,060	0,913
219	1,41	4,31	4,1	8,67	0,289	0,066	0,761
94	1,31	4,36	4,8	8,63	0,274	0,064	0,737
98	1,30	4,37	3,3	8,58	0,294	0,071	0,824
99	1,39	4,42	4,0	9,31	0,314	0,067	0,723
104	1,61	4,21	3,5	10,22	0,334	0,074	0,724
111	1,56	4,23	3,0	9,95	0,326	0,059	0,588
112	1,50	4,29	3,4	10,20	0,326	0,072	0,711
113	1,45	4,54	3,4	10,63	0,294	0,059	0,556
118	1,43	4,22	5,8	9,65	0,303	0,065	0,676
134	1,28	4,63	6,3	8,08	0,240	0,053	0,661
143	1,58	4,53	4,8	10,23	0,343	0,071	0,695
Media	1,36	4,45	4,84	9,51	0,294	0,070	0,746
Mínimo	1,15	3,75	3,00	6,55	0,229	0,05	0,556
Máximo	1,63	5,53	8,10	11,99	0,343	0,085	0,984

VACP=Variedad de Alta Calidad Proteica, \* Índice de Calidad (IC)= (100 \* % trp) /Proteína.

Con respecto al contenido de proteínas las accesiones evaluadas se ubicaron en un rango de 6,55 a 11,99 % coincidiendo con Sánchez y col. (2007), quienes plantearon que el grano de maíz estándar presenta un contenido de proteínas que varía de 7% a 12%, dependiendo del tipo de maíz, en general los de endospermo suave tienen menor contenido que los de endospermo duro.

Resultados similares informaron Cuevas y col. (2004), quienes describieron en su estudio que la proteína del grano del maíz oscila entre 9,1 y 13,1. En este mismo sentido Futa y col. (2003), encontraron que la proteína varió de 7,0 hasta 11,8 % entre híbridos de altos rendimientos y variedades de alta calidad nutricional.

Como se observa en la tabla XII, 17 (34 %) accesiones cubanas de maíz estándar mostraron datos similares e incluso menores numéricamente que la variedad de alta calidad nutricional utilizada como testigo (8,63 %); en contradicción, Wilson y col. (2004) y Siglo (2008), plantearon que el porcentaje de proteínas en los maíces de alta calidad proteica es generalmente inferior al de las variedades estándares.

Los valores del contenido de lisina se encontraron en el rango de los contenidos de las variedades estándares (0,26 g por 100 g de muestra) (Pellett y Ghosh, 2004 y Vivek y col. 2008).

Por su parte Cuevas y col. (2004), informaron que la lisina disponible entre maíces de alta calidad proteica varió de 0,42 a 0,57 %. En su caso Futa y col. (2003), concluyeron que los maíces de alta calidad proteica contienen entre 30 y 82 % más de lisina que el maíz estándar, así mismo, valores más altos de arginina, triptófano, histidina, treonina, cisteína y valina.

En cuanto al contenido de triptófano, 38 de las accesiones evaluadas, mostraron valores numéricos iguales o mayores a la variedad estándar utilizada como testigo, lo que representó el 76 % del total de las accesiones (50). Los valores de triptófano que como media presentó la colección estudiada (0,070 %), fueron relativamente altos comparados con los resultados obtenidos por Mendoza y col. (2006), quienes al evaluar poblaciones de maíz estándar obtuvieron contenidos de triptófano que oscilaron entre 0,041 % y 0,044 %. Igualmente Vivek y col. (2008), plantearon que las variedades estándares de maíz tienen un contenido de triptófano de alrededor de 0,040 % y que las variedades de alta calidad proteica tienen 0,09 % como promedio.

Al respecto Poey (1978), encontró 0,085 g de triptófano por cada 100 g de muestra en variedades de alta calidad proteica y 0,045 en el testigo estándar utilizado en su estudio. Por su parte Bantte y Prasanna, (2004), informaron que las accesiones de alta calidad nutricional tuvieron mayor contenido de triptófano y que existieron diferencias significativas entre la variedad de alta calidad nutricional y el maíz estándar en cuanto al contenido de ese aminoácido.

En los resultados obtenidos de este trabajo, se observó que 48 de las 50 accesiones evaluadas (96 %), presentaron valores mayores o iguales que la variedad estándar (0,059 %) utilizada por Corpoica, (2008); únicamente dos accesiones cubanas, la 29 (0,050 %) y la 49 (0,053 %) tuvieron contenidos de triptófano menores.

Este resultado es muy relevante, dado que el porcentaje de triptófano influye directamente en la calidad de la proteína del grano de maíz. Según Siglo (2008), es

el triptófano, no la lisina, el principal aminoácido limitante de la calidad de las proteínas del maíz. Sin embargo, un gran número de investigadores han coincidido en que el incremento simultáneo de lisina y triptófano mejora considerablemente la calidad de las proteínas del maíz, como se ha demostrado experimentalmente con animales.

El Índice de Calidad (IC), se mostró relativamente alto en 37 de las 50 accesiones evaluadas (74 %). En estas accesiones el IC siempre tuvo valores mayores que 0,70 y llegó en el caso de la accesión 15, a un valor de 0,984. Los valores del índice de calidad relativamente altos, se deben principalmente al elevado contenido de triptófano que poseen estas accesiones.

Al comparar estos resultados con los obtenidos por Corpoica (2008), al evaluar una colección de maíz en Colombia, se puede observar que todas las accesiones cubanas evaluadas, tuvieron un índice de calidad numéricamente mayor al de la variedad estándar utilizada por el autor (ICA V-109), que mostró un IC de 0,52. También es importante destacar, que seis de las accesiones cubanas que integran este trabajo, tuvieron valores similares o mayores, en cuanto al índice de calidad, que los del grano comercial de la variedad de alta calidad proteica evaluada por Corpoica (2008), que mostró un IC=0,85. Dichas accesiones fueron: la 13 (P 2284, procedente del INIFAT) con un IC=0,882, la 35 (P 3014, procedente del INIFAT) con IC=0,965, la 46 (Criollo, procedente de La Palma) con IC=0,858, la 47 (Criollo, procedente de La Palma) con IC=0,898, la 74 (Criollo, procedente de Catalina de Güines) IC=0,984 y la 215 (Argentino con TGH, procedente de Remedios) con un IC=0,913.

El alto contenido de triptófano e índice de calidad encontrados en la muestra analizada, pudiera indicar una mejor proporción entre las proteínas llamadas “no zeínas” y las “zeínas”; o sea, en el maíz estándar, las proporciones de proteína de almacenamiento del endospermo como promedio son: albúminas (3%), globulinas (3%), zeínas (60%) y glutelinas (34%) (Prasanna y col. 2001); las llamadas “zeínas” (Esen y Stetler, 1987), presentan cuatro tipos estructurales distintos: alfa, beta, delta

y gama que son solubles en alcohol, se caracterizan por un volumen alto de glutamina, leucina y prolina; y están esencialmente desprovistas de lisina y triptófano (Nelson, 1969), debido a esto, diluyen la contribución de estos aminoácidos esenciales, provenientes de otros tipos de proteínas del endospermo, llamadas colectivamente “no zeínas”. El fragmento de “no-zeínas” contiene además enzimas, polipéptidos estructurales y proteínas asociadas a la membrana (Habben, 1995).

Todas las proteínas, consideradas “no zeínas”, tienen un contenido equilibrado de aminoácidos y tienen elevado contenido de lisina y triptófano. La disminución de la fracción de “zeínas”, deficiente de lisina y triptófano, sin alterar la contribución de otros fragmentos, es una estrategia factible para mejorar el balance de aminoácidos en el grano de maíz (Prasanna y col. 2001).

En 1963 se descubrió una mutación natural, designada Opaco-2 (o2o2), la cual provocó que las proteínas del endospermo del grano de maíz fueran casi dos veces más nutritivas que las del maíz estándar, debido a un aumento en la proporción de proteínas “no-zeínas”.

El mutante o2o2 tuvo un buen contenido de los dos aminoácidos esenciales, pero presentó efectos pleiotrópicos indeseables manifestados en la forma suave del endospermo, mayor susceptibilidad a plagas y enfermedades fungosas y reducción en el rendimiento de grano (Esen y Stetler, 1987 y Shewry y Thatam, 1990). Los granos de maíz de las accesiones cubanas, no presentan el genotipo o2o2, porque al ser observados en una mesa de luz no son opacos (Vivek y col. 2008); además, las características indeseables antes mencionadas, no se presentan en las accesiones cubanas de maíz evaluadas y la procedencia de las mismas es diversa; provienen tanto de la región occidental, central como de la oriental, por lo que no debe ser una mutación la causa de los altos índices de calidad de dichas accesiones.

Una posible causa del alto índice de calidad encontrado en las accesiones cubanas de maíz evaluadas, pudiera ser la presencia de un embrión de mayor tamaño, dado que las proteínas del embrión son de mejor calidad nutricional (Vivek y col. 2008), que las proteínas del endospermo y están constituidas principalmente por albúminas

y globulinas con un buen balance de aminoácidos. El embrión del maíz constituye aproximadamente del 10 al 14% en masa del grano y es un componente con un alto contenido de grasa (15 a 30%), proteína (10 a 18%) y sales minerales (Blessin e Inglett, 1979 y De la Torre, 1986).

Se ha establecido que los niveles de nitrógeno en el suelo pueden afectar directamente el contenido de proteínas del grano de maíz (Pierre y col. 1977 en Kniep y Mason, 1991 y Raigón, 2007); en este sentido Cromwell y col. (1983), encontraron que ocurría un incremento lineal en el contenido de proteínas y lisina en variedades de maíz de alta calidad nutricional a medida que se incrementaba la fertilización con nitrógeno.

Zepeda-Bautista y col. (2009), encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre híbridos y dosis de nitrógeno para el porcentaje de proteína, y entre híbridos para el porcentaje de triptófano en proteína; el efecto de la fertirrigación con nitrógeno favoreció su absorción y asimilación por la planta para finalmente concentrarse en el grano (Marschner, 1995; Zepeda y col. 2007), en consecuencia se aumentó el contenido de proteína. La fertilización con nitrógeno no tuvo efecto significativo ( $p > 0.05$ ) en el porcentaje de triptófano expresado en proteína; así, aumentó la proteína y se mantuvo sin cambios significativos el triptófano; Según Tsai y col. (1983), esto sugiere que la fracción que aumentó significativamente fue la zeína y no hubo un aumento significativo de la fracción no zeína.

Las accesiones estudiadas en el presente trabajo, fueron cultivadas sin la aplicación de fertilizantes nitrogenados, sin embargo, el área en que se realizó la siembra, fue parte de un sistema de rotación con frijol o soya, cultivos que fijan nitrógeno atmosférico al suelo, donde se aplican fertilizantes orgánicos; además, durante el ciclo del cultivo no se presentaron síntomas visibles de deficiencia de nitrógeno, los cuales se muestran con una clorosis marcada en las hojas mas viejas de las plantas, que se encuentran ubicadas debajo de la mazorca principal, las cuales, si la deficiencia es severa, llegan a secarse prematuramente (Hirzel, Rodríguez y Zagal, 2004) y los contenidos de proteína y lisina (influenciados por la fertilización

nitrogenada) se encuentran en el rango de variedades estándares de maíz, por tanto, los altos contenidos de triptófano, encontrados en las accesiones evaluadas, no son producto de las condiciones de cultivo.

Hasta la actualidad, no se han identificado variedades de maíz de alta calidad nutricional, sin la presencia del gen *o2o2*; los incrementos significativos del contenido de lisina y triptófano, se han asociado hasta el presente, al efecto del mencionado gen mutante (Paes y Bicudo, 1994; Morales, 2002; Montaner, 2003; Poehlman y Allen, 2003; De Groote y col. 2006; Mendoza y col. 2006 y Vivek y col. 2008); sin embargo, un grupo de accesiones cubanas de maíz, estudiadas en el presente trabajo, mostraron elevados contenidos de triptófano y altos índices de calidad sin la presencia del gen *o2o2*.

Según Bressani (1992), incrementando la concentración de lisina y triptófano en el endospermo del grano, se puede duplicar el valor biológico de la proteína del maíz. El valor biológico de la proteína se estima basado en la fracción del nitrógeno absorbido que es retenido por el organismo para su mantenimiento y crecimiento (Vivek y col. 2008). Por tanto, el elevado IC, basado en el contenido de triptófano de varias accesiones cubanas de maíz, suministradas adecuadamente en dietas balanceadas, podría contribuir positivamente al estado nutricional de la población cubana, ya sea a través de su consumo directo, como indirectamente, al ser utilizadas en la alimentación animal.

La tabla XIII muestra el contenido de zinc, hierro, sodio, calcio, fósforo, magnesio y potasio evaluados en las 50 accesiones estudiadas.

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

Código	Zn (mg/100g)	Fe (mg/100g)	Na (mg/100g)	Ca (mg/100g)	P (mg/100g)	Mg (mg/100g)	K (mg/100g)
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.

El contenido de fósforo (P) en los granos de las accesiones estudiadas, estuvo entre 205,64 mg/100 g y 375,72 mg/100 g, siendo las concentraciones de este elemento altas ( $X = 295,19$  mg/100 g) comparadas con las encontradas por Elmadfa, Fritzsche y Diedrich, (1998) de 256 mg/100 g. Bauernfeind y DeRitter (1991), que

informaron valores de fósforo en granos completos de maíz de 310,0 mg/100 g de muestra.

Hussaini y col. (2008), al efectuar fertirriego con nitrógeno y fósforo, encontraron niveles de fósforo en el grano que oscilaban entre 240 mg/100 g y 330 mg/100 g. Feil y col. (2005) encontraron concentraciones de este mineral en granos de maíz que oscilaron entre 306,0 mg/100 g y 368,0 mg/100 g. La concentración de fósforo, en los granos de maíz, es influenciada por las aportaciones de fertilizantes fosforados al suelo (Raigón, 2007).

El contenido de calcio (Ca) estuvo en un rango comprendido entre los 24,15 mg/100 g y los 64,54 mg/100 g de muestra, estas concentraciones son altas ( $X = 42,99$  mg/100 g) comparado con los informados por Elmadfa, Fritzsche y Diedrich (1998) y Bauernfeind y DeRitter (1991) quienes obtuvieron resultados de 30,80 mg/100g de calcio en granos de maíz. Hussaini y col. (2008), informaron valores de calcio en grano de maíz en el rango que va desde 24,0 hasta 39,0 mg/100 g. También Feil y col. (2005) hallaron concentraciones bajas de este mineral en granos de maíz, al informar niveles de 12,9 mg/100 g y 14,7 mg/100 g. El calcio favorece la elaboración de algunos productos derivados del maíz para el consumo humano (Raigón, 2007), constituyendo un valor añadido. Los altos contenidos de este elemento están influenciados por los también altos contenidos (Salgado y col. 2006) que tiene el suelo donde fueron cultivadas las accesiones de maíz evaluadas, 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 mg/100 g y 88,37 mg/100 g de muestra, con una media  $X = 57,33$  mg/100 g; siendo inferiores a lo encontrado por Hussaini y col. (2008), quienes informaron concentraciones de este mineral en granos de maíz, que oscilaron entre 99,0 mg/100g y 281,0 mg/100g. Además, Feil y col. (2005) encontraron contenidos de magnesio entre 106 mg/100 g y 126 mg/100 g. Los bajos contenidos de estos elementos pudieran estar influenciados por las concentraciones de este nutriente en el suelo.

Los niveles de potasio (K) oscilaron entre 112,45 mg/100 g y 328,61 mg/100 g de muestra en las accesiones cubanas evaluadas; resultados bajos ( $X = 214,36$  mg/100 g) comparados con los obtenidos por Feil y col. (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/100g. Hussaini y col. (2008), al evaluar la concentración mineral en periodo seco, encontraron valores de 340,0 mg/100 g a 360,0 mg/100 g. En contradicción con estos contenidos bajos en el grano de maíz, el suelo donde fueron cultivados presentó alta concentración de este elemento (Salgado y col. 2006).

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

Los niveles de hierro (Fe) quedaron ubicados en el rango comprendido entre 0,40 mg/100 g y 3,91 mg/100 g de muestra, con una media de 1,27 mg/100 g, coincidiendo con los estándares medios informados por Elmadfa, Fritzsche y Diedrich, (1998).

Las concentraciones de zinc (Zn), en las accesiones evaluadas, tuvo una media de 2,36 mg/100g) y osciló entre los 1,40 mg/100 g y los 5,69 mg/100 g; resultados que coinciden con los obtenidos por Feil y col. (2005) quienes al evaluar la composición mineral de maíces tropicales encontraron concentraciones en un rango de 2,18 mg/100 g a 2,40 mg/100 g.

En resumen 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 (Raigón, 2007), por lo que las concentraciones de estos elementos pueden ser variables dependiendo del tipo de suelo, de la fertilidad del mismo y las condiciones de cultivo. Por tanto, se recomienda realizar un estudio sobre la variabilidad de las concentraciones de estos elementos en el maíz en Cuba.

La tabla XIV muestra la matriz de funciones discriminantes conformada a partir del análisis discriminante de los caracteres cuantitativos evaluados en la colección integrada por las 50 accesiones evaluadas nutricionalmente, utilizando como factor discriminante la calidad nutricional de las accesiones.

Tabla XIV. Contribución de los caracteres evaluados a la variabilidad de las 50 accesiones evaluadas nutricionalmente en cada función discriminante.

Caracteres	Función	
	I	II
Contenido de triptófano	,488(*)	-,153
Número de granos por hileras	-,177(*)	-,098
Rendimiento por planta	-,174(*)	-,135
Contenido de potasio	,136(*)	,044
Contenido de calcio	-,128(*)	,049
Longitud de la mazorca	-,110(*)	-,110
Azúcares solubles	,102(*)	-,081
Contenido de sodio	-,089(*)	-,053
Contenido de lisina	,087(*)	,007
Contenido de hierro	-,080(*)	-,063
Diámetro del tallo	,072(*)	-,033
Índice de calidad	,113	-,349(*)
Contenido de magnesio	,101	-,263(*)
Contenido de proteína	,200	,261(*)
Longitud de la planta	,089	,239(*)
Diámetro medio de la mazorca	,140	,202(*)
Contenido de fósforo	-,009	,194(*)
Contenido de zinc	-,026	,148(*)
Masa de 100 semillas	-,131	-,134(*)
Incidencia de <i>Spodoptera frugiperda</i> (Smith)	-,048	-,121(*)
Porcentaje acumulado	83,3	100,0

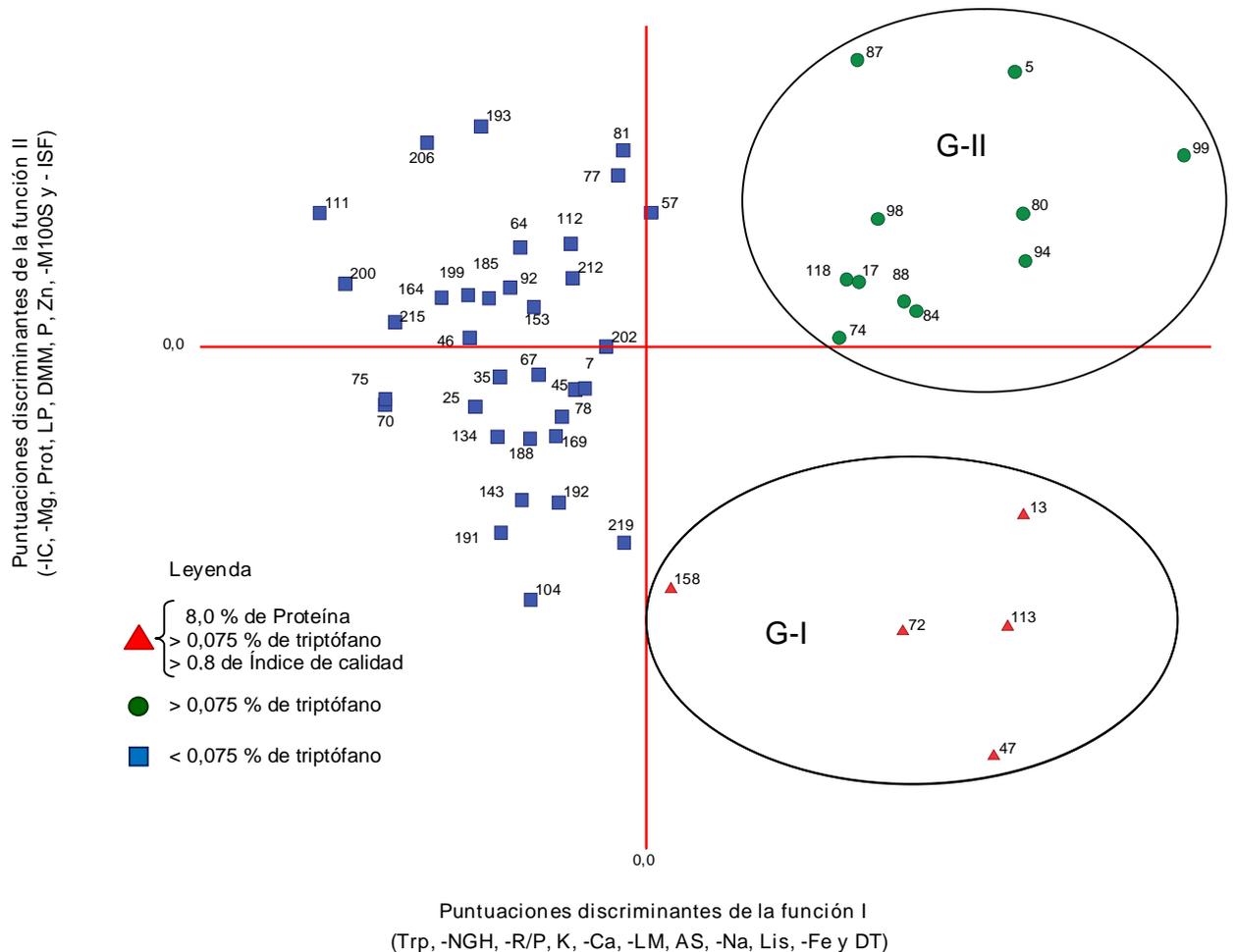
\*=Mayor correlación absoluta entre cada variable y cualquier función discriminante.

Con las dos primeras funciones discriminantes se explicó el 100 % de la variabilidad total, siendo los caracteres: contenido de triptófano, azúcares solubles y diámetro del tallo; con aporte positivo y número de granos por hileras, rendimiento por planta, contenido de potasio, contenido de calcio, longitud de la mazorca, contenido de sodio, contenido de lisina y contenido de hierro con aporte negativo, los que contribuyeron a la explicación de la varianza en la Función I.

Los caracteres, índice de calidad, contenido de magnesio, masa de 100 semillas e incidencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith); con aporte negativo y contenido de proteína, longitud de la planta, diámetro medio de la mazorca, contenido de fósforo y contenido de zinc; con aporte positivo los que determinaron la conformación de la función II. El análisis dio como resultado diferencias significativas entre las dos funciones discriminantes.

A continuación se presenta la figura 12, que muestra la ubicación gráfica de las 50 accesiones evaluadas nutricionalmente en las funciones discriminantes I y II, en base a los caracteres que tuvieron mayor contribución a la formación de las mismas.

Las accesiones se agruparon atendiendo a los niveles de calidad nutricional preestablecidos, formándose dos grupos definidos y el resto de las accesiones se ubicaron de forma dispersa. En el primer grupo (G-I) se ubicaron 5 accesiones (figura 12) que presentaron, dentro de las 50 accesiones, los mayores contenidos de triptófano, potasio, azúcares solubles, lisina, magnesio, índice de calidad proteica, diámetro del tallo, masa de 100 semillas e incidencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith); y los menores contenidos de proteína, calcio, sodio, hierro, fósforo, zinc, número de granos por hileras, rendimiento por planta, longitud de la mazorca, longitud de la planta y diámetro medio de la mazorca.



Trp=contenido de triptófano, NGH=número de granos por hileras, R/P=Rendimiento por planta, K=contenido de potasio, Ca=contenido de calcio, Lis=contenido de lisina, Fe=contenido de Hierro, DT=diámetro del tallo, IC=índice de calidad, Mg=contenido de magnesio, Prot=contenido de proteínas, LP=longitud de la planta, DMM=diámetro medio de la mazorca, P=contenido de fósforo, Zn=contenido de zinc, M100S=masa de 100 semillas ISF=incidencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith) y R/P=rendimiento por planta.

Figura 12. Distribución gráfica de las 106 accesiones en las dos funciones discriminantes.

El segundo grupo (G-II), conformado por 11 accesiones (figura 12), se caracterizó por presentar los mayores contenidos de triptófano, potasio, azúcares solubles, lisina, proteína, fósforo, zinc, diámetro del tallo, longitud de la planta y diámetro medio de la mazorca; presentando los menores índice de calidad proteica, contenido de magnesio, calcio, sodio, hierro, número de granos por hileras, rendimiento por planta, longitud de la mazorca, masa de 100 semillas e incidencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith).

El resto de las accesiones, generalmente se caracterizaron por alto número de granos por hileras, rendimiento por planta, longitud de la mazorca, contenido de calcio, sodio y hierro, siendo bajo el contenido de triptófano, potasio, azúcares solubles, lisina y el diámetro del tallo, caracteres que forman la función I; mientras que en la función II se encuentran dispersos.

Es importante destacar que en los grupos I y II se encontró una fuente de genes favorables respecto a la calidad proteica del maíz, debido a que, estos presentaron, relativamente, los mayores niveles de lisina y triptófano dentro de la colección estudiada, aminoácidos esenciales que se encuentran deficientes en las variedades estándares de maíz. Además el grupo I tuvo los mayores índice de calidad, aunque mostró, alta incidencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith) y los menores rendimientos por planta, coincidiendo con lo planteado por (Esen y Stetler, 1987; Shewry y Thatam, 1990 Prasanna y col. 2001 y Vivek y col. 2008) quienes plantean que la calidad nutricional del maíz contrasta con los altos rendimientos y la tolerancia a plagas y enfermedades, dado esto es de vital importancia tener en cuenta estos criterios en futuros programas de mejoras que tengan como objetivo mejorar la calidad proteica del maíz en Cuba.

#### 4.4. Estudio de las asociaciones entre caracteres

##### Ü Asociaciones entre los caracteres morfoagronómicos evaluados

La selección de los caracteres cuantitativos más adecuados para la clasificación morfoagronómica es importante; aunque algunos autores señalan que los datos morfoagronómicos pueden tener una precisión taxonómica limitada, debido a la interacción ambiental y al desconocimiento de los mecanismos genéticos que controlan esos caracteres (Camussi, Spagnoletti y Melchiorre, 1983).

Smith y Smith (1989), sugirieron que los caracteres morfoagronómicos 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.

La tabla XV muestra las correlaciones de Pearson (r) existentes entre los caracteres morfoagronómicos evaluados en la colección general. El carácter número de granos por hileras tuvo correlaciones positivas y altamente significativas con los caracteres número de granos por mazorcas, longitud de la mazorca, masa de 100 semillas y número de hileras.

Tabla XV. Correlaciones fenotípicas de los caracteres morfoagronómicos evaluados en la Colección general, atendiendo al coeficiente de correlación de Pearson.

	NGH	NH	M100S	LM	DMM	NGM	DT	AMS	LP
NH	,343(**)	1							
M100S	<u>,572(**)</u>	<u>,560(**)</u>	1						
LM	<u>,720(**)</u>	<u>,790(**)</u>	<u>,721(**)</u>	1					
DMM	,172	,485(**)	,156	,403(**)	1				
NGM	<u>,911(**)</u>	<u>,698(**)</u>	<u>,671(**)</u>	<u>,885(**)</u>	,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(**)	<u>,800(**)</u>	1
ISF	,028	-,031	-,254(**)	,080	-,064	-,001	-,464(**)	<u>-,669(**)</u>	-,471(**)

\*\* = (p < 0,01), \* = (p < 0,05). 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, ISF=incidencia de Spodoptera frugiperda (Smith) y NGH=número de granos por hileras.

Estas correlaciones son importantes, dado que estos caracteres influyen directamente sobre el rendimiento del maíz y son además caracteres utilizados frecuentemente por investigadores y campesinos para seleccionar las accesiones de interés para ellos (Acosta y col. 2007). Los campesinos generalmente no utilizan la masa de 100 semillas como criterio directo de selección, aunque al usar otros caracteres, correlacionados con este, indirectamente influyen sobre la masa de 100 semillas.

Smith y Smith (1989), mencionaron 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, número de hojas con número de nudos y longitud de la planta con altura de la mazorca superior.

De acuerdo con estos autores, algunos de los caracteres correlacionados podrían ser descartados, mientras que otras correlaciones podrían ser dependientes de un germoplasma base particular y del proceso evolutivo en ese germoplasma. Caracteres como el diámetro de la mazorca y el número de hileras o la longitud de la mazorca y el número de granos por hileras están altamente correlacionados por estar midiendo el mismo carácter.

Refiriéndose al número de hileras, en este grupo se encontraron que además de la correlación mencionada con el NGH, presentó también correlaciones positivas y altamente significativas con los caracteres M100S, LM, NGM, diámetro medio de la mazorca y diámetro del tallo.

La masa de 100 semillas, al margen de las correlaciones ya mencionadas con NGH y NH; tuvo correlaciones positivas y altamente significativas con LM y NGM y positivas y significativas con DT. Además tuvo correlación negativa y altamente significativa con la Incidencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith); lo que permite plantear que, en esta colección, existe una tendencia hacia que, granos mas pequeños pueden ser más afectados por esta plaga.

Es importante destacar que existió una tendencia hacia que una mayor afectación por esta plaga implica una disminución en la masa de los granos de este cultivo, aunque esta correlación es moderada y biológicamente no resultó relevante.

En esta colección el carácter longitud de la mazorca tuvo las correlaciones ya mencionadas con NGH, NH y M100S y al mismo tiempo presentó correlación negativa y altamente significativa con la longitud de la planta. Asimismo, tuvo correlaciones positivas y altamente significativas con DMM y NGM. Se evidenció que un aumento en la longitud de la mazorca implica un incremento en el número de granos de la mazorca, en el número de hileras y en la masa de los granos, trayendo consigo un aumento en el rendimiento del maíz, en la colección estudiada.

El diámetro medio de la mazorca en la colección general tuvo, aparte de las correlaciones ya mencionadas con NH y LM, correlaciones positivas y altamente significativas con NGM y DT. Finalmente tuvo correlaciones positivas y significativas con la longitud de la planta y con la altura a la mazorca superior coincidiendo con Ligarreto, Ballén y Huertas, (1998) quienes encontraron esta misma correlación entre accesiones andinas de maíz.

El número de granos por mazorca presentó las correlaciones ya mencionadas con anterioridad con NGH, NH, M100S, LM y con DMM; positiva y altamente significativa con los cuatro primeros caracteres y negativa y altamente significativa con DMM.

Asimismo, el diámetro del tallo, en esta colección general, tuvo correlaciones positivas y altamente significativas con los caracteres AMS, LP y negativa y altamente significativa con ISF; además de las ya referidas con NH, M100S y DMM. Nuevamente la Incidencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith) influyó de manera negativa en el diámetro del tallo. Es bueno destacar que las plantas más altas tuvieron un tallo más grueso, aspecto que brinda mayor resistencia al acame producto de los vientos. Wong y col. (2006), encontraron correlaciones entre la producción de tallo (referido al diámetro del tallo y a su longitud) y la producción de la mazorca (referido a longitud y grosor de la mazorca, así como a la masa de los granos) al evaluar poblaciones de maíz para uso forrajero.

El carácter altura a la mazorca superior mostró correlación positiva y altamente significativa con la longitud de la planta y tuvo correlación negativa y altamente significativa con ISF. También presentó las correlaciones antes descritas con DMM y DT.

Finalmente la longitud de la planta presentó las correlaciones ya señaladas con LM, DMM, DT y AMS y correlación negativa y altamente significativa con ISF.

Según la clasificación propuesta por Ortiz (1982), sobre el valor del coeficiente de correlación de Pearson ( $r$ ), se debe resaltar como las asociaciones de mayor relevancia entre los caracteres morfoagronómicos, las correlaciones muy fuertes y significativas, y fuertes y significativas encontradas (tabla XVI). El resto de las

correlaciones se ubicaron entre los rangos de débil a moderadamente fuerte, las que, aunque estadísticamente fueron significativas, desde el punto de vista biológico no son importantes.

Tabla XVI. Coeficientes de correlación clasificados como muy fuerte y fuerte.

Caracteres correlacionados		Clasificación	Rango del valor r
Número de granos por hileras	Longitud de la mazorca Número de granos por mazorca		
Longitud de la mazorca	Número de hileras Masa de 100 semillas Número de granos por mazorca	Muy fuerte	0,701
Altura a la mazorca superior	Longitud de la planta		
Masa de 100 semillas	Número de granos por hileras Número de hileras Número de granos por mazorca		
Número de hileras	Número de granos por mazorca Diámetro del tallo	Fuerte	0,501 – 0,700
Altura a la mazorca superior	Incidencia de <i>Spodoptera frugiperda</i> (Smith)		

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

De manera general se destacó la influencia negativa que tuvo la incidencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith), sobre la altura a la mazorca superior (AMS) y que indirectamente está reduciendo la longitud de la planta (LP), pues estuvo correlacionada con ella.

Falconer (1978), señaló que los caracteres altamente correlacionados son de interés por tres razones: 1) en conexión con las causas genéticas de correlación a través de la acción pleiotrópica de los genes, 2) en conexión con los cambios producidos por la selección; el mejoramiento de un carácter puede causar cambios simultáneos en otros caracteres y 3) 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.

Alfaro y Segovia (2000), encontraron correlaciones entre longitud de la planta y altura a la mazorca superior, longitud de la mazorca y número de granos por hileras y número de hileras y diámetro de la mazorca, las cuales son las más frecuentes en el cultivo, Coincidiendo con los resultados obtenidos en el presente trabajo.

Ü Asociaciones entre los caracteres de calidad nutricional evaluados.

La tabla XVII muestra las correlaciones de Pearson (r) existentes entre los caracteres de calidad nutricional evaluados a la colección.

Tabla XVII. Correlaciones Fenotípicas de los caracteres de calidad nutricional evaluados.

	Prot	Trip	IC	Lis	AS	MT	GC	Zn	Fe	Na	Ca	P	Mg
Trip	<u>.554(**)</u>	1											
IC	<u>-.643(**)</u>	,270	1										
Lis	<u>.611(**)</u>	<u>.471(**)</u>	-.295(*)	1									
AS	-.020	,114	,114	-.137	1								
MT	,410(**)	,269	-.201	,540(**)	-.165	1							
GC	<u>-.565(**)</u>	-.278	<u>.409(**)</u>	-.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	<u>.431(**)</u>	,289(*)	,339(*)	1		
P	,075	-.020	-.110	-.033	-.128	,048	-.093	<u>.490(**)</u>	<u>.499(**)</u>	,121	,359(*)	1	
Mg	,135	,160	-.037	,048	-.109	,084	-.162	,278	,291(*)	,222	,234	<u>.409(**)</u>	1
K	,146	,153	-.021	-.002	,189	,045	-.076	,133	,185	-.033	,097	<u>.509(**)</u>	<u>.396(**)</u>

\*\* = (p < 0,01), \* = (p < 0,05). Prot=proteína, Trip=triptófano, IC=índice de calidad, Lis=lisina, AS=azúcares solubles, MT=minerales totales, GC=grasa cruda, Zn=zinc, Fe=hierro, Na=sodio, Ca=calcio, P=fósforo, Mg=magnesio y K=potasio.

Dentro de las asociaciones es importante destacar, que los dos aminoácidos esenciales que determinan la calidad proteica del maíz, tuvieron correlación moderadamente fuerte, positiva y altamente significativa entre sí; como consecuencia, el aumento en el contenido de lisina significa un aumento del contenido de triptófano y viceversa.

El contenido de proteínas, mostró correlación moderadamente fuerte, positiva y altamente significativa con el contenido de lisina y con el contenido de triptófano, de forma tal que un aumento en el porcentaje de proteína implica también un aumento en el contenido de lisina y triptófano, en el grupo de 50 accesiones evaluadas. Está es una correlación de vital importancia, dado que los caracteres que definen la calidad nutricional del maíz están positivamente asociados entre sí.

También se debe destacar la correlación moderadamente fuerte, negativa y altamente significativa que se manifestó entre el contenido de grasa cruda y el contenido de proteínas.

El contenido de fósforo correlacionó significativamente y moderadamente fuerte con los caracteres: contenidos de zinc, Hierro, magnesio, calcio y potasio.

Las correlaciones que se manifestaron en la colección 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 los grupos evaluados.

Ü Asociaciones entre los caracteres morfoagronómicos y de calidad nutricional evaluados.

La tabla XVIII muestra las correlaciones de Pearson ( $r$ ) existentes entre los caracteres morfoagronómicos y los caracteres de calidad nutricional 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 los caracteres morfoagronómicos y de calidad nutricional, 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.

Tabla XVIII. Correlaciones fenotípicas de los caracteres morfoagronómicos y de calidad nutricional evaluados.

	NGH	NH	M100S	LM	DMM	NGM	DT	AMS	LP	NMP	ISF
Prot	-,107	-,102	-,121	-,053	,000	-,114	,002	,183	,202	-,249	,068
Trip	-,253	-,408(**)	-,180	-,288(*)	,183	-,361(*)	-,111	-,102	,014	-,064	,060
IC	-,139	-,271	-,059	-,245	,148	-,229	-,084	-,312(*)	-,207	,254	-,031
LIS	,167	-,259	-,062	,044	,156	,051	-,352(*)	,160	,062	-,288(*)	,165
AS	-,440(**)	-,223	-,112	-,297(*)	-,019	-,460 (**)	,204	-,132	,037	,132	-,099
MT	,283(*)	-,163	,118	,011	,138	,189	-,139	,352(*)	,240	-,317(*)	-,139
GC	,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

\*\* = (p < 0,01), \* = (p < 0,05). Prot=proteína, Trip=triptófano, IC=índice de calidad, Lis=lisina, AS=azúcares solubles, MT=minerales totales, GC=grasa cruda, Zn=zinc, Fe=hierro, Na=sodio, Ca=calcio, P=fósforo, Mg=magnesio y K=potasio.

Las asociaciones a destacar, en este caso, fueron las que mostraron moderadamente fuerte el número de hileras con el contenido de triptófano de manera negativa y con el contenido de sodio positivamente, en esencia, un aumento en el número de hileras, para este grupo de accesiones, constituye una disminución en el contenido de triptófano y un posible aumento del contenido de sodio.

En el caso del contenido de triptófano (Trp), existió una correlación moderadamente fuerte y negativa con el número de granos por mazorca. Este aspecto es importante debido a que con regularidad los campesinos tienen una tendencia a seleccionar accesiones que tengan un mayor número de granos y pueden estar indirectamente seleccionando negativamente para la calidad nutricional. De igual manera ocurre en la correlación que existió entre el contenido de azúcares solubles y la longitud de la mazorca y el número de granos por mazorca.

#### 4.5. Selección de posibles progenitores

Dentro de las 50 accesiones evaluadas, cinco superaron los indicadores de calidad nutricional, establecidos por Vivek y col. (2008), para ser utilizadas en programas de mejoras destinados a la calidad proteica del maíz (Tabla XIX): la accesión 13 con 8,68 % de proteína, 0,076 % de triptófano y un índice de calidad de 0,882 %; la accesión 47 con 8,88 %, 0,080 % y 0,898 % respectivamente; la accesión 72 que presentó 10,01 % de proteína, 0,083 % de triptófano y 0,834 % de índice de calidad; la accesión 113 con datos de 9,39 %, 0,078 y 0,826 % respectivamente y por último la accesión 158 que tuvo un 10,17 % de proteína, 0,082 % de triptófano y un índice de calidad de 0,805.

Tabla XIX. Accesiones que superaron los límites establecidos por Vivek y col. (2008) para ser utilizadas en programas de mejoras destinados a la calidad proteica del maíz.

Accesión	Proteína (%)	Triptófano (%)	Índice de Calidad	Procedencia
47	8,9	0,080	0,90	La Palma
13	8,7	0,076	0,88	INIFAT
72	10,0	0,083	0,83	Catalina de Güines
113	9,4	0,078	0,83	Santiago de Cuba
158	10,2	0,082	0,81	Corralillo
Límite	8,0	0,075	0,80	

INIFAT=Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical

Además de las antes mencionadas, hubo 11 accesiones que superaron dos de los requisitos establecidos (tabla XX), de las cuales 10 presentaron contenidos de proteína y triptófano mayores que los límites, aunque su índice de calidad fue inferior y una (accesión 74), tuvo elevado contenido de triptófano e índice de calidad, siendo inferior en el contenido de proteínas. Este grupo de accesiones constituyen también una importante fuente genes a utilizar en programas de mejora destinados a la calidad proteica del grano de maíz.

Tabla XX. Accesiones que superaron dos de los límites establecidos por Vivek y col. (2008) para ser utilizadas en programas de mejoras destinados a la calidad proteica del maíz.

Accesión	Proteína (%)	Triptófano (%)	Índice de Calidad	Procedencia
74	7,609	0,075	0,984	Catalina de Güines
94	10,249	0,080	0,777	Manzanillo
88	10,050	0,077	0,764	Catalina de Güines
84	10,010	0,076	0,756	Catalina de Güines
80	10,390	0,077	0,745	Catalina de Güines
118	10,501	0,076	0,723	Ventas de Casanova
99	11,990	0,085	0,713	Ventas de Casanova
98	10,838	0,077	0,707	Ventas de Casanova
17	10,920	0,075	0,683	INIFAT
87	11,250	0,076	0,679	Catalina de Güines
5	11,990	0,078	0,655	INIFAT
<b>Límite</b>	<b>8,000</b>	<b>0,075</b>	<b>0,800</b>	

INIFAT=Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical

Dado estos resultados, se recomienda utilizar estas 16 accesiones como posibles progenitores en futuros programas de mejoramiento genético para la mejora de la calidad nutricional del maíz en Cuba. De las accesiones seleccionadas anteriormente, tres proceden del INIFAT, 12 son accesiones criollas colectadas en fincas de campesinos cubanos, mientras que la 113 es una variedad comercial (VST-6).

## CAPITULO 5. CONCLUSIONES

---

1. La colección de maíz evaluada, presentó variabilidad morfoagronómica y nutricional; debido a la diferencia entre genotipos y a la pluralidad de orígenes, manejo y condiciones ambientales en que se desarrolla este cultivo en Cuba.
2. La obtención, manejo y conservación de la semilla por los agricultores, garantiza la producción local de maíz en las zonas estudiadas.
3. El 74 % de las accesiones evaluadas nutricionalmente, se caracterizaron por elevados contenidos de triptófano y altos índices de calidad.
4. Las accesiones 13, 47, 72, 113 y 158 superaron los indicadores de calidad nutricional establecidos para el contenido de triptófano, proteína e índice de calidad.
5. Los contenidos de triptófano e índice de calidad, de las accesiones evaluadas, mostraron valores equivalentes a los producidos por el gen Opaco-2, aunque sin la manifestación de las características morfoagronómicas negativas asociadas a este gen.
6. El carácter longitud de la mazorca presentó correlaciones fuertes con el número de hileras, número de granos por hilera y por mazorca y con la masa de las semillas. Entre los caracteres morfoagronómicos y de calidad nutricional y entre los caracteres de calidad nutricional evaluados, no se encontraron correlaciones fuertes.

## CAPÍTULO 6. RECOMENDACIONES

---

1. Establecer una estrategia de conservación in situ de la diversidad de maíz en Cuba, con participación de los productores, como metodología eficiente para mantener y ampliar la variabilidad genética del cultivo; garantizando mayor satisfacción de la demanda de accesiones con adaptación a condiciones e intereses específicos.
2. Diseminar las accesiones de mejores resultados, presentes en la colección de trabajo del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, a diferentes provincias del país.
3. Extender y evaluar las accesiones 13, 47, 72, 113 y 158 para su uso en la alimentación humana y animal y/o en programas de mejora destinados a la calidad proteica del maíz.
4. Evaluar la calidad nutricional de otras accesiones cubanas para ampliar la información obtenida.
5. Emplear los resultados obtenidos en los programas de estudio de pre y postgrado, así como su empleo en futuras investigaciones relacionadas con el tema.

## CAPÍTULO 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ü AACC. (1995). Approved methods of analysis Ninth. St. Pau, MN; USA: Ed. Am. Assoc. Cereal Chem.
- ü Opienska-Blauth, J., M. Charenzinsky y H. Berbec. 1963. A new rapid method of determining tryptophan. Rep. Analytical Biochemistry 6:69.
- ü Hernández, H.H. y L.S. Bates. 1969. A modified method for rapid tryptophan analysis in maize. CIMMYT Research Bulletin no. 13. México, D.F.: CIMMYT.
- ü Acosta, R., Ríos, H., Kessel, A., Martínez, M., y Ponce, M. (2007). Selección participativa de germoplasma cubano de maíz (*Zea mays*, L.) en el sistema local del Municipio de Batabanó. Cultivos Tropicales, 28 (2), 63-70.
- ü Acosta, R., Rios, H., Verde, G., y Pomagualli, D. (2003). Evaluación Morfoagronómica de la diversidad genética de variedades locales de maíz (*Zea mays* L.) en La Palma, Pinar del Río. Cultivos Tropicales, 24 (4), 61-67.
- ü Alfaro, Y., y Segovia, V. (2000). Maíces del sur de Venezuela clasificados por taxonomía numérica. I. Caracteres de la planta y de la mazorca. Agronomía Tropical, 50 (3), 413-433.
- ü Nkonge, C. y M. Balance. 1982. A sensitive colorimetric procedure for nitrogen determination in Micro-Kjeldahl digests. Journal of Agricultural Food Chemistry 30:416-420.
- ü Almekinders, C. y Boef, W. El reto de la colaboración en el manejo de la diversidad genética de los cultivos. LEISA. Abril 2000, volumen 15.Pp 5-8., 2000
- ü Altieri, M.A., and Merrick, L.C. In situ conservation of crop genetic resources through maintenance of traditional farming systems. Econ. Bot. 41:86-96., 1987
- ü Álvarez, A., y Lasa, J. M. (1990). Populations of maize from Cantabria. I. Morphological evaluation and variability. An. Aula Dei, 20, 1-2.
- ü Anderson, E., y Cutler, H. (1942). Races or *Zea mays*: I. This recognition and classification. Ann. Bot. Gard, 29, 69-88.

- ü AOAC. (1975). Official methods of Analysis. Washington D.C: Ed. Washington D.C. 47021.
- ü AOAC. 1980. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 13ava edition, p. 15.
- ü Ascherson, E. (1880). Bermenkungen. Über ästingen maikolben. Bat. Ver. Prov. Bran., 21, 133-138.
- ü Azevedo, R., Lancien, M., y Lea, P. (2006). The aspartic acid metabolic pathway, an exciting and essential pathway in plants. *Amino Acids*, 30, 143-162.
- ü Baena, M., Jaramillo S. y Montoya, J. E. Material de apoyo a la capacitación en conservación in situ de la diversidad vegetal en áreas protegidas y en fincas. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Cali, Colombia. ISBN 92-9043-600-X, 2003.
- ü Bantte, K., y Prasanna, B. M. (2004). Endosperm protein quality and kernel modification in the quality protein maize inbred lines. *Journal of the Plant Biochemistry and Biotechnology*, 13 (1), 57-60.
- ü Barghoom, E. S., Wolfe, M. K., y Clisby, K. H. (1954). Fossil maize from the Valley of Mexico. *Bot. Mus. Leafl.*, 16, 229-240.
- ü Bauernfeind, J. C., y DeRitter, E. (1991). Cereal Grain Products. En *Nutrient Addition to Foods*. Trumbull, C. T.: Food and Nutrition Press.
- ü Bejarano, A. Características botánicas y fisiológicas de la planta. EN: *El maíz en Venezuela*. Humberto Fontana y Carlos Glez. (eds.), 27-50, 2000
- ü Bellon, M.R., Barrientos-Priego A. F., Colunga, P., Perales, H., Reyes, J. A., Rosales, R., Zizumbo-Villarreal, D. 2009. Diversidad y conservación de recursos genéticos en plantas cultivadas, en *Capital natural de México*, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. Conabio, México, pp. 355-382.
- ü Betrán, F. J., Mayfield, K., and Menz, M. Breeding maize exotic germplasm. IN *Plant Breeding: The Arnell R. Hallauer International Symposium (2003: Mexico City, Mexico)*. 352-367, 2006
- ü Bird, R. (1980). Maize Evolution from 500 BC to the present. *Biotropica*, 12 (1), 30-41.

- ü Blessin, C. W., e Inglett, G. E. (1979). Food applications of corn germ protein products. *J. Am. Oil Chemistry*, 56 (3), 479-481.
- ü Boyer, C.D. y Shannon, J.C. 1987. Carbohydrates of the kernel. En S.A. Watson y P. E. Ramstad, eds. *Corn : chemistry and technology*, p. 253-272. St Paul, Minn., EE.UU., Am. Assoc. Cereal Chem.
- ü Bressani, R. (1972). El valor nutricional del arroz en comparación con el de otros cereales en la dieta humana de América Latina. INCAP.
- ü Bressani, R. (1991). Protein quality of high-lysine maize for humans. *Cereal Foods World*, 36, 806-811.
- ü Bressani, R. (1992). Nutritional value of high-lysine maize in humans. In E.T. Mertz (ed.). *Quality Protein Maize*. American Association of Cereal Chemists .
- ü Bressani, R., Arroyave, G., y Scrimshaw, N. S. (1953). The nutritive value of Central American corns. I. Nitrogen, ether extract, crude fiber and minerals of twenty-four varieties in Guatemala. *Food Research*, 18, 261-267.
- ü Bressani, R., Elías, L. G., Santos, M., Navarrete, D., y Scrimshaw, N. S. (1960). El contenido de nitrógeno y de aminoácidos esenciales de diversas selecciones de maíz. *Archivos Venezolanos de Nutrición*, 10, 85-100.
- ü Bressani, R., Scrimshaw, N. S., Behar, M., y Viteri, F. (1958). Supplementation of cereal proteins with amino acids. II. Effect of amino acid supplementation of corn-masa at intermediate levels of protein intake on the nitrogen retention of young children. *Journal of Nutrition* (66), 501-513.
- ü Bressani, R., Wilson, D. L., Behar, M., Chung, M., y Scrimshaw, N. S. (1963). Supplementation of cereal proteins with amino acids. V. Effect of supplementing lime-treated corn with different levels of lysine, tryptophan and isoleucine on the nitrogen retention of young children. *Journal of Nutrition* , 80.
- ü Burge, R.M. y Duensing, W.J. 1989. Processing and dietary fiber ingredient applications of corn bran. *Cereal Foods World* 34: 535-538.

- ü Camussi, P. L., Spagnoletti, Z., y Melchiorre, P. (1983). Numerical taxonomy of Italian maize populations: Genetic distances on the basis of heterotic effects. *Maydica*, 28, 411-424.
- ü Carballo, C. A., y Benítez, V. A. (2003). Manual Gráfico para la descripción varietal del maíz (*Zea mays* L.). México, D. F.: Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA)-Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semilla (SNICS)-Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas (CP).
- ü Carballoso, V., Mejía, A., Valderrama, S., Carballo, A., y González, F. (2000). Divergencia en poblaciones de maíz nativas de valles Altos de México. *Agrociencia*. 34 (2), 167-174.
- ü Castiñeiras, L., Shagarodsky, T., Fundora, Z, Fuentes, V, Fernández, L., Moreno, V., González, A. V., Alonso, J. L., Orellana, R., Robaina, R., Cristóbal, R., Sánchez, P., García, M., Valiente, A. y Giraudy, C. Informe Anual del Proyecto Global “Contribución de los huertos caseros a la conservación in situ de recursos fitogenéticos en sistemas de agricultura tradicional”. INIFAT-MINAGRI, Dic/1998-Nov./1999,1999
- ü CIMMYT. Curso de Producción de Semillas de maíz de alta calidad con énfasis en QPM. Septiembre 6-14, 2004. El Batán; México. México D.F.
- ü CIMMYT., CD ROM, 2004 CIMMYT Maize Germplasm Network Meeting. Global Maize Genetic Resources Conservation: A workshop and Conservation, management, and Networking. 2-5 may 2006, CIMMYT, El Batán; México. México D.F.: CIMMYT, 2006.
- ü Comisión Nacional de Recursos Genéticos. Cuba: Informe Nacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (RFAA). Edición 2007. La Habana, Cuba.
- ü Corpoica. (2008). CORPOICA TURIPANA H - 112. Maíz de alto valor nutritivo. Recuperado el 4 de junio de 2009, de <http://www.turipana.org.co/maizqpm.htm>

- ü Cuevas, E. O., Milán, J., Mora, R., Cárdenas, O. G., y Reyes, C. (2004). Quality protein maize (*Zea mays* L) tempeh our through solid state fermetation process. *Lebensmittel-Wissenschaftund-Technologie*, 37 (1), 59-67.
- ü De Groote, H., Gunaratna, N., Krivanek, A. F., y Friesen, D. (2006). Recent advance in the development, uptake and impact assessment of quality protein maize (QPM). Symposium on “New Technology Development to Reduce Hunger in Sub-Saharan Africa”. Gold Coast, Queensland, Australia: 26th Conference of the International Association of Agricultural Economists (IAAE).
- ü De la Torre, R. (1986). El maíz y la industria de los alimentos. *Tecnología de Alimentos*, 1 (2), 1-17.
- ü Defacio, R. A., Hourquescos, M. J., Bramardi, S., y Ferrer, M. E. (2005). Estudio de variabilidad en poblaciones nativas de maíz.
- ü Demissie, A. Conservación in situ: la experiencia etíope, en LEISA. Abril 2000, volumen 15.Pp 30-31, 2000.
- ü Dowswell, C. R.; Paliwal, R.L. and Cantrell, R. P. *Maize in Third World* Ed. Westview 268 p,1996
- ü Elander, R.T. and Russo, L.J. Production of ethanol from corn fiber. Paper presented at the 1<sup>st</sup> Biomass Conf. of the Americas: Energy, Environment, Agriculture and Industry, Burlington, VT, USA, 1993
- ü Elmadfa, I., Fritzsche, D., y Diedrich, H. (1998). *La gran guía de las vitaminas y los minerales*.Barcelona: RBA.
- ü Esen, A., y Stetler, D. A. (1987). Proposed nomenclature for the alcohol-soluble proteins (zeins) of maize (*Zea mays* L.). *Cereal Scince*, 5, 117-128.
- ü Espinosa, E., Mendoza, M., y Castillo, F. (2006). Diversidad fenotípica entre poblaciones de maíz con diferentes grados de pigmentación. *Fitotec. Mex.*, 29 (Número Especial 2), 19-23.
- ü Falconer, D. S. (1978). *Introducción a la genética cuantitativa*. México, D. F.: Compañía Editorial Continental, S. A.

- ü FAO. (1993). El maíz en la nutrición humana ( N° 25 ed.). Roma: Colección FAO: Alimentación y nutrición.
- ü Feil, B., Moser, S., Jampatong, B. S., y Stamp, P. (2005). Mineral Composition of the Grains of Tropical Maize Varieties as Affected by Pre-Anthesis Drought and Rate of Nitrogen Fertilization. *Crop Science*, 45.
- ü Fernández, L. (2009). Identificación de razas de maíz (*zea mays* L.) presentes en el germoplasma cubano. La Habana: Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical. INIFAT.
- ü Fontana, N., y González, C. (2000). El maíz en Venezuela. Enfermedades del maíz en Venezuela Caracas. 529: Fundación Polar.
- ü Futa, H., Akalu, G., Wondimu, A., Taesse, S., Gebre, T., Schlosser, K., y otros. (2003). Assessment of protein nutritional quality and effects of traditional processes: a comparison between Ethiopian quality protein maize and five Ethiopian adapted normal maize cultivars. *Ethiopian Health and Nutrition Research Institute*, 47 (4), 269-273.
- ü Geadelmann, J. L. Using exotic germplasm to improve northern corn. pp. 98-110. In Wilkinson y R. Brown (ed.) *Proc. 39th Annu. Corn and Sorghum Res. Conf. Chicago, IL. 5-6 Dec. 1984 Am. Seed Trade Assoc. Washington, D. C., 1984*
- ü González del Valle, C. Estudios genéticos sobre el maíz. La producción de líneas homogéneas. *Memorias de la Sociedad Cubana de Historia Natural "Felipe Poey"* 15(3): 307-318., 1941
- ü González, A., Vázquez, L. M., Sahún, J., y Rodríguez, J. E. (2008). Diversidad fenotípica de variedades e híbridos de maíz en el Valle Toluca-Atlacomulco, México. *Fitotec. Mex.*, 31 (1), 67-76.
- ü Goodman, M. M. Exotic maize germplasm: status, prospects, y remedies. *Iowa State. J. Res.* 59:497-527,1985.
- ü Goodman, M. M., y Bird, R. (1977). The races of maize. IV. Tentative grouping of 219 Latin American races. *Econ. Bot.*, 31, 204-221.

- ü Goodman, M. M., y Paterniani, E. (1969). The races of maize. III. Choices of appropriate characters for racial classification. *Econ. Bot.*, 23, 265-273.
- ü Goodman, M.M. Genetic y germplasm stocks worth conserving. *J. Hereditary* 81:11-16,1990
- ü Grant, U. J., Hatheway, W. H., Timothy, D. H., Cassalett, C. D., y Roberts, L. M. (1965). Razas de maíz en Venezuela. Instituto Colombiano Agropecuario. Bogotá, Colombia: ABC.
- ü Grijalva, O., Rincón, F., Gutiérrez del Río, E., Ruiz, N. A., y Bustamante, L. (2003). Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. *Fitotecnia Mexicana*, 26 (001), 1.
- ü Gunaratna, S. (2007). Evaluating the nutritional impact of maize varieties genetically improved for protein quality. A Dissertation Submitted to the Faculty of Purdue University. In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Of Doctor of Philosophy. Indiana: Purdue University West Lafayette.
- ü Habben, J. E. (1995). Elongation factor 1a concentration is highly correlated with the lysine content of maize endosperm. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 92, 8640–8644.
- ü Hameed, A., Pollack, L. M. y Hinz, P. N. Evaluation of Cateto maize accessions for grain yield and physical grain quality attributes. *Crop. Sci.* 34:265-269,1994
- ü Harlan, J. R. (1970). Evolution of cultivated plants. (O. H. Frankel, Ed.) Genetic resources in plants-their Exploration and conservation. I. B. P. Handbook (11), 18-32.
- ü Hatheway, W. (1957). Races of Maize in Cuba. Washington, D.C.: National Academy Of Siences-National Research Council.
- ü Hernández, A., Morell, F., Ascanio, M. O., Borges, Y., Morales, M., y Yong, A. (2006). Cambios globales de los suelos ferralíticos rojos lixiviados (Nitisoles Ródicos Eútricos) de la provincia La Habana. *Cultivos Tropicales*, 27 (2), 41-5.
- ü Hernández, X. E. (1949). Report to Dr. J.G. Harrar, Director of the Rockefeller Foundation Agricultural Program. Mexico D. F.: Rockefeller Foundation.

- Ü Howe, E.E., Janson, G.R. y Gilfillan, E.W. 1965. Amino acid supplementation of cereal grains as related to the world food supply. *Am. J. Clin. Nutr.* 16: 3 1 5320.
- Ü Huang, S., Whitney, R., Zhou, Q., Kathleen, P., Dale, A., Jan, A., y otros. (2004). Improving nutritional quality of maize proteins by expressing sense and antisense zein genes. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 7 (52), 1958-1964.
- Ü Hussaini, M. A., Ogunlela, V. B., Ramalan, A. A., y Falaki, A. M. (2008). Mineral Composition of Dry Season Maize (*Zea mays* L.) in Response to Varying Levels of Nitrogen, Phosphorus and Irrigation at Kadawa, Nigeria. *World Journal Agricultural Science*, 4 (6), 775-780.
- Ü ILSI. (2006). Maíz y Nutrición. Informe sobre los usos y las propiedades nutricionales del maíz para la alimentación humana y animal. Buenos Aires: ILSI Argentina.
- Ü Iltis, H. H., y Doebley, J. F. (1980). Taxonomy of *Zea* (Gramineae). II. Subspecific categories in the *Zea mays* complex and a generic synopsis. *American Journal of Botany*, 67, 994-1004.
- Ü IPGRI. Informe anual 1999. Instituto Nacional de Recursos Fitogenéticos, Roma. PP. 22-23. ISBN 92-9043-460-0, 2000
- Ü IPGRI. Material de apoyo a la capacitación en conservación ex situ de recursos Filogenéticos. 45 pp., 1998.
- Ü Jansen, G. (1978). Biological evaluation of protein. *Food Technology*, 12 (32), 52-56.
- Ü Krivanek, A. F., De Groote, H., Gunaratna, N. S., Diallo, A. O., y Friesen, D. (2007). Breeding and disseminating quality protein maize (QPM) for Africa. *African Journal of Biotechnology*, 6, 312-324.
- Ü Landry, J. y Moureaux, T. 1970. Hétérogénéité des glutélines du grain de maïs: Extraction sélective et composition en acides aminés des trois fractions i solées. *Bull. Soc. Chim. Biol.* 52: 1021 - 1037.
- Ü Landry, J. y Moureaux, T. 1982. Distribution and amino acid composition of protein fractions in opaque-2 maize grain. *Phytochemistry*. 21: 11365- 1869.
- Ü Langham, D. G. (1940). The inheritance of intergeneric differences of maize and its races. *Evolutionary Biology*, 17, 219-253.

- Ü Ligarreto, M. G., Ballén, P. A., y Huertas, B. D. (1998). Evaluación de las características cuantitativas de 25 accesiones de maíz (*Zea mays* L.) de la zona andina. *CORPOICA*, 2 (2).
- Ü Llaurado, M., y Moreno, J. (1993). Classification of northern Spanish populations of maize by methods of numerical taxonomy. I. Morphological traits. *Maydica*, 38, 15-21.
- Ü Longley, A. E. (1941). Chromosome morphology in maize and its relatives. *Botanical Review*, 7, 263-289.
- Ü Louette, D. and Smale, M. Farmers' seed selection practice and traditional maize varieties in Cuzalapa, Mexico. *Euphytica* 113: 25-41, 2000
- Ü Louette D., Charrier, A., Berthaud, J. In situ conservation of maize in Mexico: genetic diversity and maize seed management in a traditional community. *Econ. Bot.* 51: 20-38, 1997
- Ü Mangelsdorf, P. C. (1960). Reconstructing the ancestor of corn. *The Smithsonian Report. Science* , 1-10.
- Ü MAPA. (1994). Métodos oficiales de análisis. Tomo III. Madrid: Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación.
- Ü Martínez, M. 2004. 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.
- Ü Matsuoka, Y., Vigoroux, Y., Goodman, M. M., Sanchez, G. J., Buckler, E. and Doebley, J. A. single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proc. Natl Acad Sci USA* 99: 6080-6084, 2002
- Ü McClintock, B., Kato, Y. A., y Blumenshein, A. (1981). Constitución cromosómicas de las razas de maíz. Su significado en la interpretación de las razas y las variedades de las Américas. Chapingo, México: Colegio de postgraduados.
- Ü Méndez, G., Solorza, J., Velázquez del Valle, M., Gómez, N., Paredes, O., y Bello, L. A. (2005). Composición química y caracterización calorimétrica de híbridos y variedades de maíz cultivadas en México. *Agrociencia*, 39, 267-274.

- ü Mendoza, M., Andrio, E., Juarez, J., Mosqueda, C., Latournerie, L., Castañón, G., y otros. (2006). Contenido de lisina y triptófano en accesiones de maíz de alta calidad proteica y normal. *Agronomía Mesoamericana*, 22 (2), 153-161.
- ü Mertz, E. T., Bates, L. S., y Nelson, O. E. (1964). Mutant gene that changes protein composition and increases lysine content of maize endosperm. *Science*, 145, 279-280.
- ü MINAG. (2004). Programa para la producción de maíz tierno: 4 pp.
- ü MINAGRI. (1992). Instructivo Técnico del cultivo del maíz. La Habana: Dirección Nacional de Cultivos Varios.
- ü Miranda, C. S. (1966). Discusión sobre el origen y distribución del maíz. *Memorias del Segundo Congreso Nacional de Citogenética* , 233-251.
- ü Montaner, J. (20 de agosto de 2003). El mundo de los cereales mutantes. Las variedades mutadas de los principales cereales han permitido doblar la productividad de alimentos en apenas 30 años. Recuperado el 18 de abril de 2008, de [http://www.consumaseguridad.com/El mundo de los cereales mutantes.htm](http://www.consumaseguridad.com/El_mundo_de_los_cereales_mutantes.htm)
- ü Morales, M. (2002). Efecto del consumo de maíz de alta calidad proteínica en niño(a)s de familias indígenas de las regiones Mazateca y Mixe del Estado de Oaxaca: una estrategia agronómica de desarrollo entre campesinos que practican agricultura de subsistencia. Texcoco, Estado de México, México.: Colegio de Postgraduados, Montecillo.
- ü Moreno, V. Manejo de la producción de semillas en fincas tradicionales de Cuba. Tesis para optar por el Grado en Maestro en Ciencia Biológicas (Mención Genética Vegetal) Universidad de La Habana, Facultad de Biología, 82 pp., 2007.
- ü Muñoz, A. (2003). Prehistoria e Historia, Diversidad, Potencial, origen genético y Geográfico. Texcoco, México D.F.: CENTLI-MAÍZ.
- ü NCGA (National Corn Growers Association) en: La revitalización de la agricultura: el bioetanol en los Estados Unidos. *Bayer Crop Science, Correo* (2)13-15, 2007
- ü Nelson, O. E. (1969). Genetic modification of protein quality in plants. *Adv. Agronomy*, 21, 171–194.

- ü Oficina Nacional de Estadísticas. (2008. Edición 2009). Anuario Estadístico de Cuba.
- ü Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. División de Estadística, 2010. Disponible en: <http://www.fao.org/es/ess/rmcrops.asp>, consultado el 31 de enero del 2011.
- ü Ortiz, L., y Guerra, M. (1983). Caracterización de las proteína de los maíces Venezuela 1 Arichuna, Obregón y Venezuela-1 Opaco-2. Arch. Latinoamer. Nutr., 3 (33), 539.
- ü Ortiz, R. (1982). Características poblacionales y criterios de selección en las primeras etapas en caña de azúcar (*Saccharum sp p. híbridos*). La Habana: INCA.
- ü Ortiz, R., Ríos, H., Ponce, M., Verde, G., Acosta, R., S., M., y otros. (2003). Impactos de la Experimentación campesina en Cooperativa de Producción Agropecuarias de La Habana. Cultivos tropicales, 24 (4), 115 – 122.
- ü Ortiz, R., y Sevilla, R. (1997). Quantitative descriptors for classification and characterization of highland peruvion maize. Plant Genetic Resources Newsletter, 110, 49-52.
- ü Paes, M. C., y Bicudo, M. H. (1994). Nutritional Perspectives of Quality Protein Maize. Proceedings of the International Symposium on Quality Protein Maize. Sete Lagoas, MG, Brasil: EMBRAPA/CNPMS.
- ü Pellett, P., y Ghosh, S. (2004). Lysine fortification: Past, present, and future. Food and Nutr. Bull., 25, 107-113.
- ü Perales, H., Brush S. and Qualset, B. Dynamic management of maize landraces in Central Mexico. Econ. Bot 57: 21-34, 2003
- ü Poehlman, J. M., y Allen, S. D. (2003). Mejoramiento genético de las cosechas. México, D. F.: LIMUSA. 2da edición.
- ü Poey, D. F. (1978). Mejoramiento Integral del Maíz Rendimiento y Valor Nutritivo; Hipótesis y Métodos. Tesis Doctoral. México D. F.: Colegio de Posgraduados, Chapingo.

- Ü Prasanna, B. M., Vasal, S. K., Kassahun, B., y Singh, N. N. (2001). Quality protein maize. *CURRENT SCIENCE*, 81 (10).
- Ü Raigón, M. D. (Ed.). (2007). Alimentos Ecológicos, Calidad y Salud. Andalucía, España: JUNTA DE ANDALUCÍA. Consejería de Agricultura y Pesca. Sociedad Española de Agricultura Ecológica (SEAE).
- Ü Ramos, A. y E. Hernández X. 1972. Variación morfológica de los maíces de la zona oriental del estado de México y Centro de Puebla, México. En: *Xolocotzia*. Tomo II. 1987. Universidad Autónoma Chapingo. Subdirección de Centros Regionales. Dirección de Difusión Cultural. *Revista de Geografía Agrícola*. México.
- Ü Riccelli, M. (2000). Mejoramiento Genético Y Biotecnología, Introducción A La Genética Del Maíz. *El Maíz En Venezuela*. Venezuela: Fundación Polar.
- Ü Rice, E., Smith, M., Sharon, M. y Stephen, K. Conservation and change: a comparison of in situ and ex situ conservation of Jala Maize germplasm. *Crop. Sci.* 46:428-436, 2006
- Ü Rincon, F., Johanson, B., Crossa, J. y Taba, S. Cluster analysis, an approach to sampling variability in maize accessions. *Maydica* 41: 307-316, 1996
- Ü Rincon, F., Johanson, B., Crossa, J. y Taba, S. Identifying subsets of accessions by three-mode principal component analysis. *Crop. Sci.* 37:1936-1947, 1997
- Ü Ríos, H. (2003). Logros en la implementación del Fitomejoramiento Participativo en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 24 (4), 17-23.
- Ü Salgado, S., Palma, D., Lagunes, L., y Castellan, M. (2006). Manual para el muestreo de suelos, plantas y aguas e interpretación de análisis. Villa Hermosa, Tabasco: Colegio de Postgraduados. Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas.
- Ü Salhuana, W. Seed increase and germplasm evaluation. pp. 29-38. In *Recent advances in the conservation and utilization of genetic resources: Proceedings of the global maize germplasm workshop*. Mexico. D. F., 1988
- Ü Sánchez, F. C., Salinas, M. Y., Vázquez, C. M., Velázquez, C. G., y Aguilar, G. (2007). Efecto de las prolaminas del grano de maíz ( *Zea mays* L.) sobre la textura de

- la tortilla. Archivos Latinoamericanos De Nutrición. Órgano Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición, 57 (3).
- ü Sansano, C. (2008). Cereales: estructura y composición nutricional. Alicante: Universidad de Alicante.
- ü Scrimshaw, N. S., Bressani, R., Behar, M., y Viteri, F. (1958). Supplementation of cereal proteins with amino acids. I. Effect of amino acid supplementation of corn-masa at the higher levels of protein intake on the nitrogen retention of young children. *Journal of Nutrition*, 66, 458-499.
- ü Seefoó, J. L.; Keibach, N. M. (2010). Ciencia y paciencia campesina. El maíz en Michoacán. El Colegio de Michoacán. Gobierno del estado de Michoacán. Secretaría de Desarrollo Rural.
- ü Sevilla, P. R. (1991). Diversidad del maíz en la región andina Experiencias en el cultivo del maíz en el área andina. Quito, Ecuador.: IICA-BID-PROCIANDINO.
- ü Sevilla, R. Colecta y clasificación para programar la conservación in situ de la diversidad de maíz en la Amazonia peruana. En Fundamentos genéticos y socioeconómicos para analizar la agrobiodiversidad en la región Ucayali, 16 de enero del 2003, Puclallpa, Perú. Bioversity International, Cali, Colombia. 33-50, 2006.
- ü Shewry, P. R., y and Thatam, A. S. (1990). The prolamin storage proteins of cereal seeds: structure and evolution. *Biochem. J.*, 267, 1–12.
- ü Siglo, E. (Ed.). (6 de marzo de 2008). El maíz, granos de oro para la salud. Disponible en. Recuperado el 3 de junio de 2009, de <http://www.elsiglo.com/siglov2/Salud.php?fechaz=06-032008yidnews=57605>
- ü Sikka, K., y Johari, R. (1979). Comparative nutritive value and amino acid content of different varieties of sorghum and effect of lysine fortification. *J. Agric. Food Chem.*, 5 (27), 962-965.
- Hirzel, J., Rodríguez, N. y Zagal, E. (2004). Efecto de diferentes dosis de fertilización inorgánica con N, P, K y fuente orgánica (estiércol de Broiler) sobre la producción de maíz y la fertilidad del suelo. *Agricultura Técnica*, 64 (4), 365-374.

- ü Smale, M., Aguirre J. A., Bellon M. R., Mendoza, J., Rosas I. Farmer management of maize diversity in the central Valleys of Oaxaca, Mexico: CIMMYT/INIFAP, 1998. baseline socioeconomic survey. CIMMYT. Economics working paper 90-09. International maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), Mexico, DF., 1999
- ü Smale, M., Bellon, M. R., and Aguirre-Gomez, J. A. Maize diversity, varieties attribute and farmers` choices in Southeastern Guanajuato, Mexico. *Economic Development and Cultural Change* 50: 201-225, 2001
- ü Smith, J. S., y Smith, O. S. (1989). The description and assessment of distance between inbred lines of maize: I. The use of morphological traits as descriptors. *Maydica*, 34, 141-150.
- ü Smith, M., y Paliwal, R. (1996). Contributions of genetic resources and biotechnology to sustainable productivity increases in maize. Austin, TX, USA, R.G. Lands and Academic Press.: *Plant biotechnology and plant genetic resources for sustainability and productivity*. .
- ü Socorro, M. y Martin, D. Editorial Pueblo y Educación. 318 pp., 1989
- ü SPSS Tablas TM 11.5. (2002). ISBN 1-56827-923-X.
- ü Sthapit, B. R. y Jarvis D. Fitomejoramiento participativo y conservación en finca. *LEISA*. Abril 2000, volumen 15. pp. 39-41, 2000
- ü Sturtevant, A. (1899). Varieties of corn. Washington DC: USDA Office of Exp. Stn. Bull. 57. U.S. Gov. Print. Office.
- ü Taba, S., van Ginkel, M., Hoisington, D. and Wellhausen-Anderson, D. Plant Genetic Resources Center: Operations manual 2004. El Batán, Mexico: CIMMYT, 2004
- ü Tsai, C. Y., Dalby, A., y Jones, R. A. (1975). Lysine and trptophan increases during germination of maiza seed. *Cereal Chem.*, 52, 356-360.
- ü Vasal, S. K. (2000). The quality protein maize story. *Food and Nutrition Bulletin*, 21 (44), 450.
- ü Villegas, E., Ortega, E., y Bauer, R. (1984). Chemical methods used at CIMMYT for determining protein quality in cereal grains. México D. F.: CIMMYT.

- ü Vivek, B.S., A.F. Krivanek, N. Palacios-Rojas, S. Twumasi-Afriyie y A.O. Diallo. 2008. Mejoramiento de maíz con calidad de proteína (QPM): Protocolos para generar variedades QPM. México, D.F.: CIMMYT.
- ü Watson, S. A. Corn marketing, processing, and utilization. In G.F. Sprague & J.W. Dudley, eds. Corn and corn improvement, p. 882-940. Madison, WI, USA, American Society of Agronomy, 1988
- ü Weber, E.J.1987. Lipids of the kernel. En S.A. Watson y P.E. Ramstad, eds. Corn. chemistry and technology, p. 311 -349. St Paul, EE.UU., Am. Assoc. Cereal Chem.
- ü Wellhausen, E. J. The indigenous maize germplasm complexes of Mexico: Twenty-five years of experience and accomplishments in their identification, evaluation, and utilization. P 17-28. In Recent advances in the conservation and utilization of genetic resources: Proceedings of the global maize germplasm workshop. Mexico. D. F., 1988
- ü Wilkes, G. (1988). Teosinte and the Other Wild Relatives of Maize. Mexico. D.F.: Recent Advances in the Conservation and Utilization of Genetic Resources: Proceedings of The Global Maize Germplasm Workshop.
- ü Wilkes, G., y Goodman, M. (1995). Mystery and Missing Links: The origin of Maize. In:Taba (eds.). CIMMYT. Mexico, D.F.: Maize Genetics Resources. Maize Program Special Report.
- ü Wilkes, H.G. 1979. Mexico and Central America as a centre for the origin of agriculture and the evolution of maize. Crop Improv. 6(1):1–18.
- ü Wilson, L. M., Sherry, A., Whitt, R., Ibañez, A. M., Torbert, C., Rocheford, R., y otros. (2004). Dissection of Maize Kernel Composition and Starch Production by Candidate Gene Association. The Plant Cell, 16, 2719–2733.
- ü Wong, R., Gutiérrez del Río, E., Rodríguez, S. A., Palomo, A., Córdova, H., y Espinoza, A. (2006). Aptitud Combinatoria y Parámetros Genéticos De Maíz Para Forraje En La Comarca Lagunera, México. Universidad y Ciencia, 22 (002), 141-151.
- ü Wood, D., and Lenne, J. The conservation of agrobiodiversity on-farm: questioning the emerging paradigm. Biodivers. Conserv. 6:109-129, 1997

- ü Yu-kui, R., Shi-ling, J., Fu-suo, Z., y Jian-bo, S. (2009). Efectos de la aplicación de fertilizante nitrogenado en la composición de los elementos en los granos de maíz. AGROCIENCIA.
- ü Zhao, W., Zhai, F., Zhang, D., An, Y., Liu, Y., He, Y., y otros. (2004). Lysine-fortified wheat flour improves the nutritional and immunological status of wheat-eating families in northern China. Food and Nutr. Bull., 25, 123.

## ANEXOS:

---

Anexo 1. Encuesta.

Encuesta realizada durante las prospecciones de semillas de maíz.

Nombre del Donante:

\_\_\_\_\_

Procedencia: \_\_\_\_\_

Edad: \_\_\_\_\_ Sexo: \_\_\_\_\_ Escolaridad: \_\_\_\_\_

No. Variedad	Nombre de la Variedad	Fuente de Obtención	Años de manejo

Observaciones:

Anexo 2. Datos climáticos de los tres años de siembra (2003, 2004 y 2005) de los experimentos de campo.

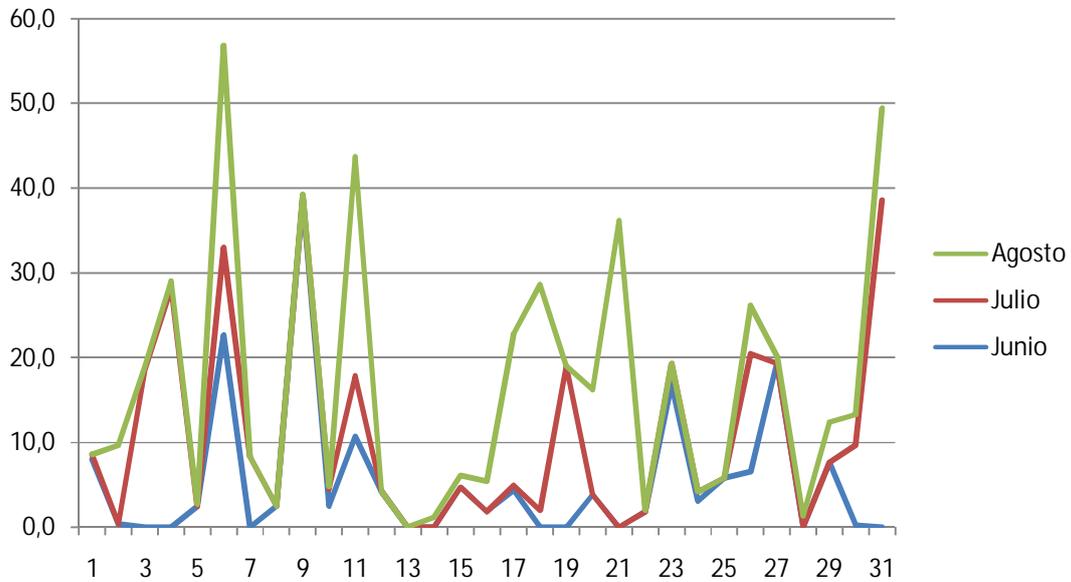


Figura 13. Comportamiento de las precipitaciones (mm) en los meses de junio, julio y agosto del 2003.

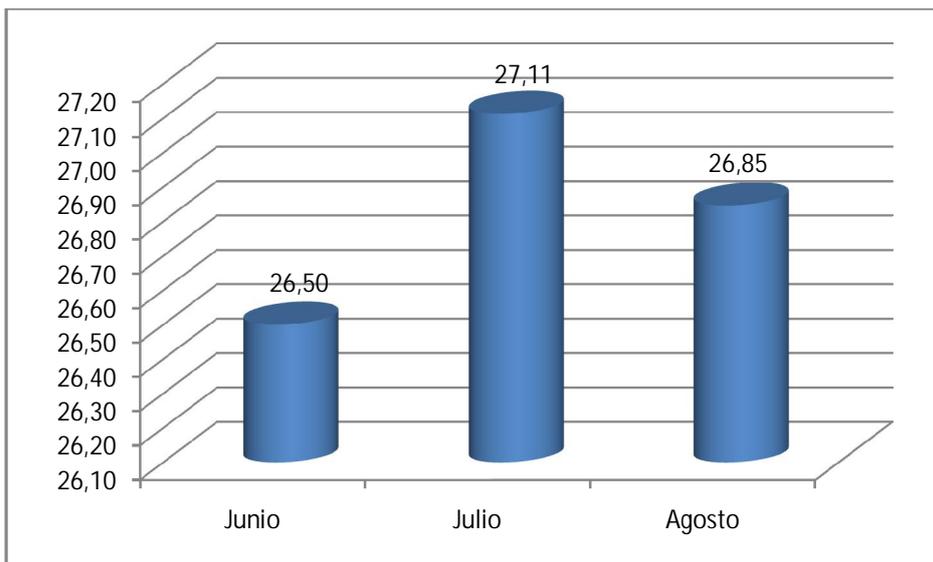


Figura 14. Temperatura media (°C) en los meses de junio, julio y agosto del 2003.

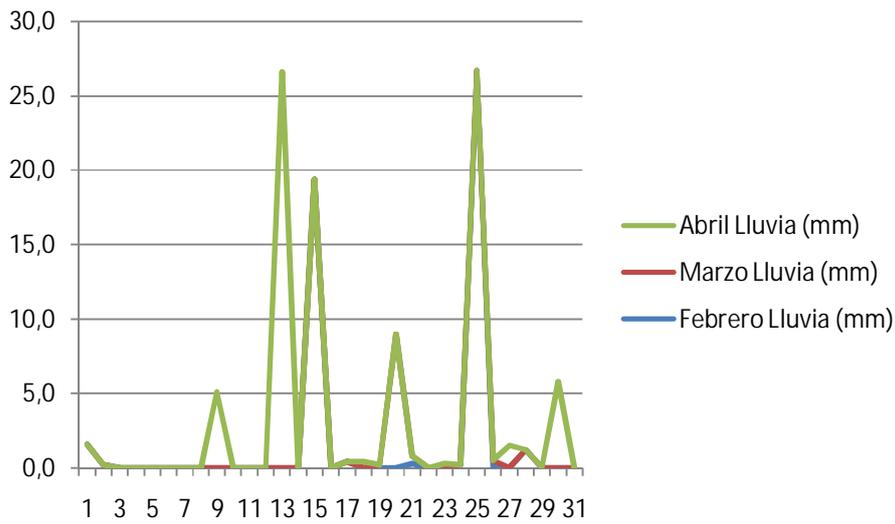


Figura 15. Comportamiento de las precipitaciones (mm) en los meses de febrero, marzo y abril del 2004.

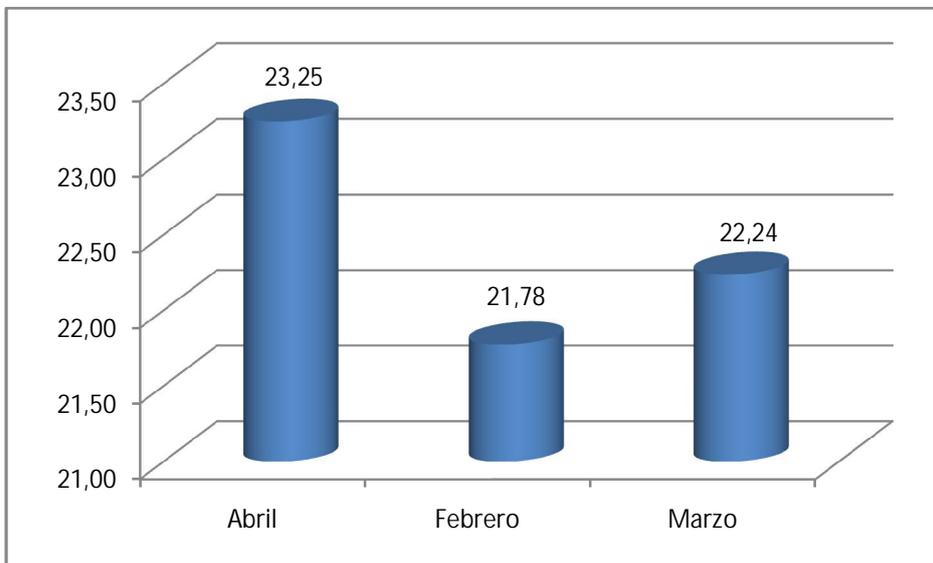


Figura 16. Temperatura media (°C) en los meses de febrero, marzo y abril del 2004.

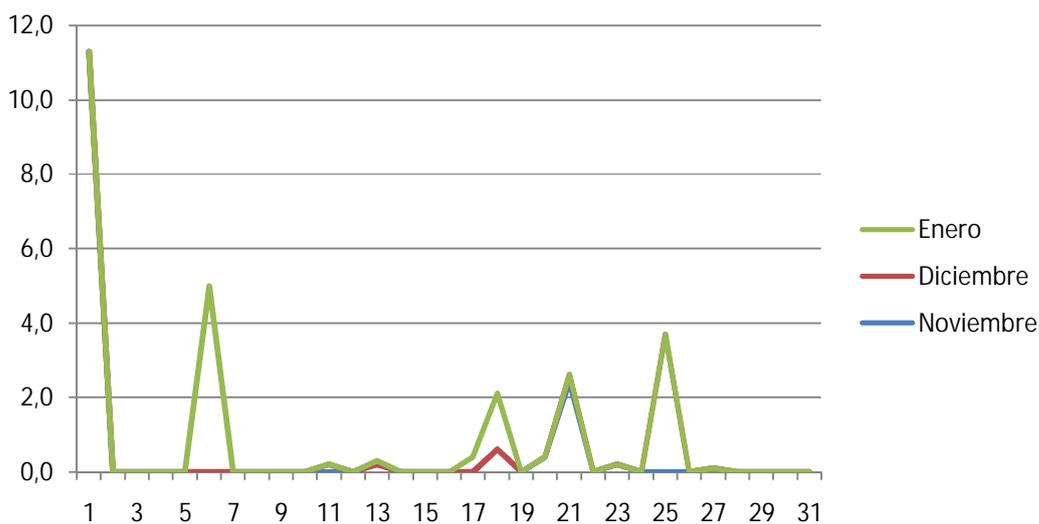


Figura 17. Comportamiento de las precipitaciones (mm) en los meses de noviembre y diciembre del 2005 y enero del 2006.

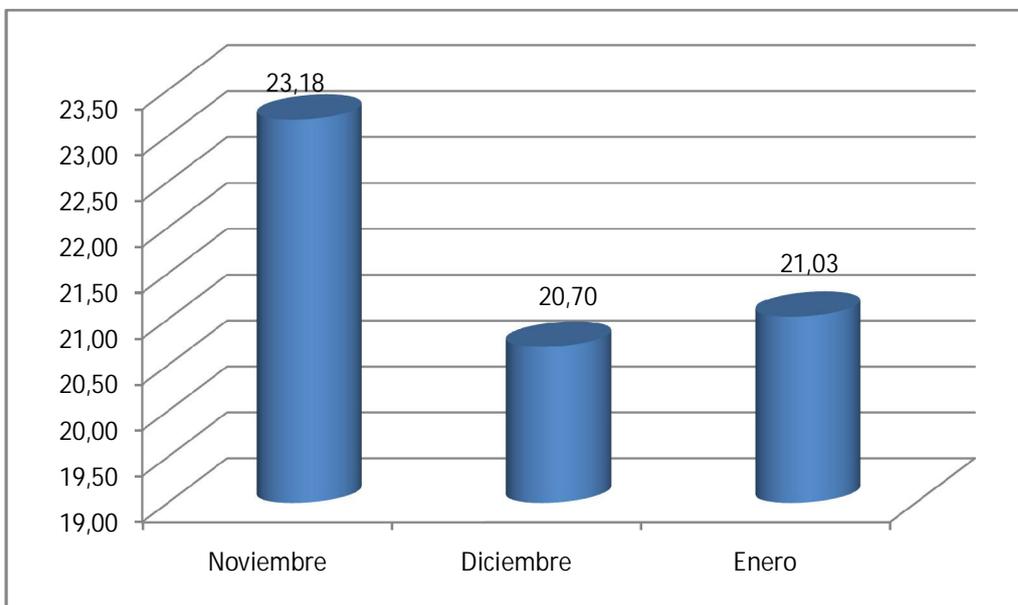


Figura 18. Temperatura media (°C) en los meses de noviembre y diciembre del 2005 y enero del 2006.

Anexo 3. Escalas de valores utilizadas y momentos de evaluación de *Spodoptera frugiperda* (Smith).

Carácter	Abreviatura	Escala	Significado
Cobertura de la Mazorca	CM	3	Pobre
		5	Intermedia
		7	Buena
Color del grano	CG	1	Blanco
		2	Amarillo
		3	Amarillo naranja
		4	Naranja
		5	Naranja rojo
		6	Rojo
Forma de la mazorca	FM	1	Cónica
		2	Cónica cilíndrica
		3	Cilíndrica
Disposición de las hileras	DH	1	Recta
		2	Ligeramente en espiral
		3	En espiral
		4	irregular
Forma de la corona de los granos	FG	1	Hendida
		2	Convexa
		3	Puntiaguda
Momentos de evaluación de <i>Spodoptera frugiperda</i> (Smith):	ISF	1	30 días después de la siembra
		2	45 días después de la siembra
		3	60 días después de la siembra