

OBTENCIÓN DE POBLACIONES DE MAÍZ (*Zea mays* L.) EN CONDICIONES DE POLINIZACIÓN ABIERTA. Evidencias de un proceso desarrollado por productores

Rosa Acosta Roca y Humberto Ríos Labrada

Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, INCA, Mayabeque

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.), conjuntamente con el arroz y el trigo, es uno de los cereales más importantes en la alimentación humana y animal. El maíz se originó en una zona 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.^{1,2} Actualmente es cultivado en todo el mundo.

De acuerdo al Informe Nacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (RFAA),³ el maíz es el segundo cereal de importancia en Cuba, de alta preferencia de consumo por la población ya sea tierno o seco. El maíz se cultiva en toda la isla y la superficie cultivada está entre 77 000 y 100 000 hectáreas, destacándose las provincias de las regiones centrales y orientales con mayores extensiones de superficie de siembra, cultivándose principalmente maíz de grano amarillo, cristalino o dentado, para la alimentación

¹ B. McClintock, T. Kato, A. Blumenschein, 1981. *Constitución cromosómica de las razas de maíz*. Colegio de Post Graduados de Chapingo, México. pp. 1-168.

² GCP, 2006. *Generation Challenge Programme Partner and Product. Highlights*, Mexico, D.F.: CIMMYT. pp. 16-18. ISBN: 970-648-149-4.

³ Comisión Nacional de Recursos Genéticos, 2007. *Informe Nacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (RFAA)*. Comisión Nacional de Recursos Genéticos, La Habana, Cuba.

humana en forma de maíz tierno y grano seco para uso industrial de consumo animal (concentrados).

También se cultiva en menor escala, pero con mucha aceptación, el maíz reventón, palomitas o rositas. No obstante, los mayores rendimientos tanto para consumo tierno como seco, se obtienen en la región occidental del país, donde se cuenta con un mayor desarrollo agrícola y poblacional. La prioridad de siembra en estas áreas, es para los cultivos de papa, hortalizas, vegetales y tabaco, siendo el maíz un cultivo de sucesión con respecto a los cultivos priorizados, lo que trae como consecuencia que las siembras de maíz se realicen en épocas no óptimas. Hasta el presente, el maíz se siembra como un cultivo de sucesión en las empresas agrícolas o por pequeños agricultores que, en su conjunto, se dedican a la producción de viandas, vegetales o al cultivo del tabaco durante todo el año (ONE, 2005),³ con lo que se aprovecha la humedad y la fertilización residual, y la producción no alcanza aún a satisfacer las demandas de la población, descansando la misma en gran medida en el sector campesino cooperativo o privado.

Clasificación del maíz en Cuba

En Cuba los trabajos iniciales de clasificación de maíces comenzaron en 1949 por Hernández y Clement, quienes efectuaron cincuenta y siete colectas de noventa localidades del país.⁴ Dichos autores reportaron la existencia de seis razas de maíces cubanos e indicaron que cinco de ellas estaban relacionados con los tipos encontrados en México. En dichos estudios, el concepto de raza fue establecido en función de los criterios establecidos en México por P.C. Margelsford, donde existía un gran aislamiento geográfico entre las comunidades, lo que permitía rutas de evolución diferentes. Hatheway, en 1957,⁵ plantea la existencia en Cuba de siete razas de maíz, las cuales se diferencian y clasifican principalmente por los caracteres de la mazorca, las mismas son: Maíz Criollo, Tusón, Argentino, Canilla, White Pop, Yellow Pop y White Dent.

⁴ X.E. Hernández, 1949. *Report to Dr. J.G. Harrar, Director of the Rockefeller Foundation Agricultural Program in Mexico*, April 1.

⁵ W.H. Hatheway, 1957. *Races of Maize in Cuba*. National Academy Of Sciences-National Research Council. Washington, D.C. p. 77.

Sin embargo, otros autores⁶ plantean que probablemente durante el transcurso de estos cincuenta años posteriores al estudio efectuado por Hatheway, algunas de estas razas ya no existan, se hayan modificado o se hayan formado nuevas razas, lo que constituye un nuevo panorama potencial en los recursos genéticos del maíz en el país. Sin embargo, en sus propios estudios, estos autores plantean que al analizar accesiones recientemente colectadas, las mismas se encontraban presentes en al menos cinco de las siete razas cubanas de maíz (Criollo, Canilla, Tusón, Argentino y Reventador), aunque muchas de ellas muestran caracteres morfológicos que indican la posible mezcla entre las mismas, debido posiblemente al manejo o a las fuerzas evolutivas que pueden estar actuando sobre estas accesiones/razas, provocando una progresiva erosión genética producto de las diferentes formas de manejo de los agricultores.

La variabilidad genética en el cultivo

La variabilidad genética presente dentro y entre poblaciones/razas de maíz ha sido reconocida como uno de los más abundantes del reino vegetal. Mucha de esta variabilidad se debe a factores unitarios que han sido identificados a través del tiempo y que controlan características fácilmente visibles tales como colores, formas y estructuras.⁷

Esta diversidad ha sido ampliamente utilizada por el hombre, ya sea de forma empírica como la realizada por los productores desde el proceso de domesticación⁸ hasta la actualidad, como la realizada por los diversos programas convencionales de mejora genética que se han realizado a nivel mundial.

⁶ L. Fernández, J. Crossa, Z. Fundora, G. Gálvez, R. Cristóbal, G. Acuña, C. Guevara, G. Puldón, M.F. Pérez, L. Walón, J.A. Soto, 2008. Composición de las razas cubanas de maíz en la colección nacional del cultivo. En: Congreso Científico del INCA (16: 2008, nov. 24-28, La Habana). *Memorias*. CD-ROM. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. ISBN 978-959-16-0953-3.

⁷ Riccelli, M 2000. Mejoramiento Genético y Biotecnología, Introducción a la Genética del Maíz. En: *El Maíz en Venezuela*. Fundación Polar. pp.77- 93.

⁸ F. Aragón-Cuevas, S. Taba, J. M. Hernández Casillas, C. Figueroa, V. Serrano Altamirano, F. H. Castro García, 2006. *Catálogo de Maíces Criollos de Oaxaca*. INIFAP-SAGARPA: Libro Técnico Núm. 6. Oaxaca, Oaxaca, México. 344 p.

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, utilizándose varios métodos para lograr la mejor articulación del material genético.⁹ De esta forma, se han obtenido variedades sintéticas y mejoradas mediante la selección masal de la población formada por las variedades originales, así como híbridos dobles y triples mediante cruzamiento de líneas puras de acuerdo al comportamiento de los mismos y la capacidad combinatoria. Igualmente, se ha utilizado el método de top crosses, en el cual una variedad de polinización abierta, se cruza con líneas puras exóticas con el fin de producir un híbrido para su inmediata utilización práctica.¹⁰

El uso de la diversidad existente en las razas cubanas, no sólo ha estado limitado a los programas de mejora que han ocurrido en el país, sino que también muchos híbridos actuales de Estados Unidos⁶ y otros países de Europa,¹¹ tienen como base genética maíces cubanos correspondientes fundamentalmente a las razas Criollo, Argentino y Tusón, de ahí la importancia de la conservación de esta diversidad.

Importancia de los maíces criollos en la generación de diversidad “*in situ*”

Los sistemas locales de semillas han jugado un relevante papel en el proceso de domesticación; estos mantienen una amplia variabilidad, que se adapta en pequeñas parcelas, donde los agricultores conservan *in situ* aquellas plantas consideradas útiles para las familias, mercado u otros fines.¹²

Lo anterior ha condicionado que en ciertos agroecosistemas se encuentren variedades genéticamente diversas y que, en la práctica, producto de la condición alógama del maíz, se

⁹ O. Rabí, 1984. Métodos de mejoramiento en el cultivo del Maíz. En: *Boletín de Reseñas. Hortalizas, Papa, Granos y Fibras*. CIDA (Eds). 50 p.

¹⁰ O. Rabí, 1997. *Comportamiento de una variedad de maíz de introducción*. X Forum de Ciencia y Técnica, IIHLD. pp. 3-5.

¹¹ C. Rebourg, M. Chastanet, B. Gouesnard, C. Welcker, P. Dubreuil, A. Charcosset, 2003. Maize introduction into Europe: The history reviewed in the light of molecular data. *Theor. Appl. Genet.* 106: 895-903.

¹² H. Ríos, J. Wright, 2000. Primeros intentos para estimular los flujos de semillas en Cuba. *Boletín de ILEA* 15 (3-4): 37-38.

produzca de manera incidental o inducida la recombinación genética de las poblaciones existentes. La interacción de las plantas cultivadas con sus parientes silvestres, junto con las prácticas de los agricultores de manejar simultáneamente varias variedades (lo que permite el cruzamiento) y condiciones socioeconómicas diversas, determinan en gran medida los conglomerados genéticos del maíz de las fincas, los cuales son complejos y dinámicos.¹³

“Maíz criollo” es un término campesino que comúnmente se utiliza para denotar que es un material nativo de la comunidad, región, estado o país y que se diferencia de un material extranjero, un maíz híbrido o una variedad mejorada. Está conformado por una población heterogénea de plantas, las cuales son diferenciadas por los agricultores por su color, textura, forma del grano, forma de la mazorca, ciclo vegetativo y uso. Son materiales que han sido formados por los agricultores durante años, mediante selección empírica y conservados y manejados, año tras año, en un complejo sistema de intercambio de semillas y genes. También puede considerarse como “maíz criollo” (“criollo hibridado” o “criollo mejorado”) a la población de plantas resultante de un cruzamiento natural o artificial (cruzamiento realizado por los agricultores, mejoradores o ambos) con un material mejorado, siempre y cuando la población tenga un 75% de las características del material criollo original y solo el 25% del material mejorado.⁸

A partir de los propios procesos que se generan en las comunidades y los criterios de identificación de las mejores mazorcas efectuado por los productores, se aseguran las semillas de buena calidad y la germinación de estas, lo cual

¹³ M. R. Bellon, J. A. Aguirre, M. Smale, J. Berthaud, M. Rosas, R. Martínez, 2001. Intervenciones participativas para la conservación del maíz en finca en los Valles Centrales de Oaxaca, México. *Memorias de la Conferencia Internacional sobre: Futuras Estrategias para Implementar Mejoramiento Participativo en los Cultivos de las Zonas Altas en la Región Andina*, 23-27 de septiembre del 2001, Quito, Ecuador. Daniel L. Daniyal, eds. 200 p.

está relacionado con el buen mantenimiento de los idiotipos en las comunidades.¹⁴

Como fuente de genes adaptados, las variedades de los agricultores han sido la materia prima de donde se han desarrollado las variedades modernas, que con frecuencia son de mayor rendimiento.¹⁵ Por eso la conservación de variedades locales tiene una importancia crucial tanto para los programas convencionales de mejoramiento de los cultivos como para la agricultura de subsistencia.

Fitomejoramiento Participativo. El caso del maíz

A finales de la década del 90, como formas de contrarrestar la carencia de variedades adaptadas a las condiciones de bajos insumos energéticos, surgieron nuevas variantes de investigación, donde se integraron los sistemas formal e informal de semillas y se identificaron diversos productores con capacidad de seleccionar y generar nueva diversidad con adaptación a ambientes locales y bajos insumos. Sin embargo, en la actualidad han sido poco documentadas las experiencias de los programas de mejora genética desarrollados por productores para obtener poblaciones de maíz adaptadas a las condiciones de bajos insumos de sus localidades.

Por tal motivo, pretendemos discutir algunas de los procedimientos que se siguieron para el desarrollo y la obtención de poblaciones de maíz (*Zea mays* L.) en condiciones de polinización abierta mediante FP. Dicho procedimiento se basó en una metodología de mejoramiento genético de poblaciones de maíz en condición de polinización abierta, la cual fue estructurada, diseñada e implementada por un productor y se introdujeron modificaciones a los esquemas tradicionales de mejoramiento descritos por diversos autores.^{10,21,22, 16, 17, 18}

¹⁴ D. Louette, M. Smale. 1998. Farmer's Seed Selection Practices and Maize Variety Characteristics in a Traditionally-Based Mexican Community. *CIMMYT Economics Working Paper* 98 (4). México, D.F. International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT).

¹⁵ A. Demissie, 2000. Conservación *in situ*. la experiencia etíope. *Boletín IIEA* 15 (3-4): 30-31.

¹⁶ D.S. Falconer, 1990. *Introducción a la Genética Cuantitativa*. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. México. 383 p.

Metodología desarrollada para el análisis del caso de estudio

Con el objetivo de mostrar más elementos acerca del procedimiento utilizado para la obtención de una población de maíz, se incluye en el presente documento informaciones de la etapa previa al esquema de mejora utilizado (Etapa I), así como una etapa posterior (Etapa III) que valida los avances en los caracteres morfológicos presentes en la población final.

Etapa I. Descripción del manejo de semillas. Antecedentes de la población de maíz “RAÚL”

La presente investigación se realizó en la finca de Raúl Hernández, ubicada en la porción sureste del municipio de Batabanó, provincia de Mayabeque. Dicho productor pertenece a la CCS “Deris García”, su sistema de producción se caracteriza por un bajo nivel de tecnificación de los sistemas de irrigación y mecanización, presentando un ambiente homogéneo, donde la producción de semillas se realiza en condiciones de bajos insumos energéticos.²²

El maíz es un cultivo de gran importancia económica y alimenticia en la zona y en el caso de este productor es cultivado durante todo el año, teniendo como época óptima mayo-junio. Se destaca que de acuerdo a las condiciones meteorológicas, se logran efectuar en varias ocasiones tres ciclos del cultivo en un mismo año.

Antes del año 2000, el productor contaba en su sistema con una mayor diversidad en el cultivo del maíz, condicionado porque poseía semillas propias (maíz criollo), así como semillas provenientes del Sistema Formal.

En el caso de la diversidad proveniente del Sistema Formal, la misma era suministrada por la Empresa de Semillas en cada época de siembra, quienes proporcionaban las semillas de líneas puras usadas como progenitores, así como los esquemas de cruzamientos, marco de plantación, diseño de

¹⁷ L. L. Paliwal, 2001. *El maíz en los trópicos*. Disponible en: http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP/003/X7650S/x7650s15.htm, Consultado en enero de 2012.

¹⁸ E. Paterniani, 2000. Origen y evolución de la especie. Sección 1: Evolución del maíz. En: *El maíz en Venezuela*. Fundación Polar. pp. 15-25.

área experimental y los insumos para este cultivo. Para el caso del maíz criollo, las semillas del mismo eran provenientes de la cosecha del ciclo anterior.

En esta región no existe un mercado local de semillas y el acceso al Sistema Formal, además de ser limitado, no es capaz de cubrir ni en calidad, ni en cantidad las semillas de maíz para la siguiente cosecha. Por tal motivo y como sucede en muchas regiones del país,¹⁹ este productor solía introducir nuevas semillas del exterior de la finca por medio del intercambio con vecinos y familiares de fincas cercanas, los que hacía colindar o eran mezcladas con sus propias semillas.

El intercambio de semillas es una práctica comúnmente usada a nivel local, donde se realiza la introducción de nueva diversidad para lograr “refrescar” las semillas de los cultivos a nivel de fincas. Con respecto al productor estudiado, esto significa que sembraba semillas del mismo tipo “criollo local” provenientes de otras fincas de la región y en ocasiones, provocaba la mezcla de los materiales criollos con los progenitores (líneas puras) suministrados por la Empresa de Semillas.

Sin embargo en la zona eran muy pocos los productores que conservaban materiales “criollos”, ya que el municipio de Batabanó ha sido uno de los más favorecidos por la Revolución Verde²⁰ y ha existido de manera general en los productores una mayor dependencia de semillas híbridas y variedades provenientes del Sistema Formal.

A finales de los años noventa y ante la agravante caída del campo socialista, ocurrió un desplome del sistema formal de semillas,²² lo que condujo a la carencia de insumos, por lo que las labores desarrolladas por el productor con respecto a la producción de semillas híbridas se vio afectada. De igual manera, hubo una carencia de ventas de semillas por parte del

¹⁹ R. Acosta, H. Ríos, G. Verde, D. Pomagualli, 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.

²⁰ Reporte IDRC. 2001. *Reporte Técnico del Proyecto Cubano de Fitomejoramiento Participativo como Estrategia Complementaria en Cuba. Resultados de la Etapa de Diagnóstico*. 47 p.

propio Sistema Formal, lo que conllevó a una erosión de la diversidad por parte del Sistema Formal, así como a nivel local.

En este contexto se desarrolla en el 2002 una Feria de maíz en la finca del productor Raúl Hernández, donde fueron expuestas 92 variedades provenientes de los sistemas formales e informales de semillas de varias regiones del país.²¹ El diseño e implementación de la Feria se desarrolló a partir de la demanda de la comunidad.^{26,22}

Etapa II. Descripción del esquema de mejoramiento genético y procedimiento para la obtención de variedades de maíz en condiciones de polinización abierta

A partir de semillas colectadas en la Feria de Diversidad y teniendo en cuenta los intereses del productor de poder contar con una variedad propia, se sentaron las bases para el desarrollo de un esquema de mejoramiento genético del cultivo del maíz en la finca de este productor. El estudio se llevó a cabo desde mayo del 2002 hasta abril de 2008, analizándose los criterios y los pasos seguidos para la selección y conformación de la población final. En la Figura 1 se muestra el esquema de selección de cultivares de maíz desarrollado, el cual se describirá a continuación.

Como paso inicial de este proceso, se practicó una selección individual de 300 plantas en el área que ocupaba la Feria de Diversidad. Las mismas fueron seleccionadas teniendo en cuenta caracteres de la planta y la mazorca como: vigor, número de mazorcas por planta, tamaño de las mazorcas (proporción entre largo/grosor) y cobertura de la mazorca. Los caracteres morfológicos grosor del tallo y altura de la planta son relacionados por el productor con la resistencia de la planta al ataque de los vientos, por lo que los mismos fueron caracteres considerados igualmente a la hora de seleccionar las plantas

²¹ C.F. de la Fé, H. Ríos, R. Ortiz, M. Martínez, R. Acosta, M. Ponce, S. Miranda, I. Moreno y L. Martín, 2003. Las Ferias de Agrobiodiversidad. Guía metodológica para su organización y desarrollo en Cuba. *Cultivos Tropicales*24 (4): 95-106.

²²R. Acosta, H. Ríos, A. Kessel, M. Martínez, M. Ponce, 2007. Selección Participativa de germoplasma cubano de maíz (*Zea mays*, L.) en el sistema local de Batabanó, la Habana. *Cultivos Tropicales*28 (2):63-70.

en campo. Las mazorcas de estas 300 plantas y los granos de las mismas fueron mezclados, conformando el Pool 1. Se destaca que la selección individual se efectuó de cultivares diferentes, partiendo de los criterios del productor, por lo que el origen y composición de los mismos es desconocido.

Todos los granos que componen el Pool 1 fueron sembrados siguiendo las mismas atenciones culturales desarrolladas por el productor para el cultivo del maíz, donde ocurre la producción de alimentos en condiciones de bajos insumos energéticos.²⁹

El Pool 1 fue sembrado en condición de libre polinización cruzada (policruce) y ocurrió una selección en campo de acuerdo a los mismos caracteres de la planta y mazorca considerados en el paso anterior. Posterior a este proceso, fueron seleccionadas las mazorcas de estas plantas y clasificadas en siete tipos de acuerdo a determinados caracteres de la mazorca y los granos.

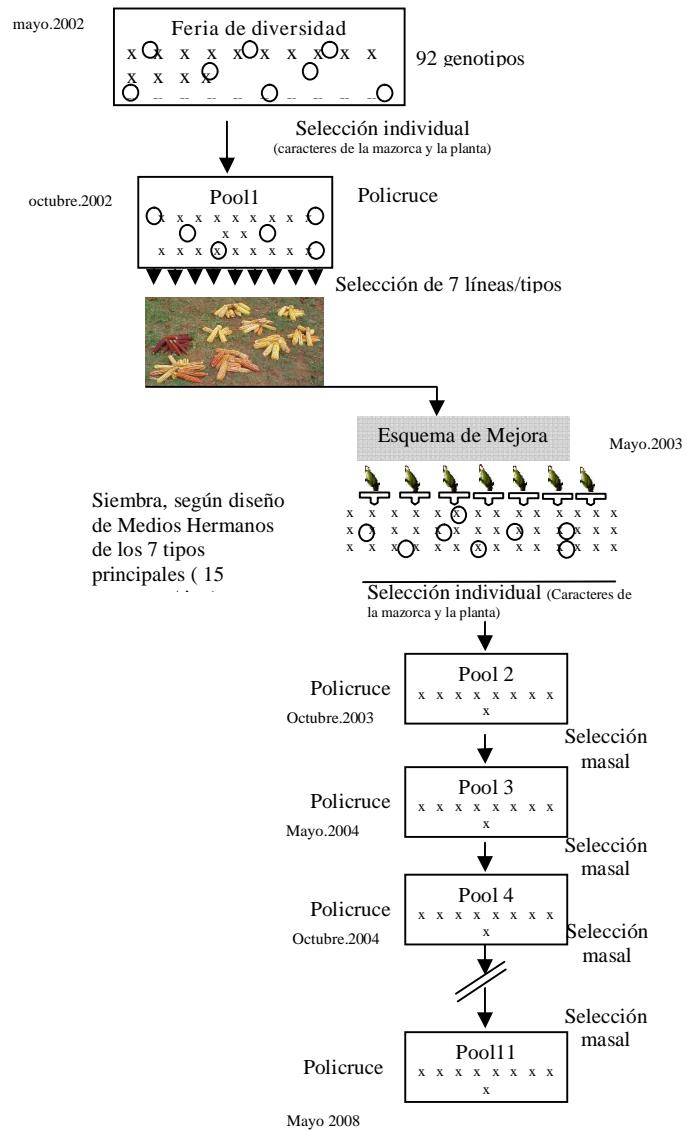


Figura 1. Esquema de selección y mejoramiento genético desarrollado.

Fotos del tipo	Caracterización de los tipos de maíces seleccionados, de acuerdo a los criterios del productor
	<p>Criollo de gluma roja:</p> <ul style="list-style-type: none"> Caracterizado principalmente por poseer glumas coloreadas. De acuerdo con Descriptor Carballo (2001), variando la intensidad de tenue a media. Entre 10-16 hileras de granos por mazorcas. Mazorcas de forma cilíndrica e hileras dispuestas en forma recta.
	<p>Rayado</p> <ul style="list-style-type: none"> Caracterizado principalmente por granos con endospermo amarillo-naranja y color dorsal del grano de tipo rayado (colores rojo y anaranjado en codominancia). Granos de tipo semidentado. Entre 12-14 hileras de granos por mazorca. Mazorcas de forma cilíndrica e hileras dispuestas en forma recta.
	<p>Tuzón</p> <ul style="list-style-type: none"> Las mazorcas son de medianas a largas y de forma cilíndrica. Hileras dispuestas en forma recta. De 14 a 18 hileras de granos. Granos dentados y largos, de tipo semidentado. El color de los granos es de amarillo a naranja. Las mazorcas tienen un diámetro medio de 45-55mm con un diámetro de la tusa de 30-40 mm.

Fotos del tipo	Caracterización de los tipos de maíces seleccionados, de acuerdo a los criterios del productor
	<p>Tayuyo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las mazorcas pequeñas, cilíndricas o ligeramente cónicas. • De 12 a 14 hileras de granos, los cuales son de tamaño mediano y redondeados. • El color de los granos es naranja y granos del tipo dentado y semidentado. • Las mazorcas tienen un diámetro medio de 35-50mm con un diámetro de la tusa de 25-30 mm.
	<p>Canilla amarillo/naranja:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las mazorcas son largas, delgadas y cilíndricas y extremadamente flexibles (en forma de velas). • De 10 a 16 hileras de granos (oscilando mayoritariamente de 10-14 hileras/mazorca). • Los granos son estrechos y rectangulares en la sección transversal, de tipo semicristalino. • Seleccionados en este tipo principalmente los de color amarillo-naranja. • Las mazorcas tienen un diámetro de 36-41 mm con un diámetro de la tusa de 20-28 mm.
	<p>Canilla rojo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las mazorcas son largas, delgadas, cilíndricas y extremadamente flexibles (en forma de velas) • De 10 a 16 hileras de granos, (oscilando mayoritariamente de 10-14 hileras/mazorca). • Los granos son estrechos y rectangulares en la sección transversal, de tipo semicristalino. • Seleccionados en este tipo principalmente los de color rojo. • Las mazorcas tienen un diámetro de 36-41mm con un diámetro de la tusa de 20-28 mm.

Fotos del tipo	Caracterización de los tipos de maíces seleccionados, de acuerdo a los criterios del productor
	<p>Criollo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mazorcas de medianas a largas, cilíndricas o ligeramente cónicas. • De 12 a 16 hileras de granos. • Granos de tamaño mediano, semicristalinos. • Color de los granos amarillo-naranja. • Mazorcas con un diámetro de 46-53 mm y un diámetro de la tusa de 28-41 mm.
<p>Caracteres más comunes en la selección practicada por los productores:</p> <ul style="list-style-type: none"> ⇒ Cierre de la mazorca Bueno ⇒ Plantas medianas, con altura de la planta entre 2,0-2,5 m, ⇒ Plantas de tallos de buen grosor (de acuerdo a Descriptor Carballo (2001), oscilando entre los tipos Mediano (16-20mm) y Grueso (21-25mm) 	

A partir de los siete tipos clasificados por el productor (Criollo de gluma roja, Rayado, Tuzón, Tayuyo, Canilla amarillo/naranja, Canilla rojo y Criollo) se desarrolló el esquema de siembra, donde fueron seleccionadas quince mazorcas por tipo, de forma aleatorizada y sembradas en campo siguiendo el diseño de Medios Hermanos o Mazorca-Surco. Este esquema fue seleccionado con el objetivo de lograr la máxima segregación de los caracteres morfoagronómicos de mayor interés para el productor.

En todos los surcos se practicó una selección individual para los mismos caracteres de la planta y la mazorca considerados anteriormente: vigor, número de mazorcas por planta, grosor del tallo, altura de la planta, tamaño de las mazorcas (proporción entre largo/grosor) y cobertura de la mazorca. Las mazorcas de cada una de las hileras fueron cosechadas y mezcladas en el pilón, por lo que no fue considerada la tipificación de origen.

Los intereses del productor se centraban en la obtención de una variedad final con mayores rendimientos, pero reuniendo principalmente las características del grano (longitud) y las mazorcas del tipo Canilla. Por tal motivo, fue efectuada una selección individual de mazorcas en el pilón que correspondiera principalmente con estas características; además, fueron consideradas aquellas mazorcas que cumplían

con las características de los tipos Criollo, Tayuyo y Tuzón: contar con más de doce hileras de granos, granos de tipo semidentado-dentado y mazorcas de buen grosor. Los granos provenientes de estas mazorcas, fueron mezclados y sembrados en campo.

En el momento de la cosecha fueron seleccionadas las mazorcas que reunían las características anteriormente mencionadas mediante Selección Masal. Dicho proceso se desarrolló durante 4 años, donde se efectuaron dos ciclos de siembra anuales (mayo y octubre), hasta la obtención y conformación del Pool 8.

El programa de mejoramiento concebido coincide con lo planteado por diversos autores,²³ quienes afirman que cuando el FP está dirigido por el agricultor, este tiende a diferenciarse del mejoramiento institucional y del FP controlado por las instituciones debido al número de cruces hechos y de poblaciones mejoradas probadas.

Cabe destacar, que desde el comienzo del proceso de selección de los cultivares y mejora de los mismos, las semillas consideradas para la siguiente generación, provenían de la zona central de las mazorcas superiores de las plantas seleccionadas. Esta práctica se corresponde con la desarrollada por los productores y con lo descrito en el Manual de Descriptores del IBPGRI.²⁴ En cada una de estas selecciones fueron cosechadas semillas y las mismas se conservaron en la colección de trabajo de maíz del PIAL.

²³ C. Almekinders, J. Hardo, F. Guevara, 2008. Un nuevo respeto para los agricultores: Experiencias en Fitomejoramiento Participativo y los desafíos para su institucionalización. *Agronomía Especial* 5, Agronomía, Wageningen 147 p.

²⁴ IPGRI, 2001. Descriptors for Maize. International Maize and Wheat Improvement Center, Mexico City/International Board for Plant. *Genetic Resource*, Rome. 261 p.

Etapa III. Principales resultados que validan el procedimiento de obtención de poblaciones de maíz (*Zea mays*, L.) en condiciones de polinización abierta mediante fitomejoramiento participativo

Caracterización morfoagronómica de la población de maíz “RAÚL”

Con el objetivo de caracterizar la diversidad morfoagronómica de la población “RAÚL”, fueron sembradas en la época de primavera-verano (julio de 2009), en la propia finca del productor referido, semillas prospectadas de la última cosecha. Estas plantas fueron sembradas a una distancia de 0,90m x 0,35m, ocupándose un área de plantación de 100 m², bajo las mismas atenciones culturales donde fue obtenida la población final. Combinada con esta población, fue usada como testigo la variedad “Francisco Mejorado”, proveniente de la Empresa de Semillas. La distancia de siembra utilizada fue la misma que se utilizó para la población “RAÚL” (0,90m x 0,35m), ocupándose un área de plantación de 10 m². Tanto la población “RAÚL” como el testigo fueron evaluados de acuerdo a caracteres vegetativos y morfoagronómicos.

Medición de efecto de la selección en la población “RAÚL”

Con el objetivo de evaluar el comportamiento de la población “RAÚL”, la misma fue comparada con respecto al testigo para las variables cuantitativas de la mazorca: lm- longitud de la mazorca, d- diámetro medio, nh- número de hileras, ngh- número de granos por hileras y ngm- número de granos por mazorca. Los caracteres anteriores fueron los seleccionados para efectuar la comparación por ser aquellos donde se ejerció la mayor presión de selección en el programa de mejora de generación en generación.

Caracterización molecular de la población “RAÚL”

De acuerdo con Strickberger (1991),²⁵ para los genetistas la selección entre fenotipos diferentes suele tener pocas consecuencias para la futura evolución de la población, a no ser que dé lugar a cambios genéticos. Por tal motivo, la ausencia de diferencias genéticas entre los fenotipos de las

²⁵ M.W. Strickberger, 1988. *Genética*. 3^{ra} Edición. Editorial Omega. 870 p.

“líneas puras” homocigóticas ofrece escasas oportunidades para que la selección produzca cambios notables. O sea, como plantea el Teorema fundamental de la selección de Fisher, “...cuanto mayor sea la variabilidad genética sobre la que pueda actuar la selección por eficacia biológica, tanto mayor será el incremento de esta eficacia”.

Teniendo como base estos principios, se efectuó la comparación del comportamiento de los alelos en cada ciclo de selección, estimándose las variaciones genéticas que sucedieron en las poblaciones formadas en los diferentes ciclos de selección, hasta la obtención de la población final. Para ello, las semillas almacenadas de los diferentes Pool (Pool 1 al Pool 8) fueron analizadas mediante 27 marcadores SSR (Simple Secuence Repeat, por sus siglas en inglés) en el CIMMYT. Para cada uno de los pool, fueron calculadas las frecuencias de cada uno de los alelos, con el uso del Programa Freqs-R.²⁶ A partir de estos resultados, fue comparada la frecuencia de cada uno de los alelos en el pool inicial, con respecto a la frecuencia obtenida por los mismos en el pool final.

Evaluación de la calidad nutricional del grano

Para la caracterización de la calidad nutricional del grano, fue analizada esta población para los caracteres: contenido de nitrógeno total (N), grasa cruda (GC), azúcares totales (AT), cenizas (Cen), Lisina (Lis), Triptófano (Trp), contenido de zinc (Zn), hierro (Fe), sodio (Na), calcio (Ca), fósforo (P), magnesio (Mg) y potasio (K).

Una descripción más detallada de los pasos seguidos en este sentido, fueron mostrados en el capítulo anterior del presente libro.

Principales resultados

Caracterización morfoagronómica de la población de maíz “RAÚL”

Al efectuarse un análisis acerca de los caracteres vegetativos, se observa en la población que la floración masculina (DA-Días hasta la antesis) ocurre a los 46 días (46 ± 2.36) de haber

²⁶ <http://www.generationcp.org/bioinformatics.php>. Consultado en octubre de 2009.

sido sembrado y la floración femenina (DE- Días hasta la emisión de los estigmas) alrededor del día 52 (52±2.36).

En el caso de los caracteres cualitativos de la mazorca y el grano, se observa que la población muestra mazorcas de forma cónica-cilíndrica, con hileras dispuestas ligeramente en espiral y granos de color naranja semidentados. Al igual que en otros estudios previos realizado en variedades de criollos locales,²⁶ el carácter de las mazorcas cierre (cierre/cobertura) es bueno, carácter que conjuntamente con el tipo (tipo de granos) semidentado, garantiza la conservación de las semillas, al hacerlas menos susceptibles al ataque de insectos de almacén.

Al observar el comportamiento de estos caracteres cualitativos —los que son menos influenciados por el ambiente—¹⁶ se corrobora que dentro de la diversidad de sus poblaciones los campesinos logran conservar en su variedad criolla las características que les interesan por medio de la selección, actividad fundamental para mantener la entidad fenotípica de una variedad en cultivos alógamos como el maíz.

Se considera que la población se caracteriza por ser alta, presentando una medida con respecto a la mazorca superior alta y diámetro medio del tallo mediano; con tendencia a tener de una a dos mazorcas, las cuales son largas y delgadas. Para el carácter Número de hileras (nh) se observa que el 75% de los casos poseen mazorcas de catorce hileras, con una cantidad de granos numerosos.

Para el carácter Longitud del grano (lg) se muestra que los valores tienen una media de 1,09 cm. Observándose que el 75% de los casos poseen granos principalmente de 1,15 cm de longitud, 1,0 cm de ancho y 0,46 cm de grosor. Respecto a estos caracteres no aparece en los descriptores utilizados^{30,27} una referencia respecto a la tipificación de los mismos. Sin embargo, se observa que —de acuerdo al carácter Longitud del grano— de forma general la población muestra granos alargados. Cabe destacar que el productor enfatizó su programa de selección y mejora en granos del tipo Canilla principalmente, lo que corresponde con la tipificación de este

²⁷ A. Carballo, 2001. *Manual gráfico para la descripción varietal del Maíz (Zea mays; L.)*. 1ed. México: SAGARPA. 114 p.

idiotípico,²⁸ donde se reporta que posee granos largos y estrechos, de 1 a 1,5 cm de longitud.

Caracterización molecular de la población “RAÚL”

Partiendo de la premisa de que la eficacia biológica de una población aumenta con una velocidad proporcional a la variabilidad o diferencias genéticas presentes en la población³¹ se realizó un análisis genético a la población “RAÚL”. De esta forma, fue comparado el pool final con respecto al pool inicial mediante el comportamiento de los alelos de los 27 SSR utilizados, observándose los valores de este diferencial en la Figura 2.

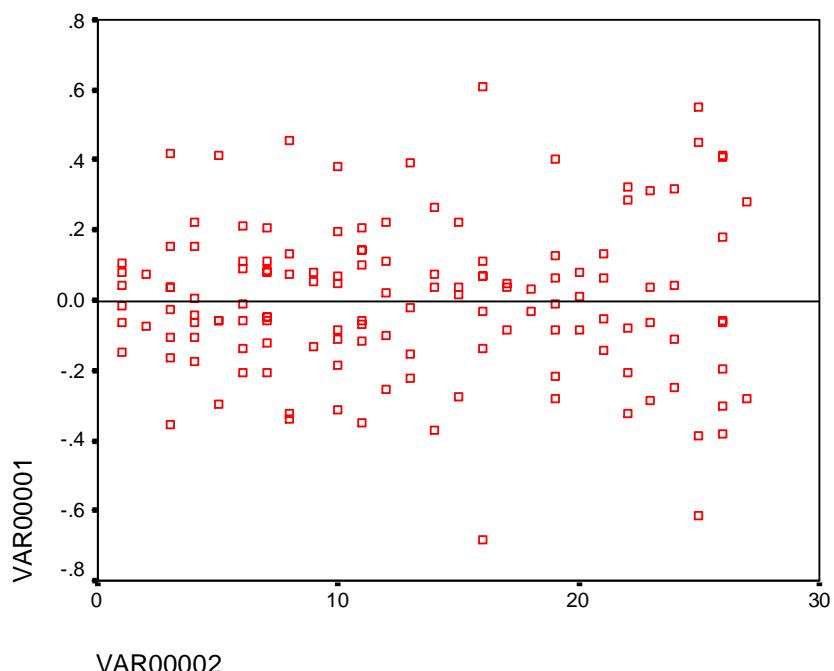


Figura 2. Distribución de los 27 SSR. Representación de los cambios de frecuencia de los alelos. Cada punto representa el valor del alelo ($P_f - P_i$) pob.

²⁸ M. Socorro y F. D. Martín, 1989. *Granos*. Editorial Pueblo y Educación, La Habana, 318 p.

Al analizar el comportamiento de los alelos de los 27 SSR utilizados, se observa una alta variabilidad en el diferencial analizado (Pf-Pi). Teniendo como antecedentes que estas poblaciones sufrieron un proceso de mejora y selección de los caracteres deseados por el productor, se pudiera suponer que hubo una pérdida de determinados alelos, producto del efecto de la selección direccional hacia caracteres fenotípicos de interés.³³

A pesar de que se plantea que la selección puede suponer un peligro para la diversidad genética de los cultivos existentes, en la Figura 2 se observa que para más del 50% de los alelos, los valores del diferencial (Pf-Pi) pob se encuentran por encima del eje de coordenadas, lo que hace suponer un incremento de las frecuencias de los alelos con respecto a la población inicial. Estos resultados corroboran que, a la vez que se efectúa un proceso de selección y mejoramiento genético, los productores son capaces de lograr una mejora fenotípica de sus poblaciones, al mismo tiempo que preservan la variabilidad genética de estas.²⁹ Este aspecto es de vital importancia y es un elemento más de diversidad genética que poseen los cultivares locales de maíz, aspecto que puede estar relacionado con la alta adaptabilidad que poseen los maíces criollos ante ambientes cambiantes que suceden en las comunidades campesinas año tras año.^{3,13,15}

Medición de efecto de la selección en la población “RAÚL”

Al efectuar el análisis comparativo para los caracteres morfoagronómicos evaluados entre la población “RAÚL” y el testigo, se observa que en el caso del carácter Longitud de la mazorca (Im) no existieron diferencias significativas en cuanto a los valores medios de estos caracteres para el 75% de la población evaluada cuando se efectuó la prueba de X^2 de comparación de proporciones, para un intervalo de confianza de 95% (p 0,005) (Tabla I). Sin embargo, para el carácter Peso de 100granos (peso100 g) se observa que las medias difieren

²⁹ M. C. Vaz Patto, P. M. Moreira, N. Almeida, Z. Satovic, S. Pego, 2008. Genetic Diversity evolution through participatory maize breeding in Portugal. *Euphytica* 161: 283-291.

significativamente entre la población “RAÚL” y el testigo. Igualmente sucede en el caso de los caracteres Número de hileras (nh), Número de granos por hileras (ngh) Número de granos por mazorca (ngm).

Tabla I. Estadísticos descriptivos para los caracteres morfoagronómicos del grano: Peso de 100 granos (peso100g), y la mazorca: Longitud de la mazorca, (Lm), Número de hileras (nh), Número de granos por hileras (ngh), Número de granos por mazorca (ngm), Diámetro medio de la mazorca (d), en la población “RAÚL” y el testigo. Letras diferentes indican diferencias significativas en la Prueba χ^2 de comparación de proporciones, $p < 0.05$; n.s- no existen diferencias.

	Lm “RAÚL”	l _m Testigo	d “RAÚL”	d testigo	peso100g “RAÚL”	peso100g testigo
N	100	108	100	108	100	79
Media	20.6760 n.s	15.4204n.s	4.5964n.s	4.1850n.s	33.7800 ^a	22.7823 ^b
Desv. típ.	1.68050	2.54021	.34685	.44770	4.45988	3.66686
Percentiles	25	19.7000	13.6000	4.3125	32.0000	20.5000
	50	20.5500	15.1000	4.5850	33.5000	23.0000
	75	21.5750	17.3750	4.8750	36.0000	25.0000

	nh “RAÚL”	Nh testigo	Ngm “RAÚL”	Ng testigo	ng “RAÚL”	Ng testigo
N	100	108	100	108	100	108
Moda	14.00 ^a	12.00 ^b	42.00 ^a	26.00 ^b	504.00 ^a	312.00 ^b
Desv. típ.	1.51424	1.12494	4.99377	5.10631	182.12584	75.08622
Percentiles	25	12.0000	12.0000	38.0000	25.0000	480.0000
	50	14.0000	12.0000	42.0000	28.0000	532.0000
	75	14.0000	12.0000	45.0000	32.0000	622.0000
						384.0000

Los resultados obtenidos en la población final validan el procedimiento de mejora desarrollado, coincidiendo con lo planteado por diversos autores,²⁹ quienes plantean que la efectividad de la selección en las generaciones más adelantadas en los programas de mejoramiento mediante el FP está determinada por la habilidad de los agricultores para reconocer esas plantas, dentro de la variedad que más satisfaga sus requerimientos. Su habilidad para hacer esto es obvia. Los factores importantes para el éxito continuo de estos programas son la intensidad de selección y el aseguramiento de que todas las características preferidas se mantengan en la siguiente generación. Esto precisa algún entrenamiento y guía inicial. Sin embargo, no necesariamente requiere del cumplimiento estricto de protocolos y diseños experimentales que comúnmente se emplean en el mejoramiento institucional.

Calidad nutricional del grano de la población “RAÚL”

Al efectuar un estudio con respecto a la calidad nutricional de la población final, se observó que, en cuanto al contenido de triptófano e índice de calidad, la población “RAÚL” mostró un valor mayor que la variedad estándar utilizada como testigo.

Tabla 2. Calidad nutricional del grano de la población “RAÚL”.
(VACP. Variedad Testigo de Alta Calidad Nutricional)

Código	Minerales totales (%)	Grasa cruda (%)	Azúcares solubles (%)	Proteína (%)	Lisina (%)	Triptófano (%)	Índice de calidad (%)
Testigo Estándar	-	-	6,4	10,63	0,354	0,065	0,61
Testigo VACP	-	-	-	8,63	0,383	0,097	1,12
Población “RAÚL”	1,41	4,31	4,1	8,67	0,289	0,066	0,761

Conclusiones generales

Los resultados obtenidos en el rendimiento de la población “RAÚL” con respecto al testigo, validan grandemente la selección efectuada por el productor para estos caracteres, generando “pistas” de los resultados del programa de selección para lograr el mejoramiento de esta población de maíz en condiciones de bajos insumos energéticos.

A pesar de que algunos autores plantean que en el proceso de domesticación y durante el manejo de las poblaciones (in situ y ex situ), pueden estarse activando procesos que causen la pérdida de variantes genéticas en el cultivo;³⁰ otros autores³¹ plantean que las comunidades rurales han mantenido y generado una gran diversidad genética durante siglos, lo que constituye hoy la fuente de donde el sistema formal institucional obtiene los recursos genéticos para los bancos de germoplasma y la industria de semillas.

Los resultados del presente estudio, demuestran la importancia de los procesos de selección y mejora que efectúan los productores de manera cotidiana en sus sistemas agrícolas y, específicamente, en las poblaciones de maíz. Además, muestran la importancia de considerar en los programas de mejora actuales la optimización de las prácticas agronómicas para lograr rendimientos mayores y más sostenibles.³²

³⁰ L. Zhang, A. S. Peek, D. Dunams, B. S. Gaut, 2002. Population Genetics of Duplicated Disease-Defense Genes, hm1 and hm2, in Maize (*Zea mays* ssp. *mays* L.) and its wild Ancestor (*Zea mays* ssp. *parviflora*). *Genetics* 162: 851-860.

³¹ M. A. Martínez Farias, 2005. Biodiversidad. Visiones y Estrategias para la Conservación. En: *CLADES* No. 13. Disponible en: <http://www.clades.cl/revistas/13/rev13agr5.htm>.

³² A. Bejarano, V. Segovia, 2000. Origen y evolución de la especie. Sección 1 Origen del maíz. En: *El maíz en Venezuela*. Fundación Polar. pp.11-14.