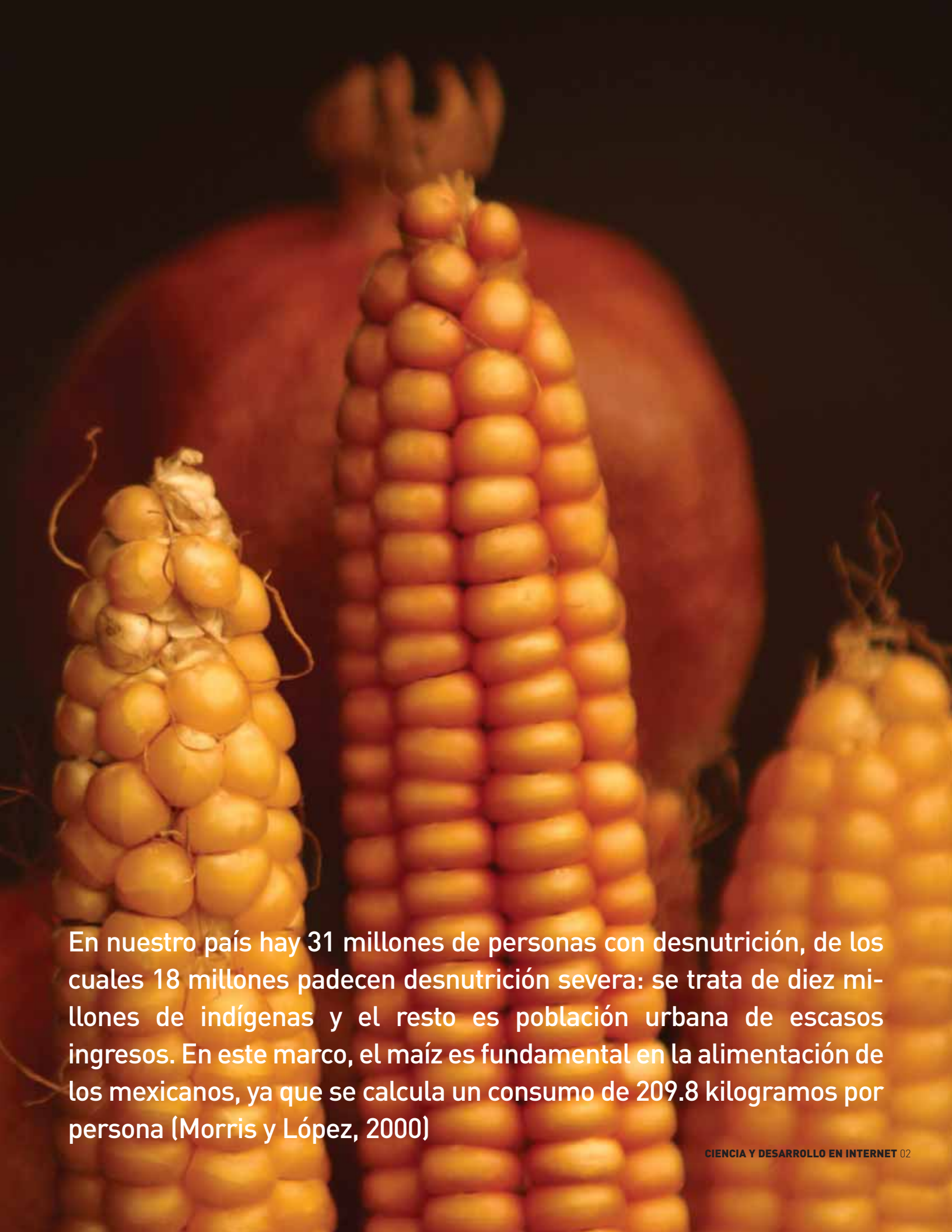



Los Maíces de calidad, **PROTEINICA** y la producción de semillas en México

ALEJANDRO ESPINOSA C., NOEL GÓMEZ M., MAURO SIERRA M., FILIBERTO CABALLERO H., BULMARO COUTIÑO E., ARTEMIO PALAFOX C., FLAVIO RODRÍGUEZ M., ABRAHAM GARCÍA B., OCTAVIO CANO R. Y ESTEBAN BETANZOS M.

The image shows three ears of yellow corn arranged vertically. The central ear is the largest and most prominent, with its kernels clearly visible. To its left and right are two smaller ears, partially cut off by the frame. The background is dark and out of focus, highlighting the texture and color of the corn. The lighting is warm, giving the corn a golden-yellow hue.

En nuestro país hay 31 millones de personas con desnutrición, de los cuales 18 millones padecen desnutrición severa: se trata de diez millones de indígenas y el resto es población urbana de escasos ingresos. En este marco, el maíz es fundamental en la alimentación de los mexicanos, ya que se calcula un consumo de 209.8 kilogramos por persona (Morris y López, 2000)



El maíz es, así mismo, el cultivo más importante en México, cada año se siembran 8.5 millones de hectáreas, lo que representa 60% de la producción total de granos; brinda 59% de la energía necesaria (1,363 kilocalorías) y 39% de la proteína (29 gramos); sin embargo, no proporciona suficiente lisina y triptofano, aminoácidos esenciales para las funciones metabólicas, el crecimiento y el desarrollo de todos los animales.

El problema se inicia en la escasa producción, lo que se complica con la limitada calidad del grano, y se agudiza porque en México no se produce todo el maíz necesario y se recurre cada año a fuertes importaciones, que van de cinco a ocho millones de toneladas.

Como alternativa a la desnutrición y baja producción, en diversos países donde el cultivo del maíz es importante, en los últimos años se trabaja con los llamados maíces de calidad proteínica (QPM, por sus siglas en inglés: Quality Protein Maize), los cuales contienen hasta 100% más lisina y triptofano que los maíces comunes; de hecho, la calidad proteínica de los maíces QPM es similar a la de la leche (Bressani, 1994).

En México, estos trabajos se han realizado desde 1996, encabezados por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) en coordinación con el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP). Desde entonces, se ha generado, evaluado e incrementado la producción de semilla de híbridos y variedades de maíz con alta calidad de proteína.

El aprovechamiento de los maíces QPM es de 90%, en comparación con 39% de los maíces comunes (Sierra *et al.*, 2001). Por ello, también pueden utilizarse en la alimentación de aves y cerdos, ya que se ha encontrado que con una menor cantidad de alimento se puede incrementar el peso que se logra con el grano de calidad normal.

El consumo generalizado de los maíces QPM podría mejorar el nivel nutricional en México, de manera especial en niños, mujeres lactantes y ancianos; sin embargo, para lograr su uso extensivo es necesaria la participación de actores sociales de distintos niveles de decisión, así como la coordinación de varias instituciones para apoyar este programa. En este trabajo se presentan algunas actividades realizadas en torno a los QPM, con énfasis en la producción de semillas, analizándose la problemática y las perspectivas de uso extensivo de estos maíces en nuestro país.

→Antecedentes del maíz de calidad proteínica

El QPM tuvo su origen en el llamado *Opaco 2*, producto de un mutante procedente de Perú, descu-

bierto en 1963 por Mertz, Bates y Nelson, de la universidad estadounidense de Purdue (Mertz *et al.*, 1964). Los maíces desarrollados a partir del *Opaco 2* poseían la misma cantidad total de proteínas, con la ventaja de contener el doble de lisina y triptofano; no obstante, por su textura harinosa el peso de grano y su rendimiento en campo resultaron muy bajos, además de ser fácilmente atacados por las plagas.

En México, el INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas), organismo antecesor del actual INIFAP, convirtió las líneas progenitoras del H-507, así como otros híbridos y variedades de polinización libre al carácter *Opaco 2*, pero las desventajas mencionadas propiciaron que en 1975 todos los países, incluyendo el nuestro, abandonaran las investigaciones con ese tipo de maíz. Los trabajos del doctor Surinder Vasal en colaboración con la doctora Evangelina Villegas, mediante técnicas de mejoramiento convencional, permitieron la incorporación de genes modificadores al maíz *Opaco 2*, los cuales le confieren una textura del endospermo similar al maíz normal, pero con la calidad proteínica en el grano.

En la década de los años ochenta se obtuvo lo que ahora es el nuevo tipo de maíces, con la calidad proteínica característica y sin las desventajas iniciales del antecesor; éstos ahora se conocen mundialmente como Maíces de Calidad Proteínica, pues los mencionados genes modificadores confieren una textura de grano más dura que el maíz opaco, dando la apariencia de un maíz común o normal (Vasal, 1994). Los trabajos desarrollados por Vasal y Villegas fueron reconocidos en el año 2000 con el Premio Mundial de Alimentación.

Posteriormente se desarrollaron numerosas líneas progenitoras de QPM, con las cuales se formó gran cantidad de híbridos y variedades. El CIMMYT ha promovido estos tipos de maíces en Guatemala, El Salvador, Nicaragua, Honduras, Brasil, China, India, Sudáfrica, Ghana y Zimbabue, entre otros. Para México, el INIFAP definió un grupo de variedades e híbridos evaluados intensivamente en todo el país, de los cuales se eligieron los mejores, para producir semilla y generar información en distintas líneas. El doctor Hugo Córdova y sus colaboradores han tenido un papel relevante (Ortega, *et al.* 2001) en el apoyo de su uso y difusión masiva.

Los trabajos con QPM en México se llevaron a cabo en torno a ocho proyectos, con la participación de más de 60 especialistas, cuyas líneas fueron: mejoramiento genético, producción y tecnología de semillas, forrajes, plagas de granos almacenados, manejo agronómico,

transferencia de tecnología, efecto en alimentación humana y dieta de animales y análisis de la calidad.

Dentro de las actividades de producción y tecnología de semillas destaca la caracterización varietal de cada uno de los materiales, líneas y cruza simples progenitoras, para tramitar la inscripción en el *Catálogo de Variedades Factibles de Certificación* (CVC) lográndose en 1999 y 2000 la liberación de más de treinta híbridos y variedades.

Las estimaciones iniciales señalaban de manera optimista la posibilidad de uso en grandes extensiones de la superficie cultivada de maíz con los materiales QPM; no obstante que surgieron diversos problemas. Sería factible, en el corto plazo, la siembra de los maíces QPM en superficies de 300 mil hectáreas y, paulatinamente, aumentar esta superficie, pero para ello se requieren los esfuerzos integrados entre organismos e instituciones para organizar de forma eficiente la operación de programas de apoyo a la difusión de maíces QPM.

→La producción de maíz en México y su demanda

La demanda anual de maíz en nuestro país es superior a los 24 millones de toneladas, el rendimiento medio nacional es de 2.4 toneladas por hectárea, y al año se importa 30% del maíz necesario. En la república mexicana existe todo un universo de agrosistemas (provincias agronómicas), donde se cultiva maíz con características definidas: el programa de maíz del INIFAP ha definido 15 grandes macroambientes de este cultivo (Turrent, 2002).

→Aportación tecnológica de los maíces QPM

El desarrollo de una nueva variedad de cualquier cultivo implica una gran inversión económica y por lo menos doce años de constante dedicación de personal altamente capacitado para elegir el mejor germoplasma, derivación de líneas, formación de híbridos, evaluación y selección de mejores materiales, validación comercial, incremento de progenitores, producción de semilla, distribución comercial; es sabido que para ver resultados deben pasar, por lo menos, una veintena de años. Por ello, obtener, desarrollar y promover el uso extensivo de más de 30 maíces de calidad proteínica es una aportación tecnológica que resume el esfuerzo de numerosos científicos, en especial, los investigadores Surinder Vasal y de Hugo Córdova, ambos del CIMMYT, quienes generaron las líneas progenitoras y las combinaciones de todos los híbridos que ahora están disponibles. Los materiales liberados para su uso en México incluyen híbridos simples, híbridos trilineales, variedades sintéticas e híbridos varietales. Aunque la mayoría son de grano blanco, también se cuenta con tres materiales amarillos y con una variedad que puede usarse como forrajera para ensilar.





→El registro de las variedades QPM

El aprovechamiento de las variedades mejoradas QPM requirió la caracterización varietal de los híbridos y variedades mejoradas, la cual se realizó a partir del ciclo otoño-invierno 1998/1999, en los campos experimentales de Cotaxtla, Iguala, Valle de Apatzingán, Costa de Jalisco y el de la Zona Henequenera, en los cuales se obtuvo la información necesaria para inscribir cada uno de los materiales y sus progenitores en el Catálogo de Variedades Factibles de Certificación (CVC), con lo que se produjo semilla en categoría, básica, registrada y certificada, desde el ciclo primavera-verano 1999.

La nomenclatura de los materiales registrados se ajustó al INIFAP, incluyendo numeraciones por regiones de adaptación, lo que denota altitudes sobre el nivel del mar, regímenes de humedad y ciclo vegetativo de las variedades. Sin embargo, el área de adaptación rebasó en varios casos los niveles y regiones establecidos con anterioridad. A la numeración se adicionó la letra C después del número asignado para

especificar que es de calidad, en el caso de maíces amarillos se agrega AC, que significa Amarillo de calidad. Al material híbrido se asigna la letra H; una variedad se define con una letra V, una variedad sintética con las letras vs y los híbridos intervarietales con las letras HV.

→Adaptación de los materiales QPM

Las variedades liberadas no cubren la totalidad de los macroambientes de producción, pero los fitomejoradores del INIFAP continúan en la búsqueda de mejoramiento y próximamente se tendrán variedades con adaptación en la mayoría de condiciones donde se cultiva maíz en México. Estos investigadores están incorporando la característica de calidad a maíces criollos en la zona mixteca oaxaqueña, en la Montaña de Guerrero, la Meseta comiteca, en Chiapas y Valles Altos (Estado de México, Puebla, Tlaxcala, Querétaro), así como en muchas otras regiones, a la versión QPM.

Se pretende que los materiales convertidos a QPM sean semejantes a los utilizados por el

Cuadro 1.
Números de inscripción al Catálogo de Variedades Factibles de Certificación (CVC)

VARIEDAD	NÚMERO DE REGISTRO CVC	VARIEDAD	NÚMERO DE REGISTRO CVC
VS-334C	1324-MAZ-567-200900/C	H-442C	1314-MAZ-557-010900/C
VS-335C	1325-MAZ-568-200900/C	H-469C	1315-MAZ-558-010900/C
H-519C	1308-MAZ-551-150800/C	HV-521C	1316-MAZ-559-010900/C
H-553C	1309-MAZ-552-150800/C	H-551C	1317-MAZ-560-010900/C
H-363C	1310-MAZ-553-010900/C	H-552C	1318-MAZ-561-010900/C
H-365C	1311-MAZ-554-010900/C	H-554C	1319-MAZ-562-010900/C
H-367C	1312-MAZ-555-010900/C	H-555C	1320-MAZ-563-010900/C
H-368C	1313-MAZ-556-010900/C	V-537C	1322-MAZ-565-200900/C
V-538C	1323-MAZ-566-200900/C		

agricultor, con rendimientos similares o superiores en productividad y calidad proteínica. Para propiciar el uso extensivo de estos maíces conviene no provocar una inversión adicional en fertilizante u otros insumos, además de hacer recomendaciones sobre variedades e híbridos específicos para cada región y lugar; incluso, en el caso de las variedades de polinización libre, el agricultor podría producir su propia semilla.

Ante la ausencia de la Productora Nacional de Semillas (PRONASE), con los maíces QPM podrían promoverse esquemas localizados de abasto de semillas, es decir autoabasto para

grupos de agricultores, ejidatarios y asociaciones de productores, de tal manera que la semilla tenga precio accesible, sea fácil de producir y se cuente con garantía de la calidad genética. Dichos esquemas estarían apoyados en asociaciones de productores y sus redes de empresas de semilla a baja escala.

→Producción de semilla QPM

Para lograr el uso extensivo de las variedades QPM es necesario contar con semilla suficiente de las categorías básica y registrada, con base en las cuales se puede avanzar hacia la semilla



certificada, que es la que emplean los agricultores. A partir del ciclo otoño-invierno 1998-1999, se sembraron 8.5 hectáreas de campos experimentales del INIFAP, con la finalidad de producir la semilla original necesaria de maíces de calidad proteínica (QPM) y abastecer así el programa de producción de semilla registrada. En el ciclo primavera-verano 1999, se obtuvieron 530 toneladas de semilla registrada, con mayor proporción de variedades de polinización libre; a partir de esta semilla se avanzó de la registrada hacia la certificada, logrando establecer más de 2,300 hectáreas de producción a cargo de la PRONASE, la Fundación Mexicana para la Investigación Agropecuaria y Forestal (FUMIAF) e INIFAP, donde la mayoría fueron variedades de polinización libre (V-537 C, V-538 C).

En el año 2000, fueron cultivadas 70 mil hectáreas en veinte estados de la república mexicana con la semilla QPM que cumplió con la certificación; pero algunos lotes de semilla con baja germinación fueron detectados y se intervino para corregir dicho material. En otros lugares bajo condiciones de alta productividad fueron sembradas las variedades, cuando su ámbito de respuesta debe ser en condiciones de temporal; entonces el rendimiento fue insuficiente, considerando la expectativa de los agricultores, quienes debieron recibir semilla de híbridos QPM con alto potencial productivo.

Esa situación limitó una mayor penetración de los materiales QPM, lo que se atribuye a la inadecuada utilización de las ventajas técnicamente reconocidas. Lamentablemente ha sido poco su aprovechamiento aún cuando se ha contado con progenitores de híbridos con impacto en áreas de alto potencial de rendimiento, y que se continuó con la producción de semillas para ofrecer en forma constante volúmenes de semilla básica y registrada, con énfasis en progenitores de nueve híbridos de maíz, para su avance hacia semilla certificada. Se ha contado con progenitores en cantidad

suficiente por lo menos para 100,000 hectáreas de híbridos.

La multiplicación de semillas requiere de información técnica y sobre el manejo agronómico, áreas de adaptación óptima, fechas de siembra, coincidencia a floración, relación hembra-macho, forma óptima de desespigue, siembra entre cada progenitor, de población, fertilización convencional, respuesta a biofertilizantes, además de todos los datos que permitan elevar los rendimientos de cada progenitor, así como semilla certificada. Para los nueve maíces QPM sobresalientes se cuenta con información para apoyar a las empresas de semillas en esta actividad.

→ Perspectivas de los maíces de calidad proteínica

Después de 42 años del descubrimiento del gene *Opaco 2*, cada día se avanza en diversos países en el cultivo de materiales QPM, para aprovechar la oportunidad de ofrecer a la población un grano de maíz con mejor calidad proteínica y ventajas agronómicas. En México, el avance de los últimos años ha sido lento, no obstante las grandes expectativas que se tenían del programa cuando inició. Si bien se continúa trabajando, será necesario replantear la estrategia más adecuada para mejorar su aprovechamiento. Lo anterior incluye un análisis exhaustivo de los materiales que conviene promover, ya que algunas cruza simples, si bien poseen buena productividad como materiales comerciales, la producción de semilla resulta muy costosa y poco redituable, propiciando riesgos para las empresas de semillas.

La incorporación del esquema de androesterilidad y capacidad restauradora a los progenitores de híbridos QPM está en proceso, el propósito es facilitar la producción de semilla y fomentar las empresas de semillas en baja escala, así como apoyar a las asociaciones de productores. Actualmente se desarrollan nuevos híbridos y variedades con ventajas sobre la

Cuadro 2. Rendimiento de grano (kg/ha) de híbridos sobresalientes en el ciclo otoño-invierno de maíces de calidad de proteína y su análisis económico. Promedio de los ciclos 1998/1999 y 1999/2000 en el estado de Guerrero.

HÍBRIDOS	TIPO DE HÍBRIDO	RENDIMIENTO MEDIO (KG/HA)	% RESPECTO TESTIGO
H-553C	Trilineal	7558	114
H-365C	Trilineal	7100	107
H-558C	Simple	7795	104*
H-516 (T)	Trilineal	6641	100
H-367C	Simple	6598	99

VARIEDAD	TIPO DE VARIEDAD	MEDIA /AÑOS 1999 Y 2000	% RESPECTO TESTIGO
HV-521C	Híbrido varietal	7473	121
V-537C	Variedad	6495	106
VS-535	Sintética	6802	111
VS-529	Sintética	5589	91
V-531	Variedad	6127	100
MEDIA TESTIGOS		6393	104

GENOTIPO	TIPO DE HÍBRIDO	RENDIMIENTO PROMEDIO(kg/ha)	% TESTIGO
H-552 C	Simple	8604	122
H-551 C	Simple	7967	113
H-363 C	Trilineal	7878	112
H-514	Simple	7028	100

\GENOTIPO	TIPO DE HÍBRIDO	RENDIMIENTO PROMEDIO (kg/ha)	%TESTIGO
H-441 C	Simple	5703	112
H-551 C	Simple	5479	108
H-363 C	Trilineal	5312	104
H-514 (T)	Simple	5087	100

primera generación de materiales QPM. Hugo Mejía ha desarrollado materiales para los Valles Altos, donde no se contaba con variedades de este tipo.

Las variedades desarrolladas en México podrían tener repercusión en otros países debido a su buen rendimiento. No hay duda que el consumo de maíz QPM mejorará la salud de la población y salvará muchas vidas, ya que este tipo de maíces ofrece el valor nutricional

equivalente a 90% del de la leche. Los trabajos que realiza el personal de INIFAP apoyan el esfuerzo y los logros de los doctores Villegas y Vasal. Cada nueva variedad de maíz es fruto del esfuerzo constante y un paso en el camino de la siguiente revolución alimentaria, como lo ha señalado Norman Borlaug (Premio Nobel de la Paz 1971). El maíz es, orgullosamente, semilla y grano, alimento nacido en tierras mexicanas para recorrer el mundo.

Cuadro 3.

Promedio de rendimiento de grano (kg/ha) de variedades de maíz de calidad de proteína y su análisis económico. En el ciclo primavera-verano, años 1999 y 2000 en el estado de Guerrero.

Cuadro 4.

Promedios de rendimiento de grano y algunas características agronómicas de híbridos sobresalientes de maíz de alta calidad de proteína en Ocozocoautla, Chiapas, en los ciclos pv 2000 y pv 1999 bajo condiciones de temporal.

Cuadro 5.

Promedios de rendimiento de grano de híbridos sobresalientes de maíz de alta calidad de proteína en la región de La Frailesca (Villaflora), Chiapas, en los ciclos pv 1999 y pv 2000, bajo condiciones de temporal.



BIBLIOGRAFÍA

- Bressani R. 1994. *Opaque 2 Corn in Human Nutrition and Utilization*. In: *Quality Protein Maize: 1964-1994*. Proc. the International Symposium on Quality Protein Maize. Embrapa/CNPMS, Sete Lagoas MG Brasil. December 1-3, 1994. p. 41-63.
- Espinosa C., A., A. Turrent F., H. Cordova O., N. Gómez M., M. Sierra M., E. Betanzos M., F. Caballero H., B. Coutiño E., A. Palafox C., F. Rodríguez M., A. García B., O. Cano, R. Aveldaño S. 2001. *Maíces de calidad proteínica: Una alternativa para el campo mexicano*. Innovación y competitividad. Asociación Mexicana de Directivos de la Investigación Aplicada y el Desarrollo Tecnológico, A. C. (ADIAT), Números 3 y 4: 10-15.
- Mertz, E. T., L. S. Bates, and O. F. Nelson. 1964. "Mutant Gene that Changes Protein Composition and Increase Lysine Content of Maize Endosperm". *Science*, 145: 279.
- Mertz, E. T., O. Veron, L. S. Bates, and O. F. Nelson. 1965. Growth of rats fed opaque-2 maize. *Science*, 148: 1741-1742.
- Morris, M.L. y M.A. López Pereira. 2000. *Impactos del mejoramiento de maíz en América Latina 1996-1997*. México D.F. CIMMYT. 45 p.
- Vasal, S. K., E. Villegas, M. Bjarnason, B. Gelaw, and P. Goerts. 1980. Genetic Modifiers and Breeding Strategies in Developing Hard Endosperm Opaque-2 materials. In: Pollmer, W. G., and R. H. Phipps (editors). *Improvement of Quality Traits of Maize for Grain and Silage Use*. Martinus Nijhoff Publishers. Amsterdam, Holland. Pp: 37-73.
- Vasal, S. K. 1994. High Quality Protein Corn. In: Hallauer, A. R. (editor). *Speciality Corns*. CRC Press. Boca Ratón, Florida, USA.
- Ortega C., A., O. Cota A., S. K. Vasal, E. Villegas M., H. Córdoba O., M. A. Barrera S., J. J. Wong P., C. A. Reyes M., R. E. Preciado O., A. Terrón I., A. Espinosa C. 2001. H-441C, H-442C y H-469C, Híbridos de maíz de calidad proteínica mejorada para el noroeste y subtropical de México. INIFAP, CIRNO, Campo Experimental Valle del Yaqui, Folleto Técnico No. 41, Cd. Obregón, Sonora, 44 p.
- Sierra M., M., A. Palafox C., O. Cano R., F. A. Rodríguez M., A. Espinosa C., A. Turrent F., N. Gómez M., H. Córdoba O., N. Vergara A., R. Aveldaño S., J. A. Sandoval R., S. Barrón F., J. Romero M., F. Caballero H., M. González C., E. Betanzos M. 2001. Descripción varietal de H-519 C, H-553 C y V-537 C, maíces con alta calidad de proteína para el Trópico Húmedo de México. INIFAP, CIRGOC, Campo Experimental Cotaxtla, Folleto Técnico No. 30, Veracruz, Veracruz, 21 p.
- Cuadro 2. Rendimiento de grano (kg/ha) de híbridos sobresalientes en el ciclo otoño-invierno de maíces de calidad de proteína y su análisis económico. Promedio de los ciclos 1998/1999 y 1999/2000 en el estado de Guerrero.

Alejandro Espinosa Calderón es ingeniero agrónomo fitomejorador, así como maestro y doctor en genética, por el Colegio de Postgraduados. Es miembro del SNI, nivel III. Obtuvo el segundo lugar del premio ADIAT a la Innovación Tecnológica 2000. Actualmente es investigador titular de Producción y Tecnología de Semillas, campo experimental Valle de México CIRCE, INIFAP, SAGARPA.

Noel Gómez Montiel es ingeniero agrónomo fitotecnista, maestro y doctor en Genética por el Colegio de Postgraduados. Es miembro del SNI, nivel II. Investigador del Programa de Mejoramiento Genético de Maíz, Campo Experimental Iguala, CIRPAS, INIFAP, SAGARPA.

Mauro Sierra Macías es ingeniero agrónomo fitomejorador, así como maestro en Ciencias por el ITESM, y doctor en genética por la Universidad de Colima. Es miembro del SNI, nivel I. Es investigador del Programa de Mejoramiento Genético de Maíz, Campo Experimental Cotaxtla, Veracruz, CIRGOC, INIFAP, SAGARPA.

Esteban Betanzos Mendoza es investigador del Programa de Mejoramiento Genético de Maíz, Campo Experimental Centro de Chiapas, CIRPAS, INIFAP, SAGARPA.

Filiberto Caballero Hernández es ingeniero agrónomo fitomejorador, así como maestro en genética, por el Colegio de Postgraduados. Es investigador del Programa de Mejoramiento Genético de Maíz, Campo Experimental Valle de Apatzingán, CIRPAS, INIFAP, SAGARPA.

Bulmaro Coutiño Estrada es investigador del Programa de Mejoramiento Genético de Maíz, Campo Experimental Centro de Chiapas, CIRPAS, INIFAP, SAGARPA.

Artemio Palafox Caballero es investigador del Programa de Mejoramiento Genético de Maíz, Campo Experimental Cotaxtla, Veracruz, CIRGOC, INIFAP, SAGARPA.

Flavio Rodríguez Montalvo es investigador del Programa de Mejoramiento Genético de Maíz, Campo Experimental Cotaxtla, Veracruz, CIRGOC, INIFAP, SAGARPA.

Abraham García Berber es investigador del Programa de Mejoramiento Genético de Maíz, Campo Experimental Costa de Jalisco, CIRPAS, INIFAP, SAGARPA.

Octavio Cano Reyes es investigador del Programa de Mejoramiento Genético de Maíz, Campo Experimental Cotaxtla, Veracruz, CIRGOC, INIFAP, SAGARPA.

