

Folleto de investigación No. 4  
Octubre, 1966

# Germoplasma exótico para el mejoramiento del maíz en los Estados Unidos

POR: E. J. WELLHAUSEN



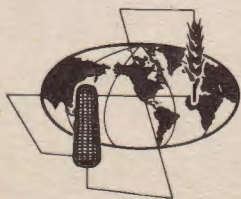
CENTRO INTERNACIONAL DE MEJORAMIENTO  
DE MAIZ Y TRIGO

INTERNATIONAL MAIZE AND WHEAT  
IMPROVEMENT CENTER

MEXICO

Este trabajo fue publicado originalmente en *Proceedings of the 20th Annual Hybrid Corn Industry-Research Conference, 1965*, bajo el título "Exotic Germ Plasm for Improvement of Corn Belt Maize".

Traducción al español del Dr. Alfredo Carballo.



CENTRO INTERNACIONAL DE MEJORAMIENTO DE  
MAIZ Y TRIGO

INTERNATIONAL MAIZE AND WHEAT IMPROVEMENT  
CENTER

londres 40, méxico 6, d. f., méxico.

# Germoplasma exótico para el mejoramiento del maíz en los Estados Unidos

DR. E. J. WELLHAUSEN<sup>1</sup>

Durante los últimos 22 años he estado asociado, en una forma o en otra, con la recolección, clasificación, evaluación y utilización de la vasta gama de germoplasma de la especie *Zea mays* L. que existe en la América Latina. Hasta ahora se han descrito más de 300 razas diferentes de maíz (4). Semilla de las variedades más típicas de cada una de estas razas, se conserva en los cuatro bancos de semillas de maíz ubicados en Brasil, Colombia, Estados Unidos (Fort Collins) y México. Esta colección de maíces constituye una mina de oro para el futuro



DR. E. J. WELLHAUSEN

mejoramiento del maíz alrededor del mundo.

El factor singular más importante en la evolución de esta variabilidad, ha sido la hibridación. Algunas variedades sobresalientes se han desarrollado mediante la acción de la selección natural, con la ayuda consciente o inconsciente del hombre, en poblaciones resultantes de la hibridación al azar entre razas diferentes. Este proceso aún continúa en nuestros días. En Jalisco, el primer estado de México en producción de maíz, los agricultores han desarrollado algunas variedades sobresalientes, a partir de la hibridación natural entre los tipos indígenas de Tabloncillo prevalentes y de los híbridos de la raza Celaya que fueron introducidos hace cerca de 15 años. En el valle de Jala en Nayarit, México, la famosa raza Jala

<sup>1</sup> PhD, Director Asociado, Ciencias Agrícolas, Fundación Rockefeller y Director del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, México, D. F. El autor agradece la asistencia en la evaluación de los cruzamientos en diferentes áreas de los Estados Unidos a las siguientes personas: Dres. J. H. Lonnquist, Universidad de Nebraska; O. E. Nelson, Universidad de Purdue; D. L. Thompson, Servicio de Investigación del Depto. de Agricultura de los EE. UU. y Universidad del Estado de Carolina del Norte, y C. O. Grogan, Servicio de Investigación del Depto. de Agricultura de los EE. UU. y Universidad del Estado de Mississippi.

de las largas mazorcas, está siendo rápidamente reemplazada por variedades que los agricultores han formado a partir de cruzamientos naturales entre Jala y Tuxpeño, raza esta última introducida en 1952.

Algunas de las variedades indígenas sobresalientes de México, tales como Chalqueño, Celaya y Tuxpeño, son capaces de producir a razón de más de 100 bushels por acre\*, (6,277 kg/ha), bajo buenas condiciones de humedad y fertilidad. Si esto es lo que la naturaleza y el

hombre han producido en una forma más o menos fortuita, a través de hibridaciones al azar entre diferentes razas y variedades, ¿qué puede hacer el genetista con el estado actual de los conocimientos en genética y acciones génicas y con más de 300 razas diferentes a sus disposición? Hasta ahora, ni una sola variedad se ha desarrollado mediante el muestreo de la gama completa de variación que existe en el maíz. ¿Cuáles son las posibilidades de desarrollar nuevas razas mucho más

**CUADRO 1. Comportamiento de cruzamientos interraciales sobresalientes en prueba cerca de Celaya, Guanajuato.<sup>a</sup>**

Cruzamientos	Rendimiento kg/ha			Rendimiento F <sub>1</sub> en % de		No. de mazorcas/100 plantas		
	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	F <sub>1</sub>	P <sub>1</sub> + P <sub>2</sub> Padre		P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	F <sub>1</sub>
				2	Superior			
Pepitilla x Chalqueño	6,440	4,530	9,840	179	153	168	103	175
Pepitilla x Tuxpeño	6,440	5,340	9,430	160	146	168	111	167
Pepitilla x Maiz Dulce	6,440	5,940	8,800	142	137	168	141	188
Pepitilla x Cacahuazintle	6,440	1,910	8,300	199	129	168	92	159
Pepitilla x Nal-Tel	6,440	1,850	8,240	199	128	168	207	266
Pepitilla x H.Ocho	6,440	4,630	8,100	146	126	168	181	175
Maiz Dulce x Comiteco	5,940	5,490	8,940	156	150	141	103	147
Maiz Dulce x Olotillo	5,940	3,560	8,820	186	148	141	131	201
Maiz Dulce x Tehua	5,940	940	8,700	253	146	141	74	288
Maiz Dulce x H.Ocho	5,940	4,630	8,490	161	143	141	181	217
Maiz Dulce x Celaya	5,940	8,060	8,320	119	103	141	149	201
Maiz Dulce x Jala	5,940	5,950	8,260	139	139	141	106	165
Maiz Dulce x Tepecintle	5,940	4,729	8,070	151	136	141	119	190
Comiteco x Celaya	5,940	8,060	9,060	134	112	103	149	113
Comiteco x Chapalote	5,940	3,420	8,340	187	152	103	193	165
Comiteco x Con.Norteño	5,940	6,410	8,110	136	126	103	154	128
Híbrido H352			7,260					73

<sup>a</sup> Datos tomados de Mario Castro Gil, "Rendimientos y heterosis con cruzas interraciales de maíz en México". Tesis para maestro en ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México, 1964.

En el texto y en los cuadros hay rendimientos expresados en bushels por acre. Para convertir esto a kg/ha, multiplíquese el número de bushels por acre por 62.77; análogamente, para convertir kg/ha a bushels por acre, multiplíquese por .01593.

productivas que cualquier cosa que el hombre haya creado hasta ahora, partiendo de una explotación más completa y sistemática de las reservas de germoplasma todavía casi intactas? Sobre esto quisiera hablar durante el breve lapso de tiempo que se me ha asignado en el programa de hoy.

### ***Heterosis en cruzamientos interraciales***

En los últimos años hemos dedicado considerables esfuerzos a la identificación y utilización de complejos germoplásmicos selectos. Hemos hecho y probado muchos cruzamientos tanto inter como intrarraciales en colaboración con nuestros muchos colegas en el mejoramiento del maíz a todo lo largo de América Latina. Los datos presentados en el Cuadro 1 son indicativos de la clase de resultados obtenidos. En este cuadro se registran los cruzamientos interraciales cuyas  $F_1$  rindieron más de 130 bushels por acre (8,160 kg/ha) en la región del Bajío, en el centro de México. Ellas representan los 18 cruzamientos de más altos rendimientos de entre 300 comprendiendo todos los cruzamientos posibles entre las 25 razas de México, descritas por Wellhausen *et al.* (4a). La prueba fue sembrada en abril a 1800 m de elevación, cerca de Celaya, Guanajuato, en una área donde predomina la raza Celaya. Las parcelas experimentales fueron fertilizadas con nitrógeno y fósforo, aplicados a razón de 120 kilos de N y 80 kilos de  $P_2O_5$  por acre. La humedad se suplió mediante irrigación siempre que fue necesario y se combatieron las pla-

gas con los insecticidas apropiados. Las observaciones más interesantes, partiendo de los datos del Cuadro 1, se resumen como sigue:

1) Todos los cruzamientos nominados involucran padres de origen muy diverso.

2) Los rendimientos de todos los cruzamientos son significativamente superiores al híbrido H-352 hecho con líneas endógamas extraídas de la raza Celaya.

3) El rendimiento promedio de los cruzamientos es 138 bushels por acre (8,662 kg/ha), y 19% más alto que el del híbrido H-352.

4) La heterosis, expresada en términos del rendimiento de la  $F_1$  en porcentaje del rendimiento promedio de los dos padres, fluctuó entre 119% y 253% con un promedio de 164% para los 18 cruzamientos.

5) El más alto grado de heterosis expresada en términos del rendimiento de la  $F_1$  en porcentaje del promedio parental, fue exhibido por el cruzamiento Maíz Dulce x Tehua. Tehua es una raza muy alta, con mazorcas altas, tallos gruesos y de madurez tardía, prevalente en las regiones altas de Chiapas cerca de la frontera guatemalteca. Está casi completamente inadaptada al área donde se hicieron las pruebas, donde rinde muy poco.

6) El rendimiento de la  $F_1$  en porcentaje del padre más rindidor en los cruzamientos particulares, varió de 103% a 153%.

7) Ciertas razas aparecen más frecuentemente entre los cruzamientos de alto rendimiento que otras. Las tres razas que aparecen más frecuentemente son Pepitilla, Maíz Dulce y Comiteco. Con pocas ex-

cepciones, cada una combinó bien con un grupo diferente de razas.

8) Tres de las cuatro razas clasificadas por Wellhausen *et al.* (4a) como Precolombinas Exóticas: Maíz Dulce, Cacahuazintle y Harinoso de Ocho y consideradas como introducidas de Sur América en tiempos precolombinos, están representadas entre los 18 cruzamientos de más alto rendimiento. La cuarta de las razas Precolombinas Exóticas, Olotón, se postula como una de las progenitoras de Comiteco. La raza Pepitilla, aunque así no lo indicasen Wellhausen *et al.* se piensa ahora que ha sido influida en su evolución por una de las razas Guaraní descritas por Brieger *et al.* (4e).

9) Las razas indígenas primitivas Nal-Tel y Chapalote, de madurez temprana y bajos rendimientos, están también representadas entre las razas envueltas en los cruzamientos más rendidores. Es evidente, sin embargo, que una combinación entre dos razas de alto rendimiento, como Pepitilla x Chalqueño rindió significativamente más que una combina-

ción de alto por bajo como Pepitilla x Nal-Tel.

10) El número de mazorcas por 100 plantas en cada uno de los cruzamientos fluctuó entre 113 y 288, con un promedio de 184 para todos los 18 cruzamientos. El número de mazorcas por 100 plantas en el híbrido, fue 173.

11) Cruzamientos que contienen Maíz Dulce tienden a producir más mazorcas por 100 plantas que los otros enlistados.

12) El más alto grado de heterosis en número de mazorcas por 100 plantas fue exhibido por el cruzamiento Maíz Dulce x Tehua.

Considerando la forma como ciertas variedades de alto rendimiento han evolucionado en el pasado, puede concebirse que una variedad mucho más productiva que la raza Celaya, que predomina en el área del Bajío donde se hizo la prueba, podría ser desarrollada mediante una gradual concentración de genes para rendimiento en las generaciones avanzadas de una mezcla de ciertos de estos cruzamientos interraciales.

CUADRO 2. Rendimientos de cruzamientos inter vs. intrarraciales.

Crosses	Rendimiento kg/ha		Rend. promedio en % de	
	F <sub>1</sub>	Prom. <sup>a</sup>	Cel. x Cel.	Celaya
Celaya (G61) x Comiteco (CG60)	8,216	7,896	118	140
Celaya (G61) x Comiteco (CG56)	7,576			
Celaya (G61) x Tuxpeño (SLP11)	7,500	7,340	111	130
Celaya (G61) x Tuxpeño (VG15)	7,291			
Celaya (G61) x Celaya (G65)	6,745	6,661	100	118
Celaya (G61) x Celaya (Q42)	6,578			
Celaya (Promedio 3 Variedades)		5,643 (81 Bu/A)	84	100

<sup>a</sup> Promedio de dos cruzamientos entre las mismas razas.

Es muy probable que pudiera desarrollarse una variedad de polinización libre, a partir de una mezcla de esta clase, la cual rendiría tanto o más que el mejor híbrido que pudiera desarrollarse a partir de la raza Celaya. Sin embargo, en vista de la extrema diversidad involucrada, este procedimiento podría no ser práctico de inmediato desde el punto de vista del levantamiento del nivel genético del rendimiento en una área donde predomina la raza Celaya y aún estar dentro del rango de tipos que los agricultores sembrarían.

### **Mejoramiento del rendimiento mediante mezclas raciales y selección masal**

En un intento por determinar qué se necesita para desarrollar un producto aceptable a partir de una mezcla de complejos germoplásmicos muy diversos, hemos combinado algunos de los cruzamientos intraraciales enlistados en el Cuadro 1, y continuamos con el proceso de "mezclar" los varios materiales envueltos en las progenies de generaciones avanzadas. Después de 5 generaciones de "mezcla", planeamos comenzar a utilizar la variancia aditiva de rendimiento, mediante la técnica de la selección masal. En el ínterin hemos emprendido otro procedimiento el cual creemos que rendirá algo más inmediatamente útil.

En este segundo procedimiento hemos cruzado las mejores variedades de la raza Tuxpeño, Celaya y Comiteco con una variedad de Celaya identificada como Gto. 61. En una prueba de estos cruzamientos, cerca de 200 en total, en dos loca-

lidades de la región del Bajío, se identificaron los mejores. Los datos presentados en el Cuadro 2 muestran la clase de resultados que obtuvimos. El comportamiento dentro de cada uno de los tres tipos de cruzamientos en la prueba, sean Celaya x Celaya, Celaya x Tuxpeño y Celaya x Comiteco, se muestra en este cuadro. Es bien evidente que:

- 1) Cruzamientos entre variedades de diferentes razas exhiben una heterosis mayor que cruzamientos entre variedades de la misma raza;
- y 2) Cruzamientos entre razas diversas producen una heterosis mayor que cruzamientos entre razas relacionadas. La raza Celaya está mucho más estrechamente relacionada con Tuxpeño, que Comiteco. De hecho, Celaya tiene un ancestro muy similar al de Tuxpeño. Estas son muy semejantes en sus características de mazorcas y de grano.

La semilla de los mejores cruzamientos se mezcló para formar una población que contuviera aproximadamente dos partes de germoplasma de Celaya por una parte de Tuxpeño y Comiteco. Inmediatamente se comenzó a practicar selección masal en la generación  $F_2$  de este compuesto Celaya-Exótica, con una intensidad de selección de cerca de 25%. En el segundo ciclo de selección de cerca del 15% y en el tercero de cerca de un 8%.

Simultáneamente, formamos una tercera población mezclando semilla de las variedades más típicas de la raza Celaya. Esta población, para propósitos de nuestros estudios es llamada "Celaya Pura". En esta tercera población se comenzó la selección masal al mismo tiempo y

con la misma intensidad que en la mezcla Celaya-Exótica.

Aunque estos experimentos con selección se iniciaron apenas recientemente, un considerable mejoramiento en el rendimiento es aparente en las poblaciones tanto de la mezcla Celaya-Exótica como de "Celaya Pura". Hasta el momento, el rendimiento de la primera población es notablemente mayor que el de la segunda y si ambas poblaciones se detendrán al mismo nivel está aún por verse. Una parcela de un acre con 8000 plantas de este compuesto en el cual fue hecho el tercer ciclo de selección, rindió 112 bushels (7,030 kg/ha) de grano altamente aceptable con el 15.5% de humedad. En rendimiento parece llevarle bien la delantera a una parcela de Celaya Pura con el mismo número de ciclos de selección masal. Las razas Tuxpeño y Comiteco parecen contribuir algo realmente valioso a la raza Celaya, lo que es muy aparente en el segundo ciclo de selección masal.

Que se puede hacer un progreso substancial mediante selección masal para rendimiento, se demuestra notablemente por experimentos similares que tenemos en otras áreas. En la Meseta Central de México se encuentra ampliamente distribuida la muy rendidora raza Chalqueño. Cerca de 200 colecciones de esta raza han sido evaluadas hasta hoy. Dieciocho de las variedades más productivas fueron cruzadas con todas las combinaciones posibles. Cantidades iguales de semilla de cada cruzamiento fueron tomadas y mezcladas. La  $F_2$  de esta mezcla ha sido designada como Sintética I. La selección masal se comenzó in-

mediatamente en la  $F_2$  usando el sistema estratificado descrito por Gardner (2). La población resultante del primer ciclo de selección fue designada como Sintética II. La población resultante del segundo ciclo de selección se designó Sintética III y la resultante del tercer ciclo Sintética IV. El rendimiento de estas cuatro sintéticas en relación con el híbrido H-125, hecho a partir de líneas endógamas extraídas de la raza Chalqueño, se muestra en el Cuadro 3. La intensidad de selección en todos los ciclos fue de aproximadamente 4%. Es evidente en el Cuadro 3, que la ganancia promedio por ciclo de selección fue de cerca del 10%.

Resultados similares fueron obtenidos por Johnson y sus colegas (3).

**CUADRO 3. Rendimiento de las poblaciones con diferentes ciclos de selección en la raza Chalqueño (20 rep., 1965).**

Variedad	Rendimiento en % de la Sintética I	Días a Floración
Sintética I	100	106
Sintética II	111	—
Sintética III	123	—
Sintética IV	130	107
Híbrido H125	135	107

en un experimento de selección en la raza Tuxpeño en Cotaxtla, Estado de Veracruz. Después de cuatro ciclos de selección en una variedad de esta raza (V520C) recolectada en una finca cerca de San Rafael, Veracruz, la población resultante (V520C-MS4) casi iguala al rendimiento del híbrido doble H-507 según es evidente en el Cuadro 4. El cruzamiento doble H-507 es el



híbrido más rendidor en el área de San Rafael y fue hecho con líneas selectas de la raza Tuxpeño. De acuerdo con los datos obtenidos por Johnson, el híbrido H-507 rinde cerca de 35% más que V520C. Esto indicaría una ganancia promedio de cerca de 8% por ciclo de selección en la población V520C.

Uno de los factores que parece estar contribuyendo a los más altos rendimientos en la población del Chalqueño es un aumento en prolificidad. Seleccionando las plantas con base en el peso total del grano producido, el porcentaje de plantas con hijos que producen buenas mazorcas ha aumentado con cada generación sucesiva de selección.

**CUADRO 4. Rendimientos comparativos de H507 y V520C - MS4, San Rafael, Veracruz.**

Variedad	Rend. en kg/ha <sup>a</sup>		Promedio en % H507
	1964A	1965A	
V520C-MS4	6,125	6,772	6,448 .97.5
H507	6,208	7,015	6,612 100.0

1964A Promedio de 32 repeticiones.  
1965A promedio de 8 repeticiones.

El rendimiento de una de las plantas de este tipo se indica aquí:

Número de hijos . . . . .	3
Número de mazorcas . . . . .	5
Largo combinado de las mazorcas . . . . .	75 cm
Número promedio de hileras . . . . .	18
Número total de granos . . . . .	2,596
Peso total del grano con el 15.5% de humedad . . . . .	1,050 g

Con resultados como estos, estoy revolucionando mi pensamiento rápidamente, con respecto a los méto-

dos de mejoramiento del maíz en los trópicos. Tal parece que la producción de híbridos como sistema es definitivamente prematuro para nosotros en América Latina y que debiéramos mejor dedicar nuestro tiempo y nuestras energías en el futuro inmediato a: 1) la "mezcla" de variedades dentro de una raza o de razas diferentes; y 2) la utilización gradual de la variancia aditiva para rendimiento, en las poblaciones así formadas, mediante las varias técnicas sencillas de selección recurrente. Una vez que cesa de lograrse algún progreso mediante esos procedimientos, podríamos recurrir al uso de combinaciones híbridas en un intento por lograr más capacidad de rendimiento mediante la utilización de la variancia no-aditiva que pudiera existir.

### ***Germoplasma caribeño sobresaliente en combinación con variedades dentadas***

Con lo anterior como antecedente, quisiera discutir la posibilidad de mejorar los dentados de la faja maicera con la incorporación de ciertos complejos germoplásmicos selectos, no tanto como sustitución del sistema de producción de híbridos, sino más bien desde el punto de vista del desarrollo de nuevas variedades de polinización abierta de altos rendimientos, a partir de las cuales podrían formarse mejores híbridos.

Los dentados de la faja maicera, de acuerdo con Brown y Anderson (1) se derivaron del entrecruzamiento de los dentados sureños con los cristalinos norteños. El origen de los cristalinos norteños es aún obscuro, pero es razonablemente cierto

que los dentados sureños consisten grandemente de germoplasma Tuxpeño que fue trasladado de las tierras bajas de la costa del Golfo de México. A partir de la hibridación fortuita de estos dos tipos, se desarrolló una raza excelente y muy productiva, de la misma manera en que las razas más rendidoras de México se formaron. Si podemos encontrar algo que agregado a las razas más productivas de México las hace aún más productivas, deberíamos ser capaces de hacer lo mismo con los dentados de la faja maicera.

En mi opinión, una de las variedades más inmediatamente útiles para mejorar el rendimiento de los dentados de la faja maicera, es un tipo obtenido en la isla de Antigua en las Indias Occidentales. Esta variedad se conserva en el banco de semillas de México bajo el nombre de Antigua 2D y Antigua Grupo 2, la última representando un compuesto de varias colecciones. Nosotros hemos clasificado este material como una variedad de la raza Cristalino Costeño Tropical descrita por Brown (4g). Produce mazorcas

relativamente grandes con granos amarillos semidentados y semihirinosos en tallos fuertes con entrenudos cortos, y crece entre cinco y seis pies de altura bajo condiciones tropicales de duración del día y en suelos fértiles. Muchas plantas llevan dos mazorcas, pero la variedad en sí no parece ser particularmente prolífica. Generalmente no ahija. Las plantas parecen ser en todos aspectos productoras de grano altamente eficientes, con una razón de grano a tallo generalmente alta para los trópicos. Es de madurez más temprana que la raza Tuxpeño. Tiene ciertos defectos que limitan su uso general inmediato como variedad en los trópicos. En las áreas de tierras bajas con alta pluviometría de Veracruz, es muy susceptible a varias otras enfermedades foliares además de *Helminthosporium*. No es tampoco lo que consideraríamos como altamente resistente al acame.

En cruzamientos con los altos, tardíos y vigorosos dentados Tuxpeños, ha exhibido un alto grado de heterosis bajo un amplio rango de condiciones ambientales. En ensa-

**CUADRO 5. Comportamiento de las colecciones de Antigua en cruzamientos con Dentado Amarillo Tuxpeño.**

Cruzamiento	Lugar Prueba	Rend. kg/ha	Rend. en % padre sup.
Tuxp. Comp. A x Antigua 2D.....	México .....	6,210	103
Tuxp. Comp. A x Antigua G2.....	Venezuela .....	6,310	137
Tuxp. Comp. A x Antigua 2D.....	Perú .....	4,339	134
Tuxp. Azteca x Antigua G2.....	Perú .....	6,487	134
Tuxp. Azteca x Antigua G2.....	Colombia .....	3,970	113
Tuxp. Azteca x Antigua G2.....	Brasil .....	3,880	115
Tuxp. Azteca x Antigua G2.....	México T <sup>a</sup> .....	3,000	122
Tuxp. Azteca x Antigua G2.....	México C <sup>b</sup> .....	2,200	126

<sup>a</sup> Tepalcingo, Morelos.

<sup>b</sup> Cotaxtla, Veracruz.

yos de rendimiento que incluyen 210 cruzamientos dialélicos entre 21 variedades selectas del Caribe y de las tierras bajas de México, los cruzamientos entre un Compuesto Tuxpeño Amarillo y Antigua 2D o el Compuesto Antigua Grupo 2 estuvieron consistentemente entre los cruzamientos de más altos rendimientos en cada una de tres localidades. Los rendimientos de estos cruzamientos en México, Venezuela y Perú se muestran en el Cuadro 5. Además, en una prueba en cinco localidades diferentes, incluyendo 46 variedades del Caribe cruzadas con un Tuxpeño Amarillo denominado Azteca, los cruzamientos con Antigua 2D estuvieron consistentemente entre las variedades más rendidoras en cada localidad.

Varietades de Antigua también combinan bien con los dentados de la faja maicera. En pruebas de rendimiento de 18 de las variedades caribeñas más rendidoras cruzadas con el cruzamiento simple ( $WF_9 \times B_7$ ), realizadas en Nebraska, Indiana y Argentina, el cruzamiento ( $WF_9 \times B_7$ ) x Antigua 2D ocupó el pri-

mero, segundo y tercer lugar en rendimiento en las tres localidades, respectivamente. Como se evidencia en el Cuadro 6, su rendimiento promedio para las tres localidades fue 6% más alto que el rendimiento promedio de los híbridos dobles incluidos para comparaciones. En Nebraska e Indiana se hicieron las comparaciones con el híbrido doble AES801 ( $WF_9 \times B_7$ ) ( $B_{10} \times B_{14}$ ) y en Argentina con el cruzamiento doble Pergamino Pita, desarrollado en la Estación Experimental de Pergamino.

En otro ensayo de rendimiento que incluyó 33 variedades caribeñas en combinación con el cruzamiento simple ( $B_{10} \times B_{14}$ ), llevado a cabo en las mismas tres localidades, el cruzamiento ( $B_{10} \times B_{14}$ ) x Antigua 2D ocupó el primero, cuarto y quinto puestos en rendimiento, respectivamente. Su rendimiento promedio en las tres localidades fue 12% más alto que el rendimiento promedio de los híbridos dobles.

Los cruzamientos dobles en estas pruebas fueron los mismos en cada localidad como en el caso de los

**CUADRO 6. Rendimientos relativos de los cruzamientos sencillos  $WF_9 \times B_7$  y  $B_{10} \times B_{14}$  en combinación con tres variedades exóticas diferentes, en dos localidades en los Estados Unidos y una en Argentina.**

Cruzamiento	Rendimiento en % de híbridos adaptados <sup>a</sup>			
	Nebraska	Indiana	Argentina	Promedio
( $WF_9 \times B_7$ ) x Antigua 2D .....	99	117	103	106
( $B_{10} \times B_{14}$ ) x Antigua 2D .....	106	121	110	112
( $WF_9 \times B_7$ ) x Florida Syn. ....	96	125	104	108
( $B_{10} \times B_{14}$ ) x Florida Syn. ....	96	104	111	104
( $WF_9 \times B_7$ ) x Puerto Rico 24D .....	73	95	97	88
( $B_{10} \times B_{14}$ ) x Puerto Rico 24D .....	101	126	112	113

<sup>a</sup> Híbrido AES801 en Nebraska e Indiana; Pergamino Pita en Argentina.

**CUADRO 7. Variedades del Caribe que en cruzamientos con Dentado Amarillo Azteca clasificaron primera, segunda o tercera en ensayos de rendimiento en diferentes localidades de Latinoamérica.**

Localidad	Variedades en:		
	1er. lugar	2o. lugar	3er. lugar
México—Tepal. ....	Saint Vincent 3D	Antigua 8D	Antigua 5D
México—Cot. ....	Saint Vincent 3D	Antigua 5D	Granada 10D
Perú .....	Antigua 5D	Antigua 4D	Antigua 8D
Brasil .....	Jamaica 1J	Jamaica 4J	Cuba 4J
Argentina .....	Cuba 1J	Saint Vincent 3D	Guadalupe 1D

cruzamientos con ( $WF_0 \times F_7$ ). Tanto los cruzamientos de ( $WF_0 \times B_7$ ) como de ( $B10 \times B14$ ) con Antigua 2D florecieron de cinco a siete días más tarde que los híbridos en sus áreas respectivas.

Este comportamiento generalmente magnífico de las colecciones de Antigua en cruzamientos con los dentados, es indicativo del comportamiento en general de un complejo más amplio de variedades similares encontradas en las islas de la Federación de las Indias Occidentales. Las colecciones de las islas de Guadalupe, Barbados y San Vicente son muy similares en tipo y madurez a las de Antigua. Todas son bastante típicas de los complejos raciales de cristalinos costeos tropicales y cristalinos primitivos del Caribe. Las variedades antiguas de estos complejos tienden a ser de dos mazorcas

y son bastante prepotentes para este carácter en cruzamientos.

La alta capacidad de combinación general de las variedades de esta región como un todo, en cruzamientos con los dentados Tuxpeños se muestra más evidentemente en el Cuadro 7. Las variedades anotadas en este cuadro son las mejores de entre 46 cruzadas con la variedad Tuxpeño Dentado Amarillo Azteca y clasificaron ya como primeras, segundas o terceras en rendimiento en las localidades indicadas.

Todas las variedades que aparecen en este cuadro representan diferentes colecciones de la raza Cristalino Costeño Tropical, excepto Cuba 4J que es clasificada como Chandelle y Jamaica 1J y 4J que se clasifican como Cristalinos Dentados Cubanos.

Otro complejo germoplásmico caribeño con buena habilidad general

**CUADRO 8. Comportamiento del Compuesto Cristalino Cubano Nariño 330 x Perú 330 en cruzamientos con Dentado Amarillo Tuxpeño.**

Cruzamiento	Lugar Prueba	Rend. kg/ha	Rend. en % de Tuxp. Comp. A.
Tuxp. Comp. A x Nariño 330 x Peru 330.....	México .....	6,145	101
Tuxp. Comp. A x Nariño 330 x Peru 330.....	Venezuela .....	5,540	120
Tuxp. Comp. A x Nariño 330 x Peru 330.....	Perú .....	3,921	121

**CUADRO 9. Heterosis en un cruzamiento de Cristalino Tropical Costeño por Cristalino Cubano.**

Cruzamiento	Lugar Prueba	Rend.	Rend. de F <sub>1</sub> en % de	
		F <sub>1</sub> kg/ha	Prom. Padre	Padre Sup.
Antigua 2D x (Nariño 330 x Perú 330) .....	México .....	5,354	151	151
Antigua 2D x (Nariño 330 x Perú 330) .....	Venezuela .....	5,710	120	116
Antigua 2D x (Nariño 330 x Perú 330) .....	Perú .....	4,053	139	131

de combinación, especialmente con los dentados, es el clasificado por Brown (4g) como Cristalino Cubano. Las variedades de esta raza son generalmente de madurez tardía con semillas más pequeñas y más duras que las de la raza Cristalino Costeño Tropical. El grano es usualmente de un color amarillo más oscuro o más bien de un color amarillo naranja. Esta raza probablemente se originó a partir del cruzamiento entre los cristalinos costeños tropicales y los cristalinos argentinos introducidos.

Un compuesto de dos variedades de esta raza, Nariño 330 x Perú 330, se ha comportado casi tan bien como Antigua 2D en cruzamientos con los dentados Tuxpeños, en una extensa área (Cuadro 8). Otras buenas combinadoras de esta raza son Cuba 11J y un compuesto de variedades cristalinas cubanas designado como Cuba Grupo 1.

Como puede verse en el Cuadro 9, el cruzamiento Antigua 2D x (Nariño 330 x Perú 330) exhibe considerable heterosis, no obstante que la F<sub>1</sub> rinde generalmente de 10 a 15% menos que los cruzamientos de cualquiera de estas variedades con Tuxpeño.

Otras variedades que son valiosas son las de la raza Semidentada de las Indias Occidentales, que son predominantes en Trinidad. Estas han

aparecido repetidamente en combinaciones de buenos rendimientos en nuestros estudios de evaluación, pero sus rendimientos no han sido tan extensamente consistentes como otros que han sido indicados. Son generalmente de madurez tardía y se parecen mucho a los Tuxpeños en sus hábitos de crecimiento en los trópicos.

Hay también otras dos variedades mostradas en el Cuadro 6 las cuales rindieron bien en combinación con los cruzamientos sencillos (WF<sub>9</sub> x B<sub>7</sub>) y (B10 x B14) en la faja maicera. Estas son: 1) una sintética semicristalina de Florida, la cual el Dr. Mario Gutiérrez encontró era una excelente combinadora en sus estudios en Turrialba, Costa Rica (inéditos); y 2) Puerto Rico 24D, una colección que parece pertenecer al complejo que Brown (4g) describió como Saint Croix Mazorca Larga. De acuerdo con los datos en el Cuadro 6, hay una diferencia marcada en habilidad combinatoria en las combinaciones de Puerto Rico 24D con los cruzamientos sencillos (WF<sub>9</sub> x B<sub>7</sub>) y (B10 x B14).

La sintética de Florida es semidentada en sus características de mazorca y probablemente representa una combinación de Cristalinos Cubanos o Cristalinos Costeños Tropicales con algunas de las variedades Dentadas Amarillas del sur de los

**CUADRO 10. Rendimiento de Cuba 16 por Compuesto Faja Maicera en cuatro localidades de los E.U.A.**

Localidad	Rend. Rendimiento en % de		
	Bu./Acre	CBC	Híbridos <sup>a</sup>
Nebraska .....	100	124	108
Indiana .....	113	128	126
N. Carolina .....	92	123	88
Mississippi .....	74	245	112

<sup>a</sup> AES801 en Nebraska e Indiana; en Carolina del Norte promedio de N. C. 288, N. C. 270 y Dixie 82; en Mississippi promedio de Dixie 18, 22, 29, 33, 55, 77 y 82.

Estados Unidos. Los cruzamientos con la Sintética de Florida florecieron más o menos al mismo tiempo que los con Antigua 2D, es decir, entre cinco y siete días más tarde que los híbridos. Los cruzamientos con Puerto Rico 24D fueron entre 10 y 12 días más tardíos que los híbridos.

Otro cruzamiento que se comportó bien en las pruebas en los Estados Unidos fue Cuba 16 x CBC (Corn Belt Composite o compuesto de la faja maicera). Cuba 16 es

una colección recogida en Cuba por E. Hernández X. en 1949. Es una variedad de Semicristalino Cubano. Su comportamiento en cruzamientos con dentados de la faja maicera en cada una de cuatro localidades se muestra en el Cuadro 10. Este cruzamiento floreció entre 10 y 12 días más tarde que el híbrido AES801 en Nebraska e Indiana y entre tres y cuatro días más temprano que Dixie 82 en Carolina del Norte y Mississippi. Mostró un rendimiento consistentemente alto en todas las localidades. En la lista de los 55 cruzamientos con CBC, ordenados de acuerdo con su rendimiento en cada localidad, clasificó segundo en Nebraska, primero en Indiana, segundo en Carolina del Norte y tercero en Mississippi.

### *Razas mexicanas valiosas*

Aunque es aparente que el área del Caribe es particularmente rica en materiales sobresalientes para el mejoramiento de los tipos dentados,

**CUADRO 11. Rendimientos promedio de 19 razas mexicanas en combinación con WF, x B, y B10 x B14, probadas en Nebraska, Carolina del Norte, Mississippi y México.<sup>a</sup>**

Raza	Marca	Raza	Marca
1. Harinoso de Ocho .....	2.1	11. Zapalote Chico .....	9.5
2. Zapalote Grande .....	4.0	12. Chalqueño .....	9.6
3. Vandeño .....	4.4	13. Maiz Dulce .....	9.7
4. Reventador .....	4.4	14. Cacahuazintle .....	10.0
5. Comiteco .....	6.0	15. Conico .....	10.3
6. Tabloncillo .....	6.7	16. Arrocillo Amarillo .....	10.8
7. Tepecintle .....	6.7	17. Pepitilla .....	11.7
8. Nal-Tel .....	6.7	18. Oloton .....	11.9
9. Chapalote .....	7.0	19. Tehua .....	15.3
10. Bolita .....	7.5		

<sup>a</sup> Entre más baja la marca, mejor el comportamiento.

**CUADRO 12. Comportamiento comparativo de cuatro razas mexicanas en combinación con Sintética Indiana B.**

Cruzamiento	Rend. Prom. Bu./Acre	Altura a la panoja	Altura a la mazorca	Días a la floración
Sintética B x Harinoso de Ocho .....	108	92	47	75
Sintética B x Reventador .....	109	107	57	82
Sintética B x Eto .....	102	118	61	88
Sintética B x Tuxpeño .....	124	125	62	90
Sintética B .....	43	81	34	77
Oh 45 x Oh 43 .....	112	86	40	74

sería un error contar solamente con las razas de esta región.

Deberían ser considerados los materiales de otras áreas. En el Cuadro 11, se anotaron 19 de las 25 razas mexicanas descritas, en orden de su marca promedio de rendimiento con los cruzamientos sencillos ( $WF_9 \times B_7$ ) y ( $B_{10} \times B_{14}$ ) en cada una de las pruebas llevadas a cabo en Nebraska, Indiana, Carolina del Norte, Mississippi y México. Entre más baja la marca, mejor fue el comportamiento.

La Raza Harinoso de Ocho rindió uniformemente bien en todas las localidades en combinación con los dos cruzamientos sencillos, con una marca promedio de 2.1. Los rendimientos promedio de 1) los cruzamientos entre esta raza y los dos cruzamientos sencillos ( $WF_9 \times B_7$ ) y ( $B_{10} \times B_{14}$ ) en todas las localidades; 2) el híbrido AES801 bajo las mismas condiciones; y 3) los híbridos de mejor rendimiento en cada localidad, fueron respectivamente 76, 74 y 86 bushels por acre. (4,770, 4,645 y 5,398 kg/ha, respectivamente.).

La colección de Harinoso de Ocho usada en estas pruebas fue Nayarit

24. Es más cristalina que harinosa y probablemente representa una variedad que se originó de la introgresión del Reventador en la raza harinosa y de ocho hileras descrita por Wellhausen, *et al.* (4a) como Harinoso de Ocho. Esta colección es representativa de las variedades que se siembran en noviembre en las tierras bajas de Nayarit en terrenos aluviales de vegas de río, cuando cesan las lluvias.

Es interesante notar que las primeras nueve razas enlistadas en el Cuadro 11, con excepción de Comiteco, son comunes en la angosta franja de tierras entre las montañas y el Océano Pacífico, a lo largo de las costas occidentales y septentrionales de México. Comiteco es común alrededor de Comitán en Chiapas, en un valle de unos 1500 m de elevación en el Istmo de Tehuantepec. Todas estas variedades, con la posible excepción de Comiteco, han sido incluidas por el complejo primitivo Nal-Tel-Chapalote. Un nudo cromosómico característico de la raza Chapalote, se encuentra presente en la mayoría de estas razas y se extiende al sur en la raza Salvadoreño de las tierras bajas de Guatemala y El Salvador.

De acuerdo con estos datos, las razas del oeste y el sur de México pueden hacer alguna contribución valiosa al mejoramiento progresivo de los dentados de la faja maicera y los dentados de la costa del Golfo de México. El cruzamiento inter-racial Harinoso de Ocho x Tuxpeño exhibe una heterosis considerable y rinde casi lo mismo que el híbrido H-507 en Veracruz.

En la lista anterior no se incluyen las siguientes razas mexicanas: Palomero Toluqueño, Cónico Norteño, Jala, Celaya y Tuxpeño. De éstas, la última se ha encontrado que es una combinadora excelente no sólo con los cristalinos costeros y cristalinos cubanos, sino que también con la variedad sintética colombiana Eto y, de acuerdo con los datos del Cuadro 12 obtenidos por O. E. Nelson de Purdue, también con germoplasma dentado de la faja maicera. El alto rendimiento del cruzamiento Sintética B y Tuxpeño en esta prueba, concuerda con otro trabajo anterior de Nelson (hasta donde sé, inédito) en el cual se encontró que el germoplasma Tuxpeño, incorporado a algunos de los híbridos de Indiana en dosis bajas, elevaba notoriamente el rendimiento de estos híbridos.

### **Razas útiles de América del Sur**

Hasta el momento, se ha hecho muy poco en la evaluación sistemática de las razas de Sudamérica. Como ya lo he mencionado, la variedad sintética Eto, desarrollada por E. Chavarriaga en Colombia, combina excelentemente con Tuxpeño. Cruzamientos entre Eto y variedades de

la raza Tuxpeño se han comportado uniformemente igual o mejor que los híbridos disponibles en las diversas áreas del trópico de América Latina. Yo he visto cruzamientos en Perú entre algunas variedades de tierras altas comunes ahí y ciertas variedades de la Faja Maicera, que se comportaron sorprendentemente bien. Basándome en mis propias observaciones, creo que las razas Ancashino, Marañón, Chulpi y el Complejo Cuzqueño pueden tener algo útil en ellas. Marañón es una raza que parece haberse desarrollado de la introgresión de los tipos entrelazados de las tierras bajas amazónicas descritas por Brieger *et al.* (4e) en las variedades de las tierras altas de los Andes.

### **Conclusiones y recomendaciones**

Aún cuando los datos disponibles pudieran no ser muy concretos o precisos, creo que las posibilidades para el mejoramiento adicional del maíz mediante una más completa explotación de los muchos complejos germoplásmicos existentes en los trópicos, son amplísimas. La variancia aditiva para rendimiento, distribuida entre más de 300 razas diferentes de maíz en Latinoamérica, es enorme. Si de alguna manera más de esta variancia pudiera ser concentrada en una sola raza, creo que estaríamos en una mejor posición para desarrollar algunas verdaderas super-variedades en el futuro y probablemente llevar a cabo una revolución en la producción de maíz aún mayor que la ocurrida en el pasado.

Una manera de proceder sería mezclar todas las razas disponibles



y concentrar los genes para rendimiento en esta mezcla mediante selección masal. Aunque podríamos intentar hacer esto en los trópicos, en un medio ambiente neutro, no creo que esto sería inmediatamente útil para el mejoramiento adicional de la capacidad de rendimiento del maíz de la faja maicera. Juzgando por los rendimientos actuales, el maíz en la faja maicera es ya muy bueno y me parece que la manera de hacerlo mejor sería buscar genes favorables para rendimiento que no están actualmente presentes y que podrían incorporarse sin la pérdida de otros. Comprendo bien que es bastante difícil identificar estos genes y que si pudiéramos identificarlos muy probablemente no los encontraríamos todos en una sola variedad exótica. Esto, no obstante, no debería detenernos en intentar movernos hacia adelante. Sabemos que ciertos complejos germoplásmicos ofrecen mayor posibilidades que otros y debemos comenzar con ellos.

En vista de los resultados obtenidos en los limitados estudios de evaluación realizados en Latinoamérica y en la faja maicera de los Estados Unidos, quisiera sugerir que se hicieran cuatro compuestos germoplásmicos cada uno con las siguientes razas exóticas:

- Compuesto 1. Caribe.  
 Tuxpeño (México)  
 Chandelle  
 Cristalino Costeño Tropical  
 Cristalino Cubano  
 Eto (Colombia)
- Compuesto 2. Tierras bajas de la costa occidental de México  
 Harinoso de Ocho  
 Zapalote Grande  
 Tepecintle

Reventador  
 Chapalote  
 Nal-Tel

- Compuesto 3. Tierras altas de México  
 Comitico  
 Pepitilla  
 Chalqueño  
 Maíz Dulce  
 Cacahuazintle

- Compuesto 4. Tierras altas andinas  
 Acashino (Perú)  
 Marañón (Perú)  
 Cuzqueño (Perú)  
 Chullpi (Perú)  
 Olotón - Comitico (Guatemala)

En la formación de estos compuestos germoplásmicos, cada raza debería ser cruzada con un compuesto dentado de la faja maicera (o en ciertos casos un cruzamiento sencillo particular podría usarse). Cada uno de los cruzamientos resultantes debería retrocruzarse con el compuesto de la faja maicera. Las retrocruzas correspondientes a cada compuesto germoplásmico deberían entonces cruzarse en todas las combinaciones posibles y establecer la población básica de cada compuesto mezclando cantidades iguales de semilla de cada uno de los cruzamientos dialélicos respectivos. Esto debería ser seguido por varias generaciones de panmixia dentro de cada compuesto. Cuántas generaciones de mezcla genética se deberían intentar antes de continuar con otros procedimientos, no lo sé, pero yo sugeriría cuando menos cinco. La cantidad de mezcla necesaria antes de someter la población a presiones de la selección, indudablemente variará para los diferentes compuestos.

Una vez que haya tenido lugar una cantidad razonable de mezcla, se debería intentar una utilización de la variancia génica aditiva mediante selección masal, basando la selección en el rendimiento en grano de cada planta individual sin prejuicios del aspecto o la forma de las plantas.

Superficialmente esto parece requerir mucho tiempo, pero yo creo que el número de años requerido para tener un compuesto germoplásmico listo para selección podría ser grandemente reducido mediante un esfuerzo cooperativo bien organizado de parte de los interesados. Haciendo uso de los muchos "fitotrones" naturales disponibles en Latinoamérica, fácilmente podrían obtenerse dos y tal vez tres generaciones por año. Los cruzamientos y generaciones de mezcla podrían obtenerse fuera de los Estados Unidos o alternando entre los trópicos y la faja maicera.

En los intentos para incorporar genes favorables adicionales a los dentados de la faja maicera mediante el uso de materiales exóticos diversos, creo que es importante empezar con pequeñas dosis de tales materiales. Veinticinco por ciento, según se sugiere más arriba, podría ser aún mucho; pero mientras no haya información más precisa, creo que es un buen punto para comenzar.

No pretendo minimizar los problemas inherentes a la mezcla genética de germoplasmas diversos, pero con base en mis propias experiencias creo que, aunque algunos de nuestros esfuerzos para obtener un producto de importancia económica mayor mediante el uso de ger-

moplasma exótico, pueden ser frustrados por restricciones de algunos ligamientos factoriales, ustedes se sorprenderán de lo grande que serán los dividendos de un programa de esta naturaleza.

### Referencias

1. Brown, W. L., and Anderson, E. "The Southern Dent Corns," *Ann. Mo. Bot. Gard.*, XXXV (1948), 255-68.
2. Gardner, C. O. "An Evaluation of Effects of Mass Selection and Seed Irradiation with Thermal Neutrons on Yield of Corn," *Crop Science*, I (1961), 241-45.
3. Johnson, E. C. *Agronomy Abstracts* (Amer. Soc. of Agron., 1963).
4. Series of publications on races of maize in Latin America:
  - a. Welhausen, E. J., Roberts, L. M. and Hernandez X., E. in collaboration with Mangelsdorf, P. C. *Races of Maize in Mexico*. The Bussey Institution, Harvard Univ., 1952, pp. 1-223.
  - b. Hatheway, W. H. *Races of Maize in Cuba*. Nat. Acad. Sci.-Nat. Res. Council, No. 458, 1957.
  - c. Roberts, L. M., Grant, U. J., Ramirez, E. R., Hatheway, W. H. and Smith, D. L. in collaboration with Mangelsdorf, P. C. *Races of Maize in Colombia*. Nat. Acad. Sci.-Nat. Res. Council, No. 510, 1957.
  - d. Welhausen, E. J., Fuentes O. and Hernandez, Corzo A., in collaboration with Mangelsdorf, P. C. *Races of Maize in Central America*. Nat. Acad. Sci.-Nat. Res. Council, No. 511, 1957.
  - e. Brieger, F. G., Gurgel, J. T. A., Paterlini, E., Blumenschein, A. and Alleoni, M. R. *Races of Maize in Brasil and Other Eastern South American Countries*. Nat. Acad. Sci.-Nat. Res. Council, No. 598, 1958.
  - f. Ramirez, E. R., Timothy, D. H., Dias, B. E. and Grant, U. J. in collaboration with Nicholson, G. E., Anderson, E. and Brown, W. L. *Races of Maize in Bolivia*. Nat. Acad. Sci.-Nat. Res. Council, No. 747, 1960.
  - g. Brown, W. L. *Races of Maize in the West Indies*. Nat. Acad. Sci.-Nat. Res. Council, No. 792, 1960.
  - h. Timothy, D. H., Peña V., B. and Ramirez E. R. in collaboration with Brown, W. L. and Anderson, E. *Races of Maize in Chile*. Nat. Acad. Sci.-Nat. Res. Council, No. 847, 1961.
  - i. Grobman, A., Salhuana, W. and Sevilla, R., in collaboration with Mangelsdorf, P. C. *Races of Maize in Peru, Their Origins, Evolution and Classification*. Nat. Acad. Sci.-Nat. Res. Council, No. 915, 1961.
  - j. Timothy, D. H., Hatheway, W. H., Grant, U. J., Torregrosa C. M., Sarria V., D. and Varela A., D. *Races of Maize in Ecuador*. Nat. Acad. Sci.-Nat. Res. Council, No. 975, 1963.
  - k. Grant, U. J., Hatheway, W. H., Timothy, D. H., Cassalet D., C. and Roberts, L. M. *Races of Maize in Venezuela*. Nat. Acad. Sci.-Nat. Res. Council, No. 1136, 1963.

