

EVOLUCION DEL MEJORAMIENTO DEL MAIZ

Ing. Agr. HECTOR O. ARRIAGA

INTRODUCCION

El maíz se ubica entre las gramíneas del ciclo del C, como la mejor adaptada a temperaturas frescas, de alrededor de 20°C (Castleberry et al, 1978).

Es una planta heliófila, con alta capacidad de aprovechamiento de la intensidad lumínica en condiciones favorables (Duncan et al, 1973) y de baja densidad foliácea por volumen de canopeo (Milthorpe y Moorby, 1982).

En el país es el cultivo anual sin riesgo que mejor se adecua a distintas condiciones ambientales, mostrando alta plasticidad (De Fina y Gianeto, 1977).

Estas características han determinado que sus principales zonas de cultivo se encuentren en regiones de clima templado a templado frío, coincidiendo con la ubicación geográfica de los países más desarrollados.

Su producción y la importancia primordial como grano forrajero, hacen que se sindeique al maíz como el cereal más representativo de los países desarrollados.

Por su producción mundial, ocupa el 2º lugar, después del trigo, con 481 millones de toneladas, de las que el 64 % corresponde a los países desarrollados. Estos son, a su vez, los principales exportadores y consumidores por ser también los más importantes importadores, con un 71 % de las 68 millones de toneladas de maíz que se comercializan por año. (FAO, 1987).

Estas circunstancias y otras características genético-fisiológicas de la especie han permitido una evolución sorprendente de la capacidad productiva, que se traduce en los elevados

rendimientos unitarios alcanzados. El promedio mundial es de 36 qq/ha., pero el de los países desarrollados es de 60 qq/ha. y EE.UU., que es el principal productor, ha llegado en 1986 a un rendimiento medio de 75 qq/ha. (FAO, o.c.).

Esta evolución se ha obtenido con la aplicación de los avances científicos más modernos, en el mejoramiento genético y en la tecnología de cultivo.

DOMESTICACION Y ADAPTACION

El primer y más eficiente mejorador del maíz fue el indígena americano. A través de un largo proceso de selección, obtuvo los cambios que permitieron su domesticación y adaptación a los diferentes ambientes.

De acuerdo con las últimas y mejores documentadas teorías del origen (Galinat, de Wet, Harlan y otros investigadores, 1971-1973), el antecesor inmediato del maíz sería un teosinto.

Restos arqueológicos que datan de 5.000 años a.C. hallados en Tehuacán y Tamaulipas, en México, probarían una evolución de 7.000 años y un período de domesticación inicial de 2.000 años. Los restos fósiles mostraban espigas bisexuales, femeninas en la base, masculinas en el ápice, de 19 a 25 mm. de largo, con 8 hileras de granos, con 6 a 9 flores femeninas fértiles en cada una. (Mangelsdorf et al, 1964; Galinat, 1971 o.c.).

A su llegada a América, a fines del siglo XV, los españoles encontraron razas de maíz con plantas de 2 a 3 mt. de altura, espigas de 30 cm. de largo, con 200 a 400 o más granos cada uno de éstos, casi del tamaño de aquellas espigas fósiles.

(Fernández de Oviedo, 1526; José de Acosta, 1590).

Además, la especie de origen tropical, había sido adaptada a las más diversas condiciones ambientales, siendo cultivada por los incas en las laderas montañosas hasta 4.000 mt. de altura o en zonas semidesérticas de Hopi (Weatherwax, 1954).

Las modificaciones obtenidas durante el proceso de domesticación y mejoramiento fueron notables: aumentos en el tamaño de la espiga, del grano y del número de granos por espiga, desarrollo de chalas protectoras; distintas características del endosperma; variaciones en altura de planta; desensibilización al fotoperíodo; resistencia al frío y sequía, disminución o eliminación de macollaje.

La alta variabilidad genética, la fecundación cruzada y la importancia individual de la planta y de la espiga, son características que favorecieron el éxito de la selección practicada.

Con el método de cultivo en matas y la elección de las mejores espigas, se limitó drásticamente la producción de macollas y el número de espigas por planta, características que lo diferenciaron profundamente de sus parientes más cercanos: el teosinto y *Tripsacum ssp.* (Mangelsdorf y Reeves, 1939).

El método seguido por el indígena fue el de selección de plantas y espigas con cultivo repetido y aislamiento relativo. No obstante, algunos autores estiman que los incas tenían conocimiento práctico del vigor híbrido. Por esta razón, clasificaban en la cosecha las espigas de sus maíces "copia" por color, pero sembraban, deliberadamente entremezclados, granos de distintos colores. (Weatherwax, 1954 o.c.).

En México y en América Central, la presencia del teosinto anual y su hibridación natural con el maíz cultivado, aumentó la variabilidad genética y permitió un mayor espectro en las posibilidades de selección. Ello contribuyó a que diferentes subespecies tuviesen sus centros de diversificación ubicados en esa zona.

EL MAIZ EN LA ARGENTINA

En nuestro país, las más antiguas

referencias sobre maíz se ubican en el NO, bajo la influencia de la civilización incaica y en menor escala, en el NE, donde predominaron tribus menos sedentarias.

Su importancia como cultivo fue creciente a partir de la 2ª mitad del siglo pasado, con el asentamiento de colonos y la introducción de poblaciones, principalmente procedentes del sur del Brasil. Estos materiales fueron designados como cuarentinos, genoveses, piemonteses, sesentinos. (Luna, 1983).

Esas poblaciones se adaptaron a las distintas condiciones ambientales por cultivo repetido realizado por los productores, formando nuevos ecotipos. También se logró una mayor uniformidad en caracteres de espiga por selección en troje.

SELECCION POR METODOS

SIN CONTROL DE POLINIZACION

Sobre este material se realizaron los primeros procesos de selección con base técnica, que la Escuela de Agricultura de Casilda concretara en 1913 con la presentación de la variedad "Colorado Casilda".

En la década del 20, el Ing. Enrique Klein, utilizando material previamente seleccionado en "La Estanzuela" (R. O. del Uruguay) y poblaciones locales, inscribió otras variedades como el Amarillo Común Klein, Colorado Cuarentón Klein, Amarillo Canario Klein y Colorado Común Klein.

Las variedades mencionadas y otras que le siguieron, fueron obtenidas principalmente, aplicando la selección masal, con ligeras variantes. Se registraron, también, algunas introducciones, siendo la de mayor trascendencia la que se concretó con la obtención de Long White Flint sel. M. A.

En la actualidad, las variedades de polinización abierta son muy poco representativas en la producción nacional, hay sólo 5 ó 6 inscriptas y son cultivadas en regiones marginales.

Sin embargo, las poblaciones de maíz adaptadas al NOA y NEA son conservadas en el Banco de Germoplasma del INTA de Pergamino y se han diferenciado más de 43 razas de unas 2.500 muestras individuales recolectadas. Lo mismo ocurre con otras po-

blaciones recogidas en diversas zonas de valles cordilleranos más meridionales.

Los métodos sin control de polinización se fueron modificando en base a criterios más científicos. No obstante que se han obtenido nuevas variedades, con mayor capacidad de rendimiento que las anteriores, su difusión ha quedado relegada a zonas de menor aptitud y/o desarrollo de las técnicas de cultivo.

METODOS CON CONTROL DE POLINIZACION

Experiencias conducidas con control de polinización durante los siglos 18 y 19, permitieron obtener las primeras observaciones experimentales que sirvieron como base para el aprovechamiento del vigor híbrido.

Los conceptos predominantes eran:

- a) La fecundación cruzada es biológicamente importante dado el gran número de mecanismos naturales que tienden a favorecerla. (Sprengel, 1793; Darwin, 1877).
- b) La autofecundación reduce el vigor y evidencia signos de degeneración, sobre todo en las primeras generaciones. (Darwin, 1877, o.c.).
- c) La hibridación da aumento de vigor (Kolreuter, 1763), en especial cuando se realiza entre tipos genéticamente más alejados. (Hayes y Olsen, 1919).

LA HIBRIDACION

La hibridación en maíz, tanto intra como interespecífica, ha tenido como principal objetivo aumentar la variabilidad genética. Pero también, entre tipos diferentes, se usó para aprovechar el aumento de vigor y del rendimiento de la F_1 . Este sistema tuvo un gran auge en EE.UU. a partir de los trabajos de Beal (1876) y continuaron en las primeras décadas del siglo XX.

Las variaciones de rendimiento observadas en el comportamiento de las F_1 , que en algunos casos no superaban al de las variedades testigos y el desarrollo de la producción de híbridos entre líneas endocriadas, deter-

minó la pérdida de actualidad del método.

En el país sólo se ha utilizado en el NO, donde se han obtenido y difundido "híbridos cruza" o "intervarietales", producto de trabajos conducidos en las Estaciones Experimentales de Cerrillos y Famaillá.

Como cruzamientos interespecíficos se pueden mencionar las investigaciones que se conducen en el Instituto Fitotécnico de Sta. Catalina (Fac. Agr. UNLP) con hibridaciones de *Zea mays* con *Zea perennis* (Mazoti y Rimieri, 1970) y *Zea diploperennis* (Magoja y col., 1986).

LA AUTOFECUNDACION

Las observaciones de Mc Klein (1892) sobre el elevado vigor que se podía lograr en cruzamientos entre plantas endocriadas, abrieron nuevas perspectivas para el mejoramiento del maíz.

Los trabajos de Shull (1908, 1909) en Long Island y Nueva York y de East (1908, 1909), en Illinois y Connecticut, resultaron fundamentales para la producción de cultivares híbridos a partir de líneas endocriadas.

Luego se fueron diseñando y perfeccionando técnicas de obtención, evaluación y mejoramiento de líneas endocriadas que permitieron la obtención de nuevos híbridos, con elevado potencial de rendimiento, capaces de aprovechar mejor las condiciones ambientales y el perfeccionamiento de las técnicas de cultivo.

LOS CULTIVOS HIBRIDOS

En EE.UU. el uso y difusión de híbridos en el gran cultivo, ocurrido durante la 2ª guerra mundial, permitió a ese país alcanzar un rápido y decisivo liderazgo en la producción y exportación del maíz. Se atribuye a los aumentos logrados en los rendimientos de este cultivo, una gran parte del aporte financiero del plan Marshall, con que aquel país ayudó a la reconstrucción de algunos países de Europa Occidental.

En la Argentina, los trabajos de endocria realizados en el Instituto Experimental de Santa Fe y en la Estación Experimental de Pergamino, permitie-

ron la obtención e inscripción de los primeros híbridos dobles en el país: Santa Fe N° 3, en 1945 y Pergamino N° 2, en 1951.

La difusión de los híbridos en las distintas regiones de cultivo determinó el desplazamiento de variedades y/o poblaciones locales, de las que una parte importante desapareció. Con ello se fue perdiendo un germoplasma sumamente valioso, con gran capacidad de adaptación a las condiciones ambientales y resistencia a los principales factores adversos predominantes en cada región.

En general, esto no ocurrió en el país con la misma intensidad que en otras regiones del mundo. Ello se debió, fundamentalmente, a que el desplazamiento de las viejas variedades no se hizo con germoplasma foráneo sino con híbridos obtenidos en el país, que contenían una parte del material genético autóctono, de tipo duro o flint.

CONSERVACION Y MEJORAMIENTO DE POBLACIONES

Surgió la necesidad de preservar los germoplasmas regionales y paralelamente mejorarlos, como forma más adecuada para obtener nuevas líneas capaces de superar a las existentes.

Tomaron auge, así, los métodos destinados a la preservación y mejoramiento de poblaciones, que, junto con los bancos de germanoplasma, constituyen una reserva fundamental del patrimonio genético del cultivo.

Tal vez la forma más económica y simple de lograr este objetivo, es la constitución de variedades sintéticas a partir de líneas y/o híbridos, que se agrupan de acuerdo a determinadas características y así se hizo, en un principio, en EE.UU.

También se pueden agrupar, en un pozo genético, poblaciones y/o variedades regionales que responden a un determinado tipo. Este es el caso de los colorados flint recogidos en el país, que se mantienen en la Estación Experimental Regional Agropecuaria de Pergamino (INTA).

A partir de estos materiales de alta variabilidad se pueden aplicar métodos de mejoramiento que eviten la erosión génica y la rápida disminución

de la diversidad genética que inevitablemente acompañan a los procesos de endocria continuada.

Estos métodos permiten aumentar en la población, la frecuencia o concentración de genes favorables, sin disminuir en forma sensible, la variabilidad genética. Con ello se logra un mejoramiento del cultivar "per se" y un material básico del que pueden obtenerse líneas endocriadas que podrán demostrar, sobre las anteriores, la misma superioridad relativa que los cultivares mejorados sobre sus parentales.

Los programas convencionales de mejoramiento para obtención de nuevos híbridos, que son hasta el presente los de mayor difusión o uso, se fundamentan en el desarrollo de poblaciones mejoradas para utilizar como material básico en la obtención de nuevas líneas superiores.

EL PROGRESO ALCANZADO

Los niveles en el cultivo del maíz, analizados a través de los incrementos en los rendimientos, han sido muy significativos en los últimos 50 años.

En EE.UU. de 1930 a 1981 se pasó de 12 a 65 qq/há. (Duvik, 1983). En Argentina, en el mismo período, de 17 a 32 qq/ha. No existe coincidencia entre los distintos autores sobre el porcentaje aportado por el mejoramiento genético para ese avance, pero en EE.UU. se le atribuye entre el 33 y el 89 % del aumento logrado (Russell, 1986). Nider y Mella (1982), consideran que de los 153 kg/ha/año de aumento en el país, alcanzados en el decenio 1972/81, el 80 % se debe atribuir al mejoramiento genético.

La biotecnología clásica ha permitido obtener cultivares híbridos con elevado potencial de rendimiento, que se encuentra muy por encima de los valores que se obtienen en el gran cultivo. En nuestro país ese potencial llega a 130-140 qq/ha; en EE.UU. hay híbridos con capacidad para producir 230 a 240 qq/ha.

Ello se ha conseguido a través de las técnicas de mejoramiento clásico, con un conocimiento más profundo de la fisiología y la genética del maíz, haciendo un uso adecuado de la variabilidad genética existente en la es-

pecie o en especies estrechamente relacionadas.

El progreso genético alcanzado no se puede atribuir a una determinada acción génica, pero sí se pueden señalar una serie de características fisiológicas que han contribuido a la mejor expresión de los genes específicos que potencian el rendimiento. Entre ellos se pueden citar: el retraso en la senescencia foliar; la mayor capacidad de producir materia seca; un aumento en la eficiencia acumulativa en el grano; mayor fertilidad floral; una arquitectura de plantas de mejor distribución en el canopeo y con ello un mejor aprovechamiento de la radiación solar compatible con mayores densidades de cultivo, resistencia a quebrado, vuelco, enfermedades.

LA MODERNA BIOTECNOLOGIA

La moderna biotecnología abre perspectivas realmente espectaculares para las posibilidades del mejoramiento animal y vegetal.

Las nuevas técnicas las podemos circunscribir, por ahora y ordenadas de acuerdo con su desarrollo en el tiempo, en el cultivo "in vitro" de células y tejidos, formación de anticuerpos monoclonales, fusión de protoplastos y uso del DNA recombinante.

Los avances de estas metodologías se basan en profundos conocimientos científicos alcanzados en la bioquímica, la fisiología y la genética de los seres vivos.

Su uso ofrece posibilidades concretas que se pueden traducir en una más amplia generación de diversidad genética, basada no sólo en especies afines, sino con la incorporación de genes favorables de otras especies no relacionadas, pues no es necesaria la reproducción sexual para las recombinaciones genéticas. A su vez, permiten alcanzar una propagación más rápida que la asexual con la producción de grandes cantidades de organismos idénticos.

La formación de anticuerpos monoclonales ha sido muy eficiente para el diagnóstico de enfermedades, producción de vacunas y determinación del sexo en embriones. La fusión de protoplastos ha contribuido al

mejoramiento de microorganismos y plantas por cruzamientos de especies alejadas, con obtención de nuevas sustancias bioquímicas.

El uso del DNA recombinante ha permitido la incorporación en microorganismos, plantas y animales, de genes de otras especies, contribuyendo a su mejoramiento y a la producción de sustancias bioquímicas no tradicionales. (Wagner, 1986; 1987).

Es precisamente en el campo de la bioindustria donde se han logrado los ejemplos más concretos con la inserción de genes extraños en microorganismos. La industria bioquímica está aprovechando económicamente los grandes progresos alcanzados en la producción de compuestos farmacológicos, hormonales, enzimáticos y otros de usos industriales.

En las plantas superiores se ha conseguido, a través del cultivo de células y tejidos, la propagación de cultivares libres de enfermedades; resistentes a factores adversos; con un mayor contenido proteico; la producción de líneas homocigotas y la superación de barreras biológicas por incompatibilidades genéticas. También se ha avanzado en la diagnosis de enfermedades por formación de anticuerpos monoclonales y en mejoramiento de especies por cruzamientos alejados con fusión de protoplastos y vía inserción de genes por DNA recombinante.

En el caso específico del maíz no resulta fácil imaginar que, con la metodología señalada, se puedan lograr grandes avances en el potencial de rendimiento de los cultivares. Sí, en cambio, una mayor estabilidad y resistencia a factores limitantes de la expresión de dicho potencial, con mejor aprovechamiento de las condiciones ambientales predominantes y una mejor adaptación que permita la ampliación de las zonas de cultivo.

Esto es muy importante si se tiene en cuenta que los rendimientos medios de la mayoría de los países, incluyendo EE.UU. y Argentina, llegan sólo al tercio del potencial de rendimiento de sus mejores cultivares.

La incorporación de genes que contribuyan a la superación de esos factores limitantes permitirá importantes incrementos en la producción mundial

de maíz, aún sin modificar el potencial de rendimiento de los actuales cultivares.

Los éxitos alcanzados por la nueva biotecnología en maíz han sido hasta ahora muy limitados.

A ello han contribuido algunos problemas técnicos. Por ejemplo, serias dificultades para lograr regeneración de plantas fértiles a partir de cultivos celulares que han sido superados recientemente. Otros científicos, como la falta de identificación, con técnicas moleculares, de genes agrónomicamente útiles que permitan su transferencia por ingeniería genética. (Duvick, 1987).

La intensificación de las investigaciones en esos casos, aportarán conocimientos fundamentales para la incorporación de caracteres útiles de especies alejadas.

Hasta el presente, la biotecnología moderna ha concretado en maíz, resistencia a herbicidas a base de imidazolinona, obtenida por selección celular en cultivos de tejidos. Este carácter segrega genéticamente como de dominancia incompleta con el alelo normal susceptible (Frey, 1987). Este logro puede permitir un mejor control de la competencia por malezas.

La presión de selección que se puede utilizar incorporando al medio de los cultivos "in vitro" toxinas, herbicidas, sales, agentes deshidratantes y otras sustancias químicas, permite inferir que, a corto plazo, se han de lograr avances importantes en el mejoramiento del maíz.

El perfeccionamiento en las técnicas de incorporación de DNA a protoplastos de maíz, que se está logrando con cierto éxito utilizando medios eléctricos para atacar la membrana celular, brindan un importante camino al mejoramiento de la especie. (Fromm et al, 1985, 1986).

Se pretende incorporar el gen **Bt** de la bacteria **Bacillus thuringiensis**, que produce una proteína cristalizada tóxica para determinados lepidópteros, que podría ser de gran importancia en el control de insectos barrenadores que afectan al maíz. Esta transferencia ya ha sido exitosa en tomate y en tabaco. (Frey, 1987, o.c.).

Iguals resultados se pueden esperar en la resistencia a otros insectos, a enfermedades criptogámicas y a virosis, en la medida que se conozcan con mayor profundidad, las interacciones huésped-patógeno.

Estos logros son los más concretos de esperar en la década del '90.

No obstante, las posibilidades futuras dependen del grado de imaginación de quien realice las elucubraciones.

Lo cierto es que la moderna biotecnología se presenta como una disciplina de fundamental interés e importancia en el mejoramiento de las plantas (y de los seres vivos en general). Ha de permitir, a través del perfeccionamiento en el manejo de las técnicas señaladas y de la profundización de los conocimientos bioquímicos, fisiológicos y genéticos, una mayor precisión y rapidez en la incorporación de caracteres favorables.

Pero no ha de reemplazar totalmente los métodos de mejoramiento actuales porque los nuevos individuos o cultivares obtenidos tendrán que demostrar su mayor aptitud y capacidad de rendimiento en el medio o ambiente en el que se han de cultivar. Esto se deberá hacer a través de las técnicas clásicas de pruebas de campo. Por otra parte, la hibridación seguirá siendo el método adecuado para transferir los nuevos genes incorporados a las líneas élites que se dispongan.

BIBLIOGRAFIA

- Beal, W. J., 1876-882. Report Michigan State Board Agric.
- Castleberry, R. M.; J. A. Teeri and J. B. Muriel, 1978. *Crop. Sc.* 18 (4); 633-37.
- Darwin, C., 1877. *D. Appl. and Co. N.Y.*, 482 pp.
- de Acosta, José, 1590. *Historia Natural y Moral de las Indias*. Sevilla 1590. (Cit. Mesa Bernal, D. 1957. *Historia Natural del Maíz*, *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. y Nat.* 10 (39).).
- De Fina, A. L. y F. Gianetto, 1977. *Rev. Bolsa de Cer. Año CIV*, N° 2909:2-10.
- De Wet, J. M. J.; J. R. Harlan; C. C. Grant, 1971. *Euphytica*.
- Duncan, N. G.; D. L. Shaver and W. A. Williams, 1973 *Crop. Sc.* 13 (2): 187-191.
- Duvick, D. N., 1983. Ed. W. Fehr, *ASA Spec. Public N° 7:15-47*.
- Duvick, D. N., 1987. *Jorn. Biotecn. Bs. As.*; 34 pp.
- East, E. M., 1908. *Rep. Conn. Agr. Exp. St for 1907:419-428*.
- East, E. M., 1909. *Am. Naturalist* 43: 173-181.
- FAO, 1987. Vol. 10 N° 6 (junio-julio): 69 pp.
- Fernández de Ovideo, 1526. *Historia General y Natural de las Indias*. Sevilla 1526-1549. (Cit. Mesa Bernal, D., 1957. *Historia Natural del Maíz*, *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. y Nat.* 10 (39)).
- Frey, N., 1987. *Jorn. Biotecn. Bs. As.*; 12 pp.
- Fromm, M. E.; L. P. Taylor and V. Walbot. 1985. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 82: 5824-5828.
- Fromm, M. E.; L. P. Taylor and V. Walbot, 1986. *Nature* 319:791-793.
- Galinat, W. C., 1971. *The Origin of Maize*. Waltram, Massachusetts: 447-481.
- Harlan, J. R.; J. M. J. De Wet, 1971. *Current. Anthropol.*
- Hayes, H. K. and P. J. Olsen, 1919. *Minm. Agr. Exp. St. Tech. Bull.* 183: 5-22.
- Luna, J. T., 1983. *Est. Exp. Reg. Agr. Pergamino INTA. Mimiogr.*
- Magoja, J. L. y col., 1986. *Maize Genet. Coop. News Lett.* 60.
- Mangelsdorf, P. C. and R. G. Reeves, 1939. *Texas Agr. Exp. St. Bull.* 574, 315 pp.
- Mangelsdorf, P. C.; R. S. Mac Neish; W. C. Galinat, 1964, *Science*, 143:538-545.
- Mazoti, L. B. y P. Rimieri, 1970. *Res. VIII Reun. Latin. Amer. Fitot.*
- Milthorpe, F. L. y J. Moorby, 1982. *Introducción a la Fisiología de los Cultivos*. Ed. Hemisf. Sur. Bs. As., 258 pp.
- Nider, F. y R. Mella, 1982. *Est. Exp. "Ma. Laura"*, Salto; 15 pp.
- Russell, W. A., 1986, *Iowa St. Journ. Res.* 61:5-34.
- Shull, G. H., 1908. *Am. Breed. Assoc. Rept.* 4:296-301.
- Shull, G., 1909. *Am. Breed. Assoc. Rept.* 5:51-59.
- Wagner, C K., 1986. *Agric. Biotecn. DGPP, U.N. Devel. Prog. N.Y.*
- Wagner, C. K., 1987. *Jorn. Biotecn. Bs. As.*, 29 pp.
- Weatherwax, P., 1954. *Indian Corn in Old America*, The Mc. Mill. Co. N.Y., 253 pp.