



BID



PROCIANDINO

IICA-CIDIA



**EXPERIENCIAS EN EL CULTIVO DE MAIZ
EN EL AREA ANDINA**

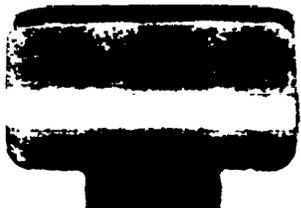
159e

IICA
PROCIABDIN
FD1
159e

PROGRAMA COOPERATIVO DE INVESTIGACION Y TRANSFERENCIA
DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA PARA LA SUBREGION ANDINA

BOLIVIA COLOMBIA ECUADOR PERU VENEZUELA

1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025



**PROGRAMA COOPERATIVO DE INVESTIGACION Y TRANSFERENCIA
DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA PARA LA SUBREGION ANDINA**

Centro Interamericano de
Documentación e
Información Agrícola
14 NOV 1994
IICA — CIDIA

**EXPERIENCIAS EN EL CULTIVO DE MAIZ
EN EL AREA ANDINA**

**Quito, Ecuador
Octubre, 1991**

ANIPRO
C 10.5731
**Programa Cooperativo de Investigación y Transferencia
de Tecnología Agropecuaria para la Subregión Andina**

PROCIANDINO

Dirección postal: Apartado 17-03-00-201

Mariana de Jesús 147 y La Pradera

Quito, Ecuador

00001827

CITACION

**IICA-BID-PROCIANDINO. 1991. "Experiencias en el cultivo
de maiz en el Area Andina". Edición: PROCIANDINO. Quito,
Ecuador, 93 p.**

TABLA DE CONTENIDO

		<u>Página</u>
<i>Presentación</i>	<i>Nelson Rivas V. IICA-PROCIANDINO</i>	<i>i</i>
<i>Diversidad del maíz en el Area Andina</i>	<i>Ricardo Sevilla P. INIAA-Perú</i>	<i>1</i>
<i>Selección recurrente en maíces tropicales</i>	<i>S. Pandey, Hernán Ceballos CIMMYT/CIAT Charles O. Gardner U. Nebraska, USA</i>	<i>27</i>
<i>Labores culturales</i>	<i>Américo Valdez M. UNA La Molina, Perú</i>	<i>69</i>



PRESENTACION

El Programa Cooperativo de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria para la Subregión Andina (PROCIANDINO), presenta a la comunidad de investigadores, extensionistas, académicos y demás profesionales del sector, el primer volumen de la publicación "Experiencias en el cultivo de maíz en el Area Andina".

En esta edición, científicos de reconocida trayectoria en mejoramiento y manejo del cultivo de maíz del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), de la Universidad de Nebraska (USA), de la Universidad de La Molina y del Instituto de Investigaciones Agrícolas y Agroindustriales (INIAA), de Perú, se dedicaron con tesón para transmitir conocimientos básicos en las materias de su especialidad, cuyos contenidos fueran ampliados con sus propias experiencias y las acumuladas por la comunidad científica de su entorno.

El Programa Cooperativo, en concordancia con las capacidades disponibles en los centros nacionales e internacionales de investigación, está promoviendo la edición en serie de estos documentos, cuyo contenido versará sobre los diversos tópicos de este cultivo, reconocido enriquecedor del conocimiento para la agricultura y abastecedor de la dieta básica de la sociedad desde nuestros antepasados.

Los aspectos genéticos, el mejoramiento y manejo del cultivo de maíz presentados en esta publicación, serán complementados en un futuro próximo por temas en el ámbito de la morfología y fisiología, sistemas de producción, variedades mejoradas e híbridos, enfermedades y plagas, así como una lúcida exposición sobre la importancia del maíz en la Zona Andina y su proyección en las próximas décadas.

Esta contribución está dimensionada al progreso de los programas de investigación del cultivo de maíz, el mejoramiento creciente de su producción y productividad, la diversificación de su uso y a una versátil fuente del conocimiento.

Es necesario expresar un especial reconocimiento al Equipo Técnico del Subprograma Maíz del PROCIANDINO, quien alentado por su Coordinador Internacional, Ing. Ricardo Sevilla Panizo, configuraron el contexto general de "Experiencias en el cultivo de maíz en el Area Andina" y asumieron en su debido tiempo las responsabilidades para su realización. En su oportunidad, el Ing. Sevilla y los doctores S. Pandey, Hernán Ceballos, Charles O. Gardner y Américo Valdez, con su encomiable dedicación, han hecho posible esta primera entrega.

Es nuestra responsabilidad que la difusión y aprovechamiento del conocimiento contenido de esta publicación, recompense a quienes han participado en su elaboración, hecho que vigorizará el rumbo del PROCANDINO en su misión de fortalecer la capacidad y calidad tecnológica agropecuaria en la Subregión Andina, cuya hoja de ruta está encaminada al bienestar de la sociedad.

**Nelson Rivas Villamizar
SECRETARIO EJECUTIVO**

DIVERSIDAD DEL MAIZ EN LA REGION ANDINA

Ricardo Sevilla P. *

1. INTRODUCCION

Pocos cultivos han pasado por un proceso de evolución tan dinámico como el maíz. A partir de formas muy débiles y poco productivas se generaron muchas razas utilizadas en muy diversas formas, que cubren un amplísimo rango de ambientes.

La selección, tanto natural como artificial, es el mecanismo más importante de ese proceso; sobre todo la artificial porque modificó el maíz a voluntad, siguiendo patrones culturales definidos. Actualmente, se usa también la selección para mejorar la productividad y otras características económicamente importantes del maíz, pero la selección moderna, a diferencia de lo que sucedió en el pasado, si no se ejecuta bien, reduce la variabilidad uniformizando los productos de la selección y, consecuentemente, arriesgando la propia supervivencia de la especie.

La disminución de la diversidad genética, causada por la erosión genética en condiciones naturales, y por la reducción de la variabilidad, es uno de los factores que, junto a la explosión demográfica, la desertificación y la destrucción de los ecosistemas naturales, están poniendo en peligro a la humanidad.

Debido a la rápida destrucción de los recursos naturales para satisfacer necesidades a corto plazo, se impone ahora que todas las actividades productivas que usen recursos naturales sean sostenibles, en el sentido de no afectar la disponibilidad de los recursos para las futuras generaciones. Si se especifica la idea para el caso del mejoramiento de plantas, deberíamos explotar la variancia genética para conseguir el mejoramiento de la especie, pero este debe ser sostenible, es decir, la disponibilidad de la variabilidad genética debe quedar intacta o aumentar en el proceso de selección, como la evolución del maíz lo ha mostrado. La evolución del maíz ha sido realmente un proceso de selección muy eficiente, que pudo, a la vez, generar mucha diversidad asegurándonos la disponibilidad de abundante variancia genética para el futuro.

El estudio del proceso de evolución del maíz en la región andina nos puede señalar pautas para lograr el mejoramiento sostenido de la especie.

2. ORIGEN Y EVOLUCION DEL MAIZ EN LA REGION ANDINA

La zona andina es, sin lugar a dudas, la región donde existe la mayor diversidad de maíz. Esta diversidad se expresa fenoti-

* Coordinador Internacional Subprograma II- Maíz, PROCIANDINO.

picamente en razas. Para cuantificar en términos raciales la diversidad genética del maíz, tomamos como referencia la publicación sobre Razas de Maíz de Goodman y Brown (1988), quienes hicieron un recuento de todas las razas descritas en América y las agruparon en diez grupos basados en caracteres morfológicos, genéticos y cromosómicos. De las 260 razas descritas en esa publicación, 132, o sea más de la mitad, pertenecen a la región andina. De esas, solo 8 son razas introducidas recientemente. Todas las demás han pasado por un largo proceso de diversificación, que empezó hace más o menos ocho mil años, con muy pocas razas que a través de procesos genéticos, ecológicos y culturales, dieron lugar a esa asombrosa variabilidad.

Hay una seria controversia sobre el origen del maíz andino. La teoría más aceptada es la de los difusionistas. Esta teoría expresa que el maíz se originó en México o Guatemala, en las regiones donde todavía se encuentra el maíz cruzándose libremente con el teosinte, su posible antecesor (Galinat, 1970, 1977; Iltis, 1983; Doebley, 1983; Benz, 1988; Beadle, 1978; de Wed y Harlan, 1978). El teosinte es el antecesor directo del maíz cultivado, o de un maíz silvestre que después produjo por selección el maíz cultivado (Wilkes, 1989). No hay casi ninguna duda que el maíz se originó en Mesoamérica; inclusive, a través de análisis isoenzimáticos, se ha podido demostrar que el maíz actual está muy cercanamente relacionado con el teosinte, de la raza Balsas o el teosinte anual (Doebley, Goodman y Stuber, 1984).

La controversia es con relación a cómo llegó el maíz a Sudamérica, y en qué estado de desarrollo, cultivado o silvestre. Varias tentativas se han hecho para definir las rutas de tránsito del maíz de Mesoamérica a Sudamérica. Ultimamente, Persall (1990), basado en estudios paleoetnobotánicos hechos en Ecuador y Perú ha trazado modelos de rutas posibles de dispersión del maíz en Sudamérica. De acuerdo a su modelo, el maíz cruzó Centroamérica proveniente de México, y llegó a Panamá en donde hay evidencias de presencia de maíz más o menos hace 5,000 años aC. De Panamá pasó a Colombia y Ecuador. Su presencia en la Costa ecuatoriana es más antigua que la presencia en la Sierra del Ecuador. Continuó su ruta hacia el Sur apareciendo en Perú en la Sierra antes que en la Costa. Desde la Sierra del Perú pasó a Chile donde los restos de la Costa Norte chilena son más antiguos a juicio de la autora, que los restos de la Costa peruana. El maíz se encuentra en la Sierra del Perú alrededor de 3,000 aC y, posteriormente, bajó a la Costa. Análisis de isótopos de carbono de restos humanos sugieren que el maíz continuó teniendo un rol minoritario en la dieta entre 3,000 a 1,500 aC, pero aumenta considerablemente a partir de esta fecha. Recién en el año 800 aC aparece en Venezuela.

Algunos investigadores, principalmente Grobman (1974) y Bonavia y Grobman (1989a) sostienen que en el área andina también el maíz se domesticó pasando de silvestre a cultivado. El maíz

silvestre se difundió por medios naturales, quizás por aves migratorias, de Mesoamérica a los Andes centrales.

Es necesario revisar la cronología de la aparición del maíz en restos arqueológicos, precisando, tanto como las pocas evidencias lo permitan, el proceso de la evolución del maíz en la región andina. Desafortunadamente, la información sobre la antigüedad de los sitios arqueológicos es muy incompleta, en muchos casos imperfecta, y con defectos metodológicos que no permiten llegar a conclusiones definidas. Muchos de los reportes de existencia de maíz arqueológico no están suficientemente documentados en términos de antigüedad, contexto, ni secuencia estratigráfica. En muchos casos donde la muestra era muy pequeña, una o varias mazorcas, el análisis se ha hecho sobre el contexto, no directamente sobre la muestra, quedando muchas dudas por la acción de elementos que, como por ejemplo, los roedores, mueven la muestra sacándola de su contexto original. En muchos casos, las fechas dadas originalmente son cuestionadas por muchas razones, principalmente metodológicas, lo cual dificulta la visión de un panorama arqueológico definitivo.

Para evitar añadir más confusión a la ya existente, sobre la cronología de los restos arqueológicos de maíz, se hará uso solo de dos fuentes que expresan los conceptos más divergentes sobre el tema: una fuente altamente "difusionista", que presenta la más moderna y completa cronología del maíz arqueológico Sudamericano (Persall, 1990); y, la otra fuente que cree en la domesticación independiente en la región andina (Grobman et al, 1961), y cuya fundamentación arqueológica es aportada por Bonavía y Grobman (1989b) y Bonavía (1982). Esta última referencia es de mucho valor en cualquier discusión sobre evolución del maíz, por las serias críticas que ahí se hacen acerca de la validez de los datos arqueológicos.

La evidencia más antigua de la presencia de maíz en Sudamérica proviene de Huachichocana, en una zona árida de la Sierra del Noroeste argentino, en la Provincia de Jujuy. El maíz se encontró en asociación con ají y frijol, en un estrato fechado de 7670 a 6720 aC. Sin embargo, la muestra es muy pequeña y no se encuentra maíz en los estratos superiores, hasta los estratos más modernos, de menos de 2,000 años de antigüedad. Una de las 4 mazorcas encontradas en Huachichocana, pertenece, según Cámara-Hernández (citado por Bonavía, 1982), a un maíz primitivo, probablemente Pisincho.

En la Costa Sur del Ecuador, en Las Vegas, con una antigüedad de 6,000 a 4,500 aC se han encontrado fitolitos de maíz. Contemporáneo a ese, es el polen de maíz encontrado en la Cordillera Occidental de Colombia, en Calima (Hacienda El Dorado). Tanto los fitolitos como el polen de maíz, solo demuestran la presencia del maíz en las épocas en que ellos son fechados. Como su identificación requiere técnicas más o menos elaboradas, podrán aportar pruebas para diseñar modelos de diseminación cuando se hagan los mismos análisis en muchos sitios

arqueológicos en toda la región. La antigüedad de 8,000 años del maíz andino, basado en esas evidencias, puede servir como fecha referencial que será reajustada a medida que nuevas investigaciones aporten mejores evidencias.

En el Norte de Chile hay dos sitios arqueológicos cercanos: Tiliviche en Pisagua, y Camarones 14, donde se han encontrado hojas y tuzas de maíz en el primer caso, con una antigüedad de 5,900 a 4,110 aC, y en el segundo caso, con una estratigrafía más discutible, con una antigüedad de 5,470 a 4,665 aC. Tampoco está muy clara la asociación y estratigrafía de otros sitios arqueológicos del Norte chileno: con una antigüedad de 4,220 a 3,680 aC; Tarapacá, cropolitos con restos de maíz, con fecha de 4,880 a 2,830 en 14A, con antigüedad de 2,740 aC en Tarapacá 12; y, en San Pedro Viejo, en Pichasca, con restos de mazorcas de maíz bien identificadas racialmente, con una antigüedad de 2,750 aC. Según Galinat, las mazorcas son de las razas Capio Chico Chileno, Negrito Chileno y Curagua.

La evidencia más antigua de maíz en el Perú, proviene de las cuevas de Ayacucho, en los Andes del Sur del Perú. Mac Neish hizo las excavaciones, y las mazorcas encontradas fueron analizadas por Galinat, y posteriormente por Grobman. Para Galinat esas mazorcas pertenecen a las razas Confite Puneño y Confite Morocho, y a un tipo intermedio entre las dos que él denominó Ayacucho, raza que no existe en la actualidad. Para Grobman, que también analizó las muestras, todas las mazorcas pertenecen a solo dos razas: Confite Morocho y Confite Chavinense. El maíz que ha sido fechado entre 4,400 a 3,100 aC se encontró asociado con lagenaria, calabaza, frijol, quinua y lúcuma. Los estratos inferiores más antiguos, fechados entre 5,800 a 4,400 aC no tienen maíz.

Otro sitio donde supuestamente se cultivó un maíz más antiguo aún que el de Ayacucho, pero cuya cronología es muy discutible, es las cuevas de Guitarrero en el Callejón de Huaylas, en el Departamento de Ancash en la Sierra Centro-Noroeste del Perú. Thomas Lynch, de la Universidad de Cornell, excavó la cueva y Earle Smith hizo la identificación e interpretación del material vegetal. Identificaron las razas como Ancashino y Huayleño que según ellos se originaron de una raza mesoamericana, probablemente Palomero Toluqueño; algunas razas eran parecidas a las razas colombianas Pira y Pollo. Solo había, según Smith, una mazorca típica de Confite Chavinense. De acuerdo a Grobman, citado por Bonavia (1982), el análisis de los datos morfológicos presentados en el reporte de Smith, prueban que las mazorcas pertenecen a las razas Huayleño y Confite Chavinense.

Galinat examinó también algunas mazorcas, que encontró similares en forma, a las razas primitivas peruanas Confite Morocho y Confite Puneño.

La fecha exacta de la antigüedad del maíz de Guitarrero es difícil de definir. De acuerdo a Lynch, el maíz aparece en la

última parte del periodo pre-cerámico de 4,000 a 2,000 aC. Sin embargo, este sitio es uno de los pocos conocidos que Pearsall no incluye en su tan completa cronología (1990), debido a que los informes de los arqueólogos no incluyen maíz entre las plantas recuperadas en contextos arqueológicos seguros.

De dos sitios arqueológicos de la Costa ecuatoriana, Loma Alta y Real Alto, pertenecientes a la cultura Valdivia, se extrajo granos y fitolitos de maíz asociados con frijol y algodón; ambos tienen una antigüedad de más o menos 5,000 años: Loma Alta, de 3,000 a 2,700 aC y Real Alto de 3,300 a 1,500 aC. Contemporáneo a ellos, se cultivaba maíz en la selva ecuatoriana, como lo evidencian el polen y fitolitos encontrados en Ayauchi (3,399 aC).

A diferencia del Ecuador, donde el maíz en la Sierra aparece mucho después, en Cerro Mario (2,000 a 1,800 aC), en el Perú el maíz aparece casi simultáneamente en la Sierra y en la Costa. El maíz más antiguo encontrado en la Costa peruana es el maíz de Los Gavilanes en Huarney, en la Costa Nor-central del Perú, encontrado en un contexto precerámico, asociado con muchas otras especies: mani, paca, calabaza, palta, yuca, ají, pallar, frijol, algodón, chirimoya, camote, etc. (Grobman, Baravia, 1978).

Más que la antigüedad de este maíz (2,700 a 2,200 aC), que ha sido cuestionada por algunos, lo interesante del hallazgo es que la muestra fue bastante grande, permitiéndole a Alexander Grobman (1982) hacer una verdadera descripción morfológica de las mazorcas, partes de la planta, panojas y polen. Basado en la morfología de las mazorcas, él concluyó que las muestras pertenecen a tres razas: Proto-Confite Morocho (42%), Confite Chavinense (45%) y Proto Kcully (1%). Doce por ciento de las mazorcas fueron difíciles de clasificar, debido a que posiblemente eran híbridos entre esas tres razas.

También el maíz encontrado en Aspero, cerca de Supe a 170 km al Norte de Lima en la Costa peruana, es supuestamente pre-cerámico (2,410 - 2,000 aC), asociado con varias especies que se encontraron también en Los Gavilanes. A partir de esa época, más o menos hace 4,000 años, se empieza a encontrar maíz más frecuentemente en la Costa peruana: en el Paraíso de Chuquitanta, asociado con mani en un contexto cerámico (1,850 - 1,050 aC); en Gramalote, Moche, asociado con muchas especies cultivadas y usadas en la Costa (1,590 - 1,100 aC); Garagay (1,400 - 600 aC), Cardal (1,100 - 850 aC), Las Aldas, en Casma (1,040 - 895 aC). A partir del 1,000 aC el maíz se encuentra abundantemente en toda la Costa peruana, en cantidades y estado de conservación tan buenos que han permitido analizar su evolución con bastante detalle.

En Ecuador existe una situación similar; el maíz se encuentra con mayor frecuencia a partir de los 2,000 aC. En San Pablo, Cultura Valdivia, de 2,000 a 1,800 aC; en San Isidro (1,700 - 1,500 aC), en La Ponga y en Río Perdido (1,200 - 88 aC),

en Cotacollao (1,500 - 500 aC), cerca de Quito. Las mazorcas de maíz encontradas en La Ponga (Costa) y Cotacollao (Sierra), son parecidas a la raza Pollo colombiana.

Varios sitios en Ecuador merecen una mención especial por el esfuerzo que se ha hecho en describir racialmente el material encontrado.

Zevallos et al (1977), encontraron una huella en cerámica, de un grano de maíz germinando, en San Pablo, en las fases de Valdivia V-VI; así como impresiones hechas con granos de maíz y con técnicas decorativas, en la Fase Valdivia III (2,920 aC). Ellos llegaron a la conclusión de que se trata de una variedad de maíz con bajo número de hileras; una raza altamente desarrollada que existió en Ecuador 1,000 años antes que ocurrieran en México o Perú, maíces del mismo desarrollo. El Dr. Earl Leng de la Universidad de Illinois, identificó esa raza como Kello ecuatoriano. También de la misma fuente se citan otras razas como Pojoso Chico, Chococeño y Canguil, todos con mazorcas de 14 a 22 hileras y con granos reventadores.

En un sitio muy posterior, en la Provincia de Manabí, se encontraron 644 granos carbonizados de maíz que Pearsall analizó y clasificó racialmente (1980). Aunque la clasificación racial de estos granos es muy discutible, es indudable que se trata de una raza de maíz ya bien desarrollada, posiblemente de algunas de las razas antecesoras del Cuzco. El maíz pertenece al periodo Chorrera del Formativo Tardío de la Costa ecuatoriana, y ha sido fechada de 1,000 a 300 años aC.

De Venezuela se tienen muy pocas evidencias de la presencia de maíz antes de esta era. En Parmana se encontró granos y restos de tusas con una antigüedad de 800 a 400 aC. Análisis de isótopos de carbono sobre huesos humanos de la fase más antigua de este sitio (800 aC) muestran que el maíz tenía muy poca importancia en la dieta. Sin embargo, los estratos menos antiguos (400 aC) muestran que el carbón de los huesos provino de una planta de ciclo 4, probablemente maíz (Van der Merwe et al, 1991, citado por Pearsall, 1990).

Las excepcionales condiciones para conservar material vegetal que tiene la Costa peruana, han permitido hacer para algunos lugares, donde la estratigrafía era confiable, análisis morfológicos de las mazorcas arqueológicas a un nivel tal, que permiten definir con bastante precisión las relaciones filogenéticas entre razas. Solo dos de estos sitios serán descritos aquí sin mucho detalle morfológico, el cual se puede encontrar en las fuentes originales.

Grobman y colaboradores (1961), han hecho la más completa descripción del maíz arqueológico en el Perú. En uno de los sitios arqueológicos descritos, Los Cerillos, perteneciente a la Cultura Paracas, fase temprana (500 - 300 aC), se midieron una serie de características morfológicas de la mazorca,

demostrándose que del Paracas temprano al Periodo Tardío de Nazca (800 dC), hay un aumento en la longitud y en el diámetro de la mazorca; un cambio de una posición irregular a una regular de los granos; aumento en la dureza de los tejidos de las tuzas; aumento en la variabilidad en varias características morfológicas; aparición de nuevas razas y evidencia de hibridación.

En un lapso de 1,200 años, la longitud de la mazorca creció gradualmente de 5.7 cm a 10.1 cm; el diámetro, de 2.4 cm a 2.8 cm.

Cuando las mazorcas se pudieron analizar con más precisión y se utilizaron los criterios de Galinat (1970), para medir las características internas de la mazorca, que se ha probado que son más consistentes y libres de variación ambiental (Vega 1972; Goodman y Paterniani, 1969; Ortiz, 1985), las relaciones y cambios se han podido apreciar con más nitidez. Sevilla (1990), presenta los resultados de un análisis morfológico de muestras que fueron estudiadas preliminarmente por Grobman y colaboradores (1961), pertenecientes al estilo Teatino, de la Costa Central del Perú, en Ancón (de 800 a 1,100 dC). Se analizaron las mazorcas de 8 niveles estratigráficos. La longitud de la mazorca aumentó del nivel 8 que es el más temprano, al nivel 5, reduciéndose notablemente en los niveles superiores (6.10 cm en el nivel 8; 10.60 cm en el nivel 5 y 4.97 cm en el nivel 1). El diámetro de las tuzas aumenta consistentemente desde el nivel 8 hasta alcanzar un promedio de 1.94 cm en el nivel más superficial o moderno. Aparentemente no hay ningún cambio en la relación tuzas/raquis, ni en la relación de longitud de la cúpula/ancho de la cúpula. La gluma se hace más dura en los estratos más superiores o modernos, y esta pierde gradualmente su pubescencia a medida que el maíz va evolucionando.

El maíz de nivel 8 o más inferior, aparentemente pertenece a la raza Confite Morocho. El incremento en las dimensiones de la mazorca, posiblemente se ha debido parcialmente a la hibridación de esa raza con Confite Iqueño de la que también hay evidencias en sitios costeros de la misma antigüedad. A partir del nivel 6, las mazorcas semejan a la raza Pagaladroga (Proto-Pagaladroga). En el nivel 5 es muy evidente el aumento en longitud y la reducción en el diámetro del raquis. Entre el nivel 4 y el 3 toma lugar la intromisión de la raza Chullpi. Esto produce más variabilidad de la que se desprende una forma nueva que podemos denominar Proto-Chaparraño. En el nivel 1 las mazorcas muestran un aumento en ancho, pero no en longitud, de manera que no se evidencian hasta esa época razas más evolucionadas, como Alazán o Chancayano.

La existencia de cerámica con figuras decorativas moldeadas a partir de mazorcas de maíz, es una evidencia complementaria de la presencia de una determinada raza en un tiempo y cultura muy bien definidos. Grobman y colaboradores (1961) han hecho una descripción detallada de las mazorcas de maíz moldeadas en la cerámica Mochica (500 - 800 dC) y Chimú. Hay evidencia en la

cerámica Mochica de la presencia de Confite Punteagudo, Pagaladroga, Alazán, Rabo de Zorro, Kully, Ancashino y Chancayano; y, en la cerámica Chimá, la presencia de las razas: Confite Morocho, Ancashino, Rabo de Zorro y Cuzco.

Desafortunadamente, en otros países no hay evidencias semejantes que puedan ser utilizadas para trazar las rutas que siguió el maíz en la región, tanto en el espacio como en el tiempo. La identificación de razas de maíz en cerámica debe basarse en la morfología, pero es necesario considerar el contexto donde esas razas han evolucionado.

La determinación racial basada en el análisis de una sola mazorca, o un grupo reducido de mazorcas no es posible hacerla con suficiente certeza. Los errores de clasificación o asignación racial son muy grandes cuando la identificación se hace con muestras muy pequeñas (Goodman, 1990).

Definir la evolución del maíz en la región andina en términos raciales es muy especulativo, hasta que por lo menos se defina si el maíz se domesticó en Mesoamérica y se difundió posteriormente hacia la región andina, o se domesticó paralelamente en ambas regiones.

Las conclusiones presentadas sobre la evolución del maíz, basada en evidencias arqueológicas, son solo referenciales, marcando los vacíos que deben ser llenados con nuevas evidencias obtenidas de los análisis raciales de las muestras arqueológicas del maíz en la región andina.

3. RAZAS DE MAIZ DE LA REGION ANDINA

El maíz es una sola especie con una gran variabilidad que se distribuye en razas. Individuos o poblaciones fenotípicamente parecidos, adaptados a ambientes ecológicamente similares, pertenecen a una misma raza. Las razas se distinguen unas de otras por una simple observación; sin embargo, poblaciones fenotípicamente parecidas pertenecen a razas distintas, si no pueden compartir por falta de adaptación, el mismo ambiente ecológico. Dos factores, además de los genéticos, han contribuido a generar esa gran variación que se encuentra en la región: la gran diversidad de usos, única en el mundo, que se le ha dado al maíz a través de su proceso evolutivo; y, la gran diversidad ecológica que tiene la región, que acompañado a una relativa escasez de tierras de cultivo, obligó al agricultor antiguo a forzar el cultivo en muy diversos ambientes.

La descripción morfológica de las razas de maíz de la región andina se encuentra con bastante detalle en las publicaciones de la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos, números: 510 (Roberts et al, 1957); 747 (Ramirez et al, 1960); 915 (Grobman et al, 1961); 975 (Timothy et al, 1963); y, 1136 (Grant et al, 1963).

A partir de los años de la década del 60, las actividades de mejoramiento genético se dinamizaron en todos los países de la región, produciéndose una serie de híbridos y variedades mejoradas con las que se sembraron superficies significativas en las dos décadas pasadas. Se pensó que el uso de cultivares superiores iba a traer como consecuencia la desaparición de las razas nativas. Treinta años después de la publicación descriptiva de las razas de la región, se constata que ellas no solamente no han desaparecido, aunque se dan casos alarmantes de erosión genética, sino que marcan su existencia paralela a la de los cultivares superiores sin disminuir su importancia. La razón es que las razas de maíz no son simples variedades del cultivo; son entidades culturales que los pueblos mantienen, como mantienen sus usos, costumbres, artes y creencias.

El conocimiento de las razas de maíz, sus relaciones entre ellas, la forma como se usan y se cultivan, la distribución geográfica y la relación con los grupos humanos que las cultivan, es de mucho valor para entender la cultura de los pueblos. Hay un indudable paralelismo entre las razas de maíz que cultiva un pueblo, y sus usos y costumbres. En este capítulo no se pretende cubrir tarea tan gigantesca, aunque si poner un marco de referencia para que otros llenen ese vacío, que hasta ahora no nos permite valorar el maíz como una de las más importantes manifestaciones culturales de los pueblos de la región andina.

Los antecesores en línea directa de tres razas que aún existen, y que pueden considerarse como las más antiguas de la región andina: Confite Morocho, Pollo y Pisincho, se cultivaban, de acuerdo a las evidencias arqueológicas, hace por lo menos 6,000 años.

Confite Morocho todavía se cultiva en el Departamento de Ayacucho, en Perú, en lugares cercanos a las cuevas donde se encontró su antecesor. Es una raza muy precoz, tanto que se siembra en los mismos campos junto con otras razas más desarrolladas, y no se contamina. Sus mazorcas son muy pequeñas con pocos granos insertados en cúpulas muy largas y superficiales, característica muy particular de esta raza que la distingue de las demás. Galinat (1970), ha usado la morfología de la cúpula para determinar relaciones entre el maíz y sus especies relacionadas. En teosinte, por ejemplo, el largo de la cúpula es mayor que el ancho. La relación largo de la cúpula/ancho de la cúpula es 2 en teosinte, mayor de 1 en Confite Morocho, y menor de 0.5 en las razas modernas.

Hay varias evidencias de la presencia de Confite Morocho en la Costa del Perú. La más antigua, la de Los Gavilanes que tiene una antigüedad de casi 4,000 años, se encontró asociado a otras razas, pero el porcentaje de Confite Morocho fue de más de 50%.

También se ha encontrado en Los Cerrillos en Ica, con una antigüedad de 2,300 a 2,500 años; En Paracas (1,700 - 2,500 años) en Huaca de la Cruz, cultura Chimú (1,500 años), y en el valle de

Moche, en el periodo Chimu-clásico (1,000 a 1,400 dC).

Aunque el Confite Morocho tiene una distribución muy restringida, su influencia en otras razas es indudable. Formas raciales un poco más evolucionadas se encuentran en Bolivia con el nombre de Patillo y en Ecuador.

Una raza muy parecida al Confite Morocho y, probablemente, de la misma antigüedad, es Pollo, que se encuentra en Colombia en elevaciones intermedias (1,500 a 2,200 msnm), en la zona andina, en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá.

De acuerdo a Robert et al (1957), muchos caracteres de Pollo y de su descendencia parecen provenir del teosinte. De acuerdo a Mangelsdorf (1974), Pollo, desciende directamente del Mal Tel de Centroamérica. Mazorcas similares a Pollo se han encontrado en Nueva Era y Cotocollao, cerca de Quito, y en La Ponga en la Costa del Ecuador; todos estos sitios, del Formativo Medio a Tardío (1,500 a 500 aC); así como en Parmana, Venezuela, más o menos de la misma antigüedad.

En Colombia, en los departamentos de Cundinamarca, y otros adyacentes al Valle del Magdalena, entre los 400 a 2,000 msnm, se cultiva todavía la raza Pira. Es un maíz precoz, de granos pequeños, redondos y reventadores, de color naranja. Esta raza ha sido considerada por Mangelsdorf (1974) como una de las 6 razas primitivas que dio origen a todo un "linaje", al que pertenecen razas muy desarrolladas, como los Catetos de Brasil y Uruguay, y Camelia de Chile; también se encuentra en Venezuela, en el Estado de Táchira, adyacente a Colombia.

En Venezuela es más frecuente la presencia de la raza Chirimito, una raza de mazorcas muy chicas, de características similares al Pira o al Confite Morocho. Otra raza de Venezuela con caracteres primitivos es Araguito o Arapito, muy precoz, de mazorca muy chica, muy parecido a la raza del Mal Tel de Centroamérica. Araguito se distribuye en la zona caribeña, en el Oriente de Venezuela, en los departamentos de Anzoátegui y Monagas.

Por una serie de evidencias, principalmente arqueológicas, el grano reventador (pop) ha sido considerado como una característica muy antigua. La raza Palomero Toluqueño de México es considerada por Mangelsdorf (1974), como progenitor de todas las razas de granos reventadores incluyendo las muy antiguas de Sudamérica.

Una de las cuatro mazorcas encontradas en Huachichocana es, de acuerdo a Cámara-Hernández (citado por Bonavia, 1982), de la raza Pisincho, lo cual le da una antigüedad de 9,000 años a la presencia de esa raza en Sudamérica. Esta evidencia acompañada de la asombrosa variabilidad que se encuentra en Argentina (Torregrosa, 1980), en Bolivia (Rodríguez et al , 1969) y en Paraguay (Machado et al , en prensa), genera muchas dudas sobre

su posible origen mesoamericano.

La raza Pisankalla de Bolivia está distribuida en casi toda la zona cordillerana. Las plantas son pequeñas, precoces, con predisposición al macollaje abundante (Rodríguez et al , 1968). Cuatro razas: Pasankalla, Pisanckalla, Purito y Pororó, forman este complejo racial.

La raza Confite Punteagudo del Perú, es otra de las razas antiguas de granos reventadores. Algunas características de esta raza como su alto número de macollos, y profusa pubescencia de la planta, son caracteres típicos de las razas mexicanas de altura, muy relacionadas al teosinte. Tanto el Confite Punteagudo como los Pisankalla de Bolivia no tienen el patrón andino de nudos cromosómicos, caracterizado por la presencia de un nudo pequeño en la posición 3 del brazo largo del cromosoma 6, y un nudo pequeño en el brazo largo del cromosoma 7. Además, de esos nudos, el Confite Punteagudo tiene nudos en 4L, 8L y 9L; y Pisankalla tiene además de esos, nudos en los cromosomas 1, 2 y 5 (Mac Clintock et al , 1981). Los nudos en 4L, 8L y 9L que se encuentran en esas dos razas son típicos de algunas razas precoces del Noroeste de México, así como de algunas razas de mazorcas pequeñas del grupo de Mexicanos Dentados (Bretting y Goodman, 1989). El Chutucuno, maíz reventador de Chile si tiene el patrón andino (Timothy et al., 1961). Las mazorcas de maíz encontradas en San Pedro Viejo (Pichasca), pertenecen, según Galinat, a las razas Capío Chico Chileno, Negrito Chileno y Curagua, pero esta última muestra parece mas bien de Chutucuno, según Bird (citado por Bonavia, 1982).

La raza Canguil en el Ecuador es más popular que las otras razas reventadoras de los países de la región. La costumbre de comer el grano reventado o "popcorn" es más frecuente en la Sierra ecuatoriana que en la Sierra de Perú o Bolivia. Quizás por eso el Canguil ha tenido, habiéndose obtenido variedades aceptables, de mayor rendimiento y buena capacidad de expansión del grano.

Dos razas peruanas ya extinguidas, el Confite Chavinense, y el Confite Iqueño, son progenitores de varias razas de la región andina. Confite Chavinense se originó en las tierras altas del Norte del Perú, y se diseminó hacia el Oeste hasta llegar a la Costa, encontrándose en Huarney (Los Gavilanes), hace 4,000 años. La transición entre ellos y su raza derivada, Chullpi es muy evidente en el Perú. Chullpi es otra de las razas que Mangelsdorf (1974) le asigna un rol de generadora de todo un linaje del que se desprenden una serie de razas de granos dulces. Su característica más sobresaliente es la forma de la mazorca, casi completamente redondeada, al menos en algunas de las muestras más típicas de la Sierra del Sur del Perú. Otra característica resaltante es el número de hileras que a veces llega a 30, en algunas muestras de la raza derivada "Chuspillo" de Bolivia. Razas similares al Chullpi se encuentran también en el Ecuador y Noroeste argentino.

Un grupo de razas que, según Mangelsdorf (1974) pertenece a un mismo linaje, es Kculli, cuya principal característica es la gran cantidad de pigmentos antocianídicos que se encuentran en toda la planta y la mazorca. La raza Kculli del Perú es muy antigua; está presente en Los Gavilanes aunque en una frecuencia muy baja (1%), (Grobman et al, 1982). En la cerámica de Mochica y Chimú, culturas que florecieron en la Costa peruana, hace 1000 a 1,500 años, hay figuras de maíz que representan claramente a esta raza. En esa época el kculli tenía la mazorca muy pequeña, aunque los granos eran posiblemente más grandes que los de sus razas simpátricas Confite Morocho y Confite Chavinense.

Razas similares se encuentran en Argentina con el nombre de Culli, y en Bolivia con el nombre de Kulli. Además, del patrón cromosómico característico andino, en esta raza también hay un nudo en 4L, y cromosomas B. El Negro Chileno solo tiene nudos en 6L y 7L.

Una serie de razas más desarrolladas se derivan de Kculli. En el Perú, algunas subrazas como Morado Cantefio y Cuzco Morado, son fuente de pigmentos que se utilizan para hacer la "chicha morada", bebida dulce no fermentada. La alta productividad que alcanzan algunas variedades mejoradas de esta raza y su alta calidad de antocianinas, hacen que la antocianina del maíz sea competitiva con otros pigmentos usados en la industria de almentos.

La raza Kculli y sus derivadas, han desarrollado a través de la acumulación de antocianinas en sus tejidos, un mecanismo de evasión para adaptarse a las tierras altas de la región andina.

Posteriormente, en el proceso de adaptación se fueron separando razas más o menos desarrolladas como Piscorunto en el Perú, Checchi en Bolivia, Oke en el Norte argentino. En estas razas, la antocianina se presenta en el grano, solo en la aleurona que casi invariablemente es de color morado, a diferencia de algunas razas de México y Guatemala donde segrega también el alelo recesivo que produce el color rojo. El color morado puede cubrir el grano en toda su extensión, o presentarse como moteado o punteado. Esta coloración es casi como un marcador de la buena calidad del grano para ser utilizado como "Kancha" o tostado; ello es debido a que todas estas razas tienen el endospermo muy suave. La denominación de "Janka sara" que se le da en Bolivia, significa "maíz de tostar".

Las razas más evolucionadas de este complejo se encuentran en Bolivia: Aisuma en el Sur, y Huilcaparu en el Centro del país. Esta raza es una de las más importantes en Bolivia; se cultiva principalmente en Cochabamba y La Paz, pero también se encuentra en las partes altas de Chuquisaca, Santa Cruz y Potosí. Es típico el color de grano donde se combina en pericarpio marrón y la aleurona morada. Es una de las razas más tardías de la región andina de Bolivia, pero las mazorcas son grandes; puede ser muy productiva.

La raza Altiplano de Bolivia, parece ser una adaptación posterior, de formas raciales parecidas al Checchi, a zonas muy altas, en regiones aledañas al lago Titicaca. Formas parecidas al Altiplano se encuentran también en zonas muy altas del Noroeste argentino.

En los Andes centrales del Perú, las razas que se cultivan más frecuentemente pertenecen al complejo San Gerónimo Huancavelicano. Aparentemente, ellas se han derivado del Confite Morocho, porque la raza más primitiva de ese complejo, el Huancavelicano, tiene muchas características de la mazorca que semejan al Confite Morocho, como sus pocas hileras regulares de granos, tusas muy delgadas, excepto que el grano es grande, harinoso y suave, de color blanco. La forma redondeada de la mazorca del San Gerónimo y San Gerónimo Huancavelicano provienen posiblemente del Confite Chavinense. Granada, pertenece también a este complejo, pero tiene características de mazorca y grano que la ligan a la raza Kulli.

Esas razas están muy relacionadas al complejo racial Paro-Capio. El Paro del Perú, Paru de Bolivia y Capio de Argentina pertenecen a él. El grano muy suave, harinoso, blanco, rojo, café o variegado, punteagudo o acuminado, se inserta en una tusa muy delgada que se desgrana muy fácilmente. La relación grano/mazorca es una de las más altas entre las razas, es mayor de 90%. El número de hileras de grano es mayor de 20 en el Paru de Bolivia, es grande también en el Paro del Perú, e intermedio en Capio. La mazorca es cónica; los granos son muy largos, especialmente los de la base de la mazorca. La raza Kajbia de Bolivia tiene también un evidente parentesco con esas razas.

Las razas del Norte de Chile están indudablemente relacionadas a este complejo racial: Capio Chileno y Harinoso Tarapaqueño. Esta última es muy similar fenotípicamente al San Gerónimo del Perú, pero no se adapta a su habitat natural, el valle del Mantaro en la Sierra Central del Perú, debido a su extrema susceptibilidad a la roya. En general, todas las razas de los complejos Paro, San Gerónimo Huancavelicano, Chullpi y Cuzco son muy susceptibles al *Fusarium moniliforme* lo cual limita su dispersión; la adaptación tan específica que tienen es, posiblemente, producto de su resistencia específica a muy pocas razas del patógeno.

En la región andina central, Sur de Perú y Bolivia, las razas más frecuentes son las del complejo racial Cuzco. Entre la raza Huancavelicano y la raza Cuzco no hay mayores diferencias fenotípicas, excepto que esta última es más desarrollada con un típico grano harinoso, grande, muy ancho. La influencia de la raza Cuzco en toda la región es notable. Muchas razas, tanto de las zonas altas donde se originó, como de las tierras bajas, muestran su influencia caracterizado por el tamaño grande del grano y el bajo número de hileras, generalmente ocho, dispuestas paralela y uniformemente sobre un raquis más bien evolucionado, donde el ancho de las cúpulas es mayor que el largo, típico de

las razas más desarrolladas y productivas. Esta raza se cultivó en todas las áreas agrícolas del imperio incaico. A los conquistadores españoles les llamó la atención el tamaño del grano, al que se refieren los cronistas repetidas veces. Mazorcas moldeadas de la raza Cuzco se encuentran en la cerámica Mochica y Chimú, lo que demuestra su cultivo por lo menos hace mil años en la región.

La raza Cuzco Gigante se generó por selección hacia formas más productivas y de granos más grandes, a partir de la raza Cuzco. Muy parecida es la raza Hualtaco de Bolivia. El tamaño del grano es muy apreciado. Ambas se cultivan principalmente para consumo verde o "choclo". El grano del Cuzco Gigante se exporta en pequeñas cantidades, consumiéndose entero y tostado con sal.

Una subraza más productiva y de grano grande de tipo "morocho" se cultiva en el Cuzco; puede producir hasta 10 toneladas por hectárea, pero su adaptación es muy específica al Valle de Urubamba. El grano tipo "morocho" no es completamente duro como los granos córneos, "flints" o cristalinos; solo la capa externa del endospermo del grano es dura; el resto es harinoso. Este tipo de grano es típico de la región andina y recibe comúnmente el nombre de Morocho.

La versión de grano más duro de este complejo, comprende varias razas de Ecuador, Perú y Bolivia. De acuerdo a Rodríguez et al (1968), el Karapampa resultó de la transición de las formas de grano reventador a las de grano semi-redondeado. La forma de la mazorca es parecida al Cuzco, casi invariablemente de 8 hileras de granos, principalmente amarillos; menos frecuentes los rojos y variegados. Parece un Confite Morocho, un poco más evolucionado. Las razas Uchuquilla del Sur del Perú y Bolivia, y Nifuelo, la versión de granos blancos de Uchuquilla, que solo se encuentra en Bolivia, están muy relacionados a Karapampa y, posiblemente, desciendan de ella.

La raza Chake-sara de Bolivia, que es considerada por Rodríguez et al (1968) dentro del complejo racial "Perlas del Valle", al cual pertenece también el Uchuquilla, tiene caracteres que hacen suponer que Pisankalla ha contribuido a la formación de esta raza.

En el Perú, razas similares reciben varias denominaciones como Amarillo de Oro o Cuzco Cristalino. Es bastante precoz y se adapta hasta alturas mayores de 3,500 msnm. La planta es pequeña, muy eficiente para crecer y producir en áreas con limitaciones de clima y suelo.

La raza Kcello es simpátrica a Uchuquilla, pero tiene mayor número de hileras; es la menos "cuzqueña" de las razas de ese complejo. Zevallos et al (1977) determinó, basado en una serie de medidas hechas en material carbonizado encontrado en San Pablo, Valdivia, que, posiblemente, la raza que se cultivaba en esa época era Kello ecuatoriano. Pero la muestra es muy pequeña, un

solo grano, y las impresiones en cerámica son tan poco claras, que es difícil asignarle a la muestra una raza definida. Lo que si es rescatable es que, posiblemente, se cultivaba en Valdivia, en esa época, una raza similar a las razas cuzqueñas de granos morochos.

Las razas derivadas del Cuzco del Ecuador ya perdieron, posiblemente por contaminación con otras razas, sus formas originales características. En la Provincia de Azuay, en la Sierra Sur del Ecuador, todavía se cultiva una raza de maíz morocho blanco de 8 hileras, denominada Zhima. Puga (1984), basado en un análisis bromatónico (origen y significación de los nombres de los alimentos), dice que es un maíz antiguo, cuyo nombre significa "maíz tierno"; se consume principalmente como mote.

En el Norte de Argentina se cultivan también razas derivadas del Cuzco. La más importante y característica es Amarillo de Ocho, típico maíz de ocho hileras de granos morochos.

La raza Cuzco ha producido otras razas con adaptación especial, como el Arequipeño, cuyas dimensiones de mazorca y grano son menores que Cuzco. El sentido de la evolución que va de una mazorca chica a una más grande es tan universal que es difícil aceptar el sentido inverso. Una raza de mazorca chica puede derivarse de una de mazorca más grande, como parece ser el caso de Arequipeño. Otro caso es el de Confite Puneño, que se desprendió de la variabilidad clinal de la raza Cuzco, para ocupar un ambiente muy alto en los alrededores, y en las islas del lago Titicaca. En este caso, la reducción del tamaño de la planta y la mazorca es el resultado de la adaptación a alturas muy extremas.

Algunas razas de la Costa del Perú también están relacionadas al Cuzco: Pardo, Huachano y Chancayano. De ella heredaron la disposición regular de los granos; en ocho hileras, en el caso del Pardo, y un número mayor en las otras razas. La mazorca de Pardo es muy larga; se usa como "choclo", pero partiendo la mazorca en rodajas. Las otras dos razas se consumen en la misma forma.

La existencia de razas parecidas al Pardo en México, como el Tabloncillo y el Harinoso de Ocho, ha hecho suponer que el Pardo debe ser una raza introducida en el Perú, en épocas relativamente recientes. El análisis de la morfología cromosómica de las razas de maíz ha ayudado a descifrar esta incógnita, así como muchas otras referentes al origen y relaciones entre razas. Casi todas las razas de las tierras altas de la región andina, tienen el patrón "andino" de nudos cromosómicos, caracterizado por un pequeño nudo en la tercera posición del brazo del cromosoma 6, y un pequeño nudo en el brazo largo del cromosoma 7. Una notable excepción es el Confite Punteagudo del Perú, que tiene además nudos en 4L, 8L y 9L, nudos que se encuentran también en muchas razas mexicanas. La raza Pardo del Perú si tiene el patrón

andino. La raza Huachano tiene, además del nudo en 7L, otro en 9S que es característico del grupo denominado "Guatemala Big Grain", y que de acuerdo a Bretting et al (1989), forman un solo grupo, basado en el análisis de componentes principales.

Mochero, otra raza peruana perteneciente al grupo de "Chocleros Precoces de la Costa", tiene también un nudo en 9S, además de 7L y 4L. La raza Chancayano tiene además del patrón andino, nudos en 4L, 8S y 9L.

Las razas chocleras la Costa: Mochero y Chaparrefio, son las más frecuentes entre una serie de poblaciones adaptadas a las condiciones de verano de la Costa peruana. El Chaparrefio se ha derivado del Confite Iqueño, una raza ya extinguida.

La influencia del Confite Iqueño se proyecta más al Sur en la raza Coruca del Sur del Perú y Norte de Chile, y en la raza Choclero de Chile, notable por el ancho de la mazorca, y los granos arrugados harinosos dentados.

Un grupo de razas en la región, similares en tipo de grano, que se usan preferentemente como choclo, tienen un origen relativamente reciente, y no parecen tener ninguna relación con los grupos raciales más andinos. Entre ellas se encuentra la raza Cholito de Bolivia, Capio de Colombia, muy parecido al Salpor de Guatemala y al Cacahuacintle de México, y Blanco Harinoso Dentado y Blanco Blandito de Ecuador.

Cuzco no es el único caso de una raza de tierras altas que ha dado lugar a razas de tierras bajas. Otra raza de la Sierra del Perú, Ancashino, es el centro de un cline (cambio gradual y continuo en una serie de razas). Huayleño, parece ser la raza más antigua; Shajatu, Marañón y Huanuqueño, razas de mayor productividad que Ancashino, y de adaptación a zonas más bajas; y las razas costeñas: Pagaladroga, Alazán y Jora, en la periferie del cline. La principal característica de estas razas es el color del pericarpio; varía del marrón oscuro en Huayleño, a rojo y amarillo en Ancashino, y diferentes tonos de café-rojizo en las otras razas. Shajatu y Jora tienen alta frecuencia del gene Pr, que colorea la aleurona de color morado. Pagaladroga es una raza muy antigua; es otra raza costeña que tiene el patrón cromosómico andino.

Alazán y Jora tienen muchos nudos cromosómicos, de 4 a 14. Ambas son razas más evolucionadas. Se utilizan casi exclusivamente para hacer la "chicha de jora", bebida fermentada de maíz.

La cruce natural de Alazán y una raza introducida en la Costa Norte del Perú, Arizona, derivada del Tuxpeño o Southern Dent, dio lugar a la raza Colorado, una de las razas más productivas de la Costa del Perú, caracterizada por el color rojo oscuro del pericarpio.

Del complejo racial Ancashino se encuentra en Ecuador su más desarrollada expresión: Chillos. Esta raza se adapta a alturas medias de la Sierra ecuatoriana; el Valle de los Chillos, cerca de Quito, es su centro más importante. De ahí se desplaza hacia el Norte hasta la frontera con Colombia, por toda la Sierra ecuatoriana. Las mazorcas de esta raza son grandes y cónicas; los granos muy grandes, largos, punteagudos, muy harinosos, de color amarillo, dispuestos en 12 a 14 hileras más o menos regulares. Se consume como checlo o tostado. Una raza más precoz, Mishca, tiene una distribución mucho mayor en toda la Sierra del Ecuador. Timothy et al (1963), consideran que esta raza es muy difícil de definir; describen tres complejos: Mishca-Chillo, Mishca-Huandango y Mishca-Kcello. Parece que esta raza está presente hace mucho tiempo en la Sierra del Ecuador y se cruza normalmente con las razas simpátricas más frecuentes de la región, originándose una variabilidad difícil de definir, pero es indudablemente relacionada al complejo Ancahino.

En Colombia, Ecuador y Venezuela hay una serie de razas, que parecen relacionadas, teniendo todas ellas un ancestro común que podría ser Pira Naranja (Mangelsdorf, 1974) o Confite Morocho (Grobman et al, 1961). Todas tienen como característica común la forma de la mazorca, muy delgada, larga y flexible. Tusilla y Clavito del Ecuador, Canilla de Venezuela, Clavo y Guirua de Colombia, parecen ser las más antiguas. Casi todas están adaptadas a alturas medias de 500 a 1,500 msnm. De acuerdo a Roberts et al (1957), la raza Clavo, cruzada por Tuxpeño, una raza introducida a Colombia, dio lugar a la raza Puya que se encuentra en el Norte de Santander, Cesar y Guajira. Una selección de esta raza, después de haberse cruzado con otra raza de alta productividad, dio lugar a Puya Grande, que es más común en Venezuela. La raza Chandelle es una introducción reciente de alguna isla del Caribe.

De acuerdo a Brown (1960), las tribus Arawak, que precisamente se concentraron en las regiones entre el lago Maracaibo y el río Caracas, donde se encuentra actualmente la raza Chandelle, emigraron a las islas del Caribe, donde llegaron algunos siglos antes de la llegada de Colón. Parece, entonces, que los Arawak llevaron a las indias occidentales, una raza de maíz que todavía se cultiva en Venezuela, el Canilla, que regresó después de muchos siglos convertida en una raza más desarrollada denominada Chandelle.

La mazorca flexible es un carácter que aparece en varias razas, que no necesariamente están relacionadas. La mazorca es flexible cuando la separación entre cúpulas es grande; las mazorcas rígidas tienen las cúpulas casi unas encima de las otras, sin ningún espacio entre ellas. La mazorca flexible no necesariamente es un carácter primitivo.

La selección por largo de mazorca sin estar acompañado por un incremento en el número de hileras y ancho de la mazorca, produce mazorcas flexibles en algunas razas. Dos razas de

mazorcas flexibles que casi han desaparecido en el Perú son Rabo de Zorro y Rienda. Grobman et al (1961) consideran al Rabo de Zorro derivado directamente del Confite Morocho, y le dan un rol importante en la evolución del maíz en el Perú.

Rienda es simpátrica de la raza Perla, la más productiva de la Costa del Perú, uno de los progenitores de los híbridos más usados en esa región. Como la raza Perla, Rienda tiene muchos nudos cromosómicos; lo más probable, por lo tanto, es que provenga de una introducción reciente.

En otros casos, el análisis de las características internas de la mazorca sí muestra un cambio evolutivo más claro. Una raza más evolucionada que el Confite Morocho, la raza Morocho, tiene las cúpulas más anchas que largas, y más cortos los espacios entre cúpulas, y por la estructura general del raquis, se parece a un Confite Morocho comprimido, pero con un mayor largo y mayor número de cúpulas o granos por hileras. El Morocho Cajabambino, la raza más desarrollada de este cline, es más compacta pero de mazorca más grande; sin embargo, el tipo de compactación de las cúpulas es completamente distinto que el de Perla, que tiene una relación largo de cúpula/ancho de cúpula muy pequeña como el de las razas más evolucionadas, Catetos o Cubanos.

Más bien el Morocho Cajabambino, cuyo habitat natural es la Sierra Norte del Perú, se parece en su estructura interna a algunas razas de Colombia y Ecuador. La más frecuente y característica es Sabanero. Según Goodman y Brown (1988) esta raza es el centro de una variación clinal de la región norandina. En esa región también se puede notar una ruta evolutiva que, empezando de las formas menos desarrolladas como Pollo o Patillo, se llega a las razas más evolucionadas como el Sabanero.

Relacionadas también al Sabanero son las razas Cabuya de Colombia y Huandango del Ecuador; ellas que son muy parecidas tienen menor número de hileras que el Sabanero. Una de las características que es común en estas razas es el color de la aleurona, que es más claro en Cabuya y Huandango, y se vuelve más oscura en Cacao y Cariaco. El color bronceado de la aleurona se presenta también en el Norte del Perú, en la Costa en la raza Tumbesino, y en la Sierra en algunas formas de la raza Amarillo Huancabamba.

Cacao es una raza simpátrica a Sabanero. De ambas se han producido variedades mejoradas que se siembran en la sabana de Bogotá y zonas aledañas, que se usan para consumo en choclo. Formas parecidas a Cacao y a Cariaco se encuentran también en Venezuela; Cariaco es más bien una raza de tierras bajas.

Brieger et al (1958) llamaron la atención de muchas similitudes entre Cariaco y algunas de las razas Avati del Paraguay. Sin embargo, ellos consideran que la similitud morfológica entre razas no es suficiente evidencia de relación, debido a que los mismos mutantes pueden haber sucedido en áreas

diferentes. Posiblemente, esto ocurra también con algunas características más cuantitativas como el largo de la mazorca, o el engrosamiento en la base de la mazorca.

Cuando hay muchas características en común, la relación es más clara, como la que hay entre Montaña de Colombia y Morochón del Ecuador. Ellas están indudablemente relacionadas al grupo de razas de mazorcas grandes de las tierras altas de Guatemala, como Quicheño u Olotón. El Largo Ibarreño, variedad de la raza Morochón, que se cultiva en la Sierra Norte del Ecuador, es muy tardía.

Anagaceño es otra raza colombiana de este grupo, que como Montaña es muy productiva, fuente de variedades mejoradas para la región de clima frío moderado de Colombia. Ambas razas así como Capio, raza choclera de Colombia, similar al Salpor de Guatemala, y la raza Cacao, no tienen el patrón andino de nudos cromosómicos.

La raza que ocupa un espacio geográfico mayor en Sudamérica es Piricinco, que se denomina Coroico en Bolivia, y a la que Brieger et al (1958), le dan la denominación genérica de Entrelazado, en consideración a la típica disposición de los granos en la mazorca. Esta raza que se encuentra en toda la región amazónica de Sudamérica, tiene características muy peculiares, como el tamaño extremadamente largo de la mazorca, con una base muy abultada, fuertemente unida al pedúnculo de la mazorca; hileras entrecruzadas de granos. Estos son isodiametrales en forma, con aleurona coloreada, con alta frecuencia del gene que produce color bronceado de la aleurona. Es la única raza que se conoce donde el número de capas de aleurona es mayor de uno. El tamaño muy largo de la mazorca se debe a que las cúpulas están muy poco condensadas; la relación largo de la cúpula/ancho de la cúpula es cercana a 1, casi similar al Confite Morocho. Formas de mazorcas más chicas que las de Piricinco, mantienen las mismas características morfológicas de la mazorca, pero son más condensadas. La raza Pajoso de Bolivia es intermedia en longitud de mazorca, entre Piricinco y Enano. Esta raza simpátrica a Piricinco está en un proceso de franca extinción, principalmente por el cultivo en las zonas amazónicas, de un grupo de razas introducidas.

Brown (1960) ha documentado la introducción en Sudamérica de algunas razas como el Criollo de Cuba (Costal Tropical Flint), el Cubano Amarillo, el Tusón y otras más provenientes de los países caribeños.

La polémica con relación al origen de los Catetos del Este de Sudamérica, y la raza Criollo de Cuba aún se mantiene. La hipótesis más aceptada es que Cateto se introdujo recientemente en Cuba, dando origen a las razas más cultivadas en Cuba y el Caribe. Blumenschein (1973), basado en análisis cariotípicos, cree que Cateto se formó de la combinación de Tuxpeño, un maíz del Sur de Guatemala, y maíces con poco número de nudos,

localizando el origen del Cateto en las Antillas. Brettigs et al (1987), concluyen también que el Criollo de Cuba y sus razas relacionadas simpátricas son maíces indígenas de Cuba.

En Colombia y Venezuela hay un grupo de razas que parecen estar fuertemente relacionadas a los maíces del Caribe. Ellas constituyen un germoplasma insustituible para el mejoramiento de la productividad del maíz en las zonas bajas e intermedias de la región andina.

Comán, se distribuye en zonas de altura intermedia, hasta los 1,500 metros en Colombia. Es precoz y de alta productividad. El grano amarillo duro con una capa superficial harinosa en la corona del grano, semeja a algunas razas provenientes del Caribe. Yucatán, es una raza relacionada con la anterior, de indudable origen foráneo; tiene el grano mucho menos duro que Comán, parecido al de Tuxpeño de México.

La raza Costeño se cultiva en casi todas las zonas bajas de Colombia, desde el Chocó hasta la Guajira, y hasta los 800 msnm. Es también, posiblemente, de origen caribeño. Otra raza colombiana muy importante, aunque no tan productiva como las arriba citadas es Chococeño. Se cultiva en condiciones muy marginales, en el Departamento del Chocó, en una región muy húmeda, con muy alta pluviosidad. Es muy rústica; se cultiva en el medio del monte sin ningún cuidado. Las mazorcas son cortas, muy gruesas, con muchas hileras de granos amarillos duros. El Chococeño parece ser también otro caso de adaptación muy específica, proveniente de formas más desarrolladas, quizás del Comán, o de una raza similar.

En Bolivia, las razas introducidas tienen caracteres parecidos a las razas caribeñas o de las regiones bajas más orientales de Sudamérica. Se les conoce con la denominación de Argentino o Camba. Algunas formas más precoces son similares al Perlilla del Perú, otra raza que parece estar en proceso de extinción. En la Selva del Perú se cultivan, además de las razas Cubanas y Tusón, ya citadas, algunas razas evidentemente introducidas. Alemán, es de origen posiblemente norteamericano (Southern Dent), o mexicano (Tuxpeño), cultivada hace más de 100 años por una colonia alemana. La raza Chuncho de la Selva Sur, es derivada del Tuxpeño mexicano.

En Venezuela se encuentran las razas más recientemente introducidas. La más importante, la raza Tuxpeño, se usa intensamente en el mejoramiento del maíz en ese país.

4. UTILIZACION DEL GERMOPLASMA EN EL MEJORAMIENTO GENETICO

De toda esa inmensa variabilidad que ha sido descrita someramente, es muy poco lo que se utiliza en el mejoramiento genético. Hay múltiples razones para ello; dos se citan más frecuentemente: el germoplasma de la mayoría de las razas de maíz

no tiene valor agronómico; y, la otra razón, es que el germoplasma no ha sido sistemáticamente evaluado, no ha sido bien definido el ambiente de evaluación, los resultados de la evaluación no se han documentado apropiadamente, y la semilla, generalmente, no está disponible.

Para definir una estrategia de evaluación del germoplasma nativo es necesario revisar lo que se ha hecho en el pasado en la región andina, lo que se hace en el presente, y las posibilidades que puede haber en el futuro cercano, y en el futuro a un plazo más largo.

En el pasado, el germoplasma nativo de la región andina se utilizó de dos formas: a través del uso de la heterosis entre razas para la producción de híbridos; y, a través de la generación de variedades superiores, partiendo de variedades nativas.

Casi todos los híbridos y variedades mejoradas que se usan actualmente en el trópico latinoamericano, provienen del germoplasma que se colectó y caracterizó durante casi una década, la de los años 50 en muchos países de Latinoamérica. Wellhausen (1978), presenta una descripción de ese proceso que se inició con la colección de germoplasma superior. Casi todos los países de la región andina han hecho uso en sus híbridos del maíz Criollo de Cuba (Costal Tropical Flint) y la raza Cubano Amarillo (Cuban Flint o Argentino). También Chandelle y Tusón han intervenido, aunque en menor proporción.

La variedad Venezuela-1 fue un cruce accidental entre dos variedades cubanas, posiblemente las dos arriba citadas. Venezuela-1 ha participado en la formación de Eto y de varios híbridos venezolanos.

La variedad Eto, obtenida en Colombia por Chavarriaga, es una mezcla de Venezuela-1 y de Blanco Común, con algenas líneas y variedades seleccionadas de México, Puerto Rico, Argentina, Venezuela, Brasil y Estados Unidos de Norte América.

En Venezuela, casi todos los híbridos son cruza de Eto por Sicarigua mejorado, modificados con aportes de Tuxpeño, Puya, Cateto y Nariño 330, que es una colección que se encuentra en la genealogía de varios buenos híbridos de la región.

En el Perú, los híbridos del Programa de Maíz de la Universidad Agraria La Molina, son dobles: dos líneas de la raza local Perla, y dos líneas de origen cubano.

El mejoramiento poblacional ha producido buenas variedades a partir de las razas más productivas de la región. Hay variedades mejoradas que se cultivan en extensiones significativas, de las razas: Canguil, San Gerónimo Huancavelicano, Cuzco Gigante, Hualtaco, Cuzco Cristalino, Pardo, Ancashino, Chillos, Alazán, Puya, Morocho, Sabanero, Cacao, Montaña, Común, Yucatán, Costeño;

y, de las razas introducidas: Criollo de Cuba, Cubano Amarillo, Tusón y Tuxpeño.

La utilización del germoplasma nativo en Latinoamérica fue tan rápida y exitosa que, materialmente, paralizó el proceso de evaluación de germoplasma, y los programas se concentraron en la utilización del germoplasma evaluado en la primera etapa. La generación de los pooles y poblaciones del CIMMYT inició otra etapa a partir de la década de los años 70. No solo se concentró en los pooles el germoplasma superior, sino que esas poblaciones se seleccionaron mejorando notablemente algunas características como la precocidad y la morfología de la planta. El proceso de generación, formación de pooles y selección poblacional en pooles y poblaciones, se encuentra en las publicaciones que el CIMMYT edita anualmente. Ejemplos de la incorporación de germoplasma en los pooles se describen en los reportes del CIMMYT y en varias publicaciones (Sevilla, 1986, 1987a). Las poblaciones del CIMMYT están siendo usadas intensamente en la región en la generación de híbridos. El germoplasma del CIMMYT está formado casi exclusivamente de las razas de alta potencialidad de las tierras bajas del trópico.

Cuando la evaluación se hace en ambientes representativos de toda la diversidad ecológica de la región, se amplía la gama de germoplasma superior. El proyecto de evaluación de germoplasma de maíz, que se está ejecutando en 12 países de América (LAMP), ha resultado seleccionando germoplasma de casi todas las razas que se evaluaron; así, el número de razas que intervinieron en el proceso de evaluación de casi 15,000 accesiones, es igual al número de razas representadas en el 20% superior seleccionado; y aún en la selección final de las mejores accesiones (más o menos 250), el número de razas representadas es mayor a la relación de razas más productivas de la región. Ese hecho tiene mucha significación para lo que debe ser el trabajo de mejoramiento en el futuro más cercano dentro de la región; la definición de nuevos patrones heteróticos. Como la potencialidad de ellos está en razón directa de la divergencia racial, a mayor diferencia racial, mayor las posibilidades de explotar más intensamente la heterosis y la de generar mejores híbridos.

El valor del germoplasma nativo, como fuente de genes para tolerancia a factores adversos de clima y suelo, y resistencia a plagas y enfermedades, no ha sido explotado en la región. Hay varias razones que se pueden resumir en lo siguiente: esos caracteres son tan complejos, que no se conoce su base genética, y no se tienen metodologías apropiadas ni para evaluarlas ni para producir el stress necesario para que se expresen.

La base genética de los factores que gobiernan la tolerancia a factores ambientales de clima y suelo es muy compleja, no así la genética de los factores de evasión. Algunos de ellos son caracteres cualitativos, gobernados por pocos genes con poco efecto ambiental. Estos mecanismos sí se pueden detectar con relativa facilidad en el germoplasma nativo, pero es necesario

conocerlos y asociarlos a la verdadera tolerancia. En áreas con limitaciones de clima o suelo, la mejor estrategia es hacer uso de esos mecanismos de evasión (Greenblatt, 1985; Sevilla, 1987).

La tarea en el futuro debe ser evaluar esos mecanismos de evasión e incorporarlos a los criterios de selección.

Los avances de la genética molecular en los últimos años ha sido considerable. Utilizando enzimas de restricción se han podido localizar, por ejemplo, muchas porciones del DNA del genome de maíz, responsables de caracteres cuantitativos tan complejos como el rendimiento o la prolificidad. A medida que mejoran las técnicas, podrá ser posible en el futuro, recorrer toda la variabilidad del maíz, y buscar en el germoplasma las porciones de DNA que necesita el mejorador para formar sus variedades mejoradas. Transferir esos genes directamente es todavía muy difícil y, aunque mejoren las técnicas, se prevé que pasará mucho tiempo antes que pueda hacerse rutinariamente. Pero la exploración del germoplasma a nivel molecular, y su transferencia por medios sexuales convencionales, será cada vez más frecuente en el trabajo de los mejoradores en los próximos años.

5. BIBLIOGRAFIA

1. BEADLE, G.W. 1978. Teosinte and the Origin of Maize. pp. 113-128. En: D. Walden (Ed): Maize Breeding and Genetics. Wiley & Sons, New York.
2. BENZ, B. 1988. Clasificación y evolución del maíz mexicano. pp. 133-148. En: L. Mansanillo (ED): Coloqui V. Gordon Childe. Estudios sobre la revolución neolítica y la revolución urbana. Universidad Nacional Autónoma de México.
3. BLUMENSCHNEIN, A. 1973. Chromosome Knob patterns in Latin American Maize. pp. 271-277. En: Genes, enzymes and population. Ed. by A. Sorb. Plenum Press, New York.
4. BRETTINGS, P.K., GOODMAN, M.M. and STUBER, C.W. 1987. Karyological and Isozyme variation in West Indian and Allied American Mainland races of maize. Amer. Jour. of Botany 74 (11): 1601-1613.
5. BRETTINGS, P.K. and GOODMAN, M.M. 1989. Karyotypic variation in Mesoamerican Races of Maize and its systematic significance. Ec. Botany 43 (1): 107-124.
6. BRIEGER, F.G., et al. 1958. Races of Maize in Brazil and other Eastern South American Countries. Pub. 593. NAS-NRC, Washington D.C.

7. **BROWN, W.L. 1960. Races of Maize in the West Indies. Pub. 792. NAS-NRC. Washington D.C.**
8. **BONAVIA, D. 1982. Precerámico peruano. Los Gavilanes, mar, desierto y oasis en la Historia del hombre. COPIDE. Instituto Arqueológico Alemán, Lima, Perú.**
9. **BONAVIA, D. and GROBMAN, A. 1989a. Andean Maize. Its Origins and Domestication. pp. 457-470. En: D.R. Harris and G. C. Hillman (Eds) Foraging and Farming. London: Unwin Hyman, London.**
10. **BONAVIA, D. and GROBMAN, A. 1989b. Preceramic maize in the Central Andes. A necessary Clarification. American Antiquity 54 (4): 836-840.**
11. **DOEBLEY, J. 1983. The taxonomy and evolution of *Tripsacum* and Teosinte, the closest relatives of maize. pp. 15-28. En: D. Gordon, J. Knobe, L. Nault y R. Ritter (Eds) Proceeding International Maize Virus Disease Colloquium and Workshop. 2-6 August 1982. The Ohio State University, Ohio Agricultural Research and Development Center, Wooster. 266 pp.**
12. **DOEBLEY, J., GOODMAN, M. and STUBER, C.W. 1984. Isoenzymatic variation in *Zea* (Gramineae). Systematic Botany, Vol. 9 (2), pp. 203-218.**
13. **DE WET, J.M. and HARLAN, J.R. 1978. *Tripsacum* and the origin of maize. pp. 129-141. Ed. D.B. Walden. En: Maize Breeding and Genetics. Wiley & Sons, New York.**
14. **GALINAT, W.C. 1970. The cupule and its role in the Origin and Evolution of Maize. University of Massachusetts. Bul. 585.**
15. **GALINAT, W. 1977. The Origin of Corn. En: G.F. Sprague (Ed) Corn and Corn Improvement. Agronomy Monograph No. 18, 2nd. Edition. A.S.A., Madison, Wisconsin.**
16. **GOODMAN, M.M. and PATERNIANI, 1969. The races of Maize III. Choice of appropriate characters for racial classification. Ec. Botany 23: 265-273.**
17. **GOODMAN, M.M. and BROWN, W.L. 1988. Races of Corn. En: G.F. Sprague y J.W. Dudley (Eds.): Corn and Corn Improvement. Agronomy Monograph No. 18, 3rd. Edition. A.S.A. Madison, Wisconsin.**
18. **GOODMAN, M.M. 1990. Racial identification in Maize: Quantitative Genetic. Variation Vs. Environmental Effects. En: Corn and Culture Conference, University of Minnesota, May 11-13, 1990.**

19. GRANT, U.J. et al. 1963. Races of Maize in Venezuela. Pub. 1136. NAS-NRC. Washington D.C.
20. GREENBLATT, I. 1985. The ear of maize as a heat conserving device. En: Northeastern corn improvement conference. University of Massachusetts.
21. GROBMAN, A., SALHUANA, W., SEVILLA, R. and MANGELSDORF. 1961. Races of Maize in Perú. Pub. 915. NAS-NRC. Washington D.C.
22. GROBMAN, A. and BONAVIA, D. 1978. Preceramic maize in the North Central Coast of Peru. *Mature* 276: 386-387.
23. GROBMAN, A. 1974. Conceptos actuales sobre evolución del maíz. Inf. del Maíz No. 3. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
24. GROBMAN, A. 1982. Maíz. pp. 157-179. En: D. Bonavia (Ed) Precerámica peruana, Los Gavilanes. Mar, desierto y oasis en la Historia del hombre. COFIDE. Instituto Arqueológico Alemán. Lima, Perú.
25. ILTIS, H. 1983. From Teosinte to Maize. The catastrophic sexual transmutation. *Science* 222: 886-894.
26. MAC CLINTOCK B., KATO, T. and BLUMENSCHHEIN, A. 1981. Chromosome constitution of races of maize. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
27. MANGELSDORF, P.C. 1974. Corn, Its Origin, Evolution and Improvement. The Belknap Press of Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts.
28. ORTIZ, R.O. 1985. Efecto ambiental, interacción genotipo medio ambiente y heredabilidad de las características morfológicas usadas en la clasificación racial de maíz en la Sierra del Perú. Tesis Magister Scientiae-UNA, La Molina, Perú.
29. PEARSALL, D. 1980. Analysis of an Archeological Maize Kernel Cache from Manabi Province, Ecuador. *Ec. Botany* 34(4): 344-351.
30. PUGA, M. 1984. Bromatonimia del maíz en la Sierra ecuatoriana. En: IV Congreso Internacional de Cultivos Andinos. Pasto, Colombia, mayo 1984.
31. PEARSALL, D.M. 1990. Issues in the Analysis and Interpretation of Archeological Maize in South America. En: Corn and Culture Conference, University of Minnesota. May 11-13, 1990.

32. **RAMIREZ, R. et al. 1960. Races of Maize in Bolivia. Pub. 747. NAS-NRC. Washington D.C.**
33. **ROBERTS, L.M. et al. 1957. Races of Maize in Colombia. Pub. 510, NAS-NRC, Washington D.C.**
34. **RODRIGUEZ, A. et al. 1968. Maices bolivianos. FAO, Roma.**
35. **SEVILLA, R. 1986. Disponibilidad y utilización del germoplasma de cultivos alimenticios en latinoamérica. pp. 63-144. En: Foro Latinoamericano sobre Investigación en Fitomejoramiento. Caracas, Venezuela. 11-13 noviembre 1986. Pioneer Hi-Bred International, Inc.**
36. **SEVILLA, R. 1987a. Evaluación y utilización del germoplasma vegetal. pp. 145-165. En: Anales del Simposio "Recursos fitogenéticos". Valdivia, Chile, 20-22 noviembre 1984. Universidad Austral de Chile, IBPGR.**
37. **SEVILLA, R. 1987b. Selección para tolerancia al frío en maíz. PROCINDINO.**
38. **SEVILLA, R. 1990. Variation in Modern Andean Maize and Its Implications for Prehistoric Patterns. En: Corn and Culture Conference, University of Minnesota. May 11-13, 1990.**
39. **TIMOTHY, D. et al. 1961. Races of Maize in Chile. Pub. 847. NAS-NRC. Washington D.C.**
40. **TIMOTHY, D. et al. 1963. Races of Maize in Ecuador. Pub. 975. NAS-NRC. Washington D.C.**
41. **TORREGROZA, M. et al. 1980. Clasificación preliminar de formas raciales de maíz y su distribución geográfica en la República Argentina.**
42. **VEGA, M.A. 1972. Análisis discriminante para la determinación de las razas del maíz. Tesis de Ing. Estadístico. UNA-La Molina. 99 pp.**
43. **WELLHAUSEN, E.J. 1978. Recent Development in Maize Breeding in the Tropics. pp. 59-84. En: D. Walden (Ed) Maize Breeding and Genetics. Wiley & Sons, New York.**
44. **WILKES, G. 1989. Maize: Domestication, Racial Evolution and Spread. pp. 441-455. En: D.R. Harris y G.C. Hillman (Eds) Foraging and Farming. Unwin Hyman. London.**
45. **ZEVALLOS, C.W. et al. 1977. The San Pablo Corn Kernel and its friends. Science: Vol. 196, pp. 385-389.**

SELECCION RECURRENTE EN MAICES TROPICALES

S. Pandey y Hernán Ceballos *
Charles O. Gardner **

1. INTRODUCCION

Desde su domesticación, el maíz (*Zea mays* L.) ha sido usado como alimento, fibra, combustible e incluso para diversos fines culturales. Crece desde las latitudes 58°N a 40°S, desde el nivel del mar hasta los 3,800 msnm, y bajo precipitaciones anuales que varían entre 25.4 y 1,016 cm (Hallauer y Miranda, 1988). En 1986 se produjeron en el mundo aproximadamente unas 480 millones de toneladas de maíz. Los países en vías de desarrollo (PVD) produjeron un 40% del total de la producción en alrededor de un 64% del área total dedicada al maíz, mientras que los países desarrollados produjeron un 47% del total en aproximadamente 26% de la superficie sembrada con maíz en el mundo. El resto del área y producción fue cubierto por los países del bloque del Este. Desde comienzos de la década de 1960, la producción anual de maíz en los PVD ha crecido más rápidamente (4%) que en los países desarrollados (3%). Los rendimientos del maíz han aumentado en un 2.8% por año (45 kg/ha/año) en los PVD y en un 2.4% en los países desarrollados (104 kg/ha/año). El rendimiento promedio del maíz en los PVD es de aproximadamente 2.2 ton/ha, mientras que en los países desarrollados es de 6.2 t/ha.

Los PVD importaron 11.1 millones de toneladas de maíz durante el periodo 1986-88, cuando el consumo de maíz per cápita creció 1.8% por año. En los países desarrollados, el consumo de maíz aumentó 1.2% per cápita durante el mismo periodo. Aproximadamente, un 53% del maíz sembrado en PVD es mejorado: 39% con semilla híbrida y 14% con cultivares de polinización abierta (CIMMYT, 1987, 1990).

2. EL MAIZ EN LOS PAISES EN DESARROLLO

Se siembran aproximadamente unos 60 millones de ha de maíz en los trópicos, con un rendimiento promedio de 1.2 t/ha (Brewbaker, 1985), distribuidas de la siguiente manera: 33% en Asia, 28% en Africa, 22.5% en Sudamérica y 16.5% en Norteamérica (Renfro, 1985). El rendimiento potencial del maíz en los trópicos es inferior al de zonas más templadas, debido a la menor cantidad de luz interceptada (días más cortos), menor intensidad de la misma (el periodo de llenado de grano del maíz generalmente coincide con los días nublados de la época de lluvias), y

* CIMMYT c/O CIAT, Cali, Colombia.

** Departamento de Agronomía, Universidad de Nebraska, Lincoln, USA.

deficiente intercepción de luz debido a las bajas densidades de siembra. Los rendimientos son también reducidos por variaciones climáticas extremas, altas temperaturas (particularmente durante las noches), así como bajas temperaturas diurnas en tierras altas.

La pobre fertilidad de la mayoría de los suelos tropicales es otro factor que determina los bajos rendimientos de maíz en esas áreas. El nutriente más limitante en los trópicos es el Nitrógeno y constituye un elemento primordial en la diferenciación entre agricultura de bajos y altos recursos. El Fósforo es el segundo nutriente más limitante y se ve inmovilizado por el Aluminio (Al) y el Hierro en suelos ácidos, y por Calcio y Magnesio en los calcáreos. Una gran parte de los suelos tropicales son ácidos, y la toxicidad por Al constituye una de las principales explicaciones de los fracasos de diversos cultivos en ese tipo de suelos. Finalmente, solo en Asia cerca de 50 millones de hectáreas tienen problema de salinización (Brewbaker, 1985).

El bajo rendimiento del maíz en los trópicos es también su menor potencial genético de rendimiento. Aquellos caracteres morfológicos que le permitieron al maíz adaptarse mejor a los ambientes tropicales, le hacen menos responsivo a insumos tales como el uso de fertilizantes y altas densidades de siembra. En otras palabras, una porción considerable del aumento de biomasa resultante de un manejo del cultivo más tecnificado (por ejemplo, uso de fertilizantes) termina, en los maíces tropicales, en tejido vegetal distinto al grano (bajo índice de cosecha). El crecimiento vegetativo excesivo se traduce también en menores rendimientos debido a pérdidas por acame.

La alta presión causada por pestes y condiciones hidricas subóptimas, también reducen los rendimientos del maíz en los trópicos. Disminuciones en los rendimientos de hasta 30-40%, debido a enfermedades, son frecuentemente observados, mientras que los insectos pueden, en ocasiones, destruir totalmente las cosechas. Un 50% de las pérdidas en la agricultura de bajos recursos en los trópicos se pueden adjudicar a la competencia de malezas (Brewbaker, 1985), mientras que las sequías pueden reducir los rendimientos entre 25 y 50% (Edmeades *et al*, 1989). Se debe tener en cuenta que, en pequeñas fincas, el maíz es generalmente un cultivo secundario de subsistencia, lo que determina un pobre manejo, provisión limitada de recursos, uso inadecuado de insumos, y es generalmente acompañado por un retraso o ausencia en la transferencia de nuevas tecnologías. Todo esto tiende a reducir los rendimientos del maíz en zonas tropicales.

3. SISTEMAS DE SELECCION RECURRENTE

Los objetivos básicos de cualquier sistema de selección recurrente son: 1) el mejoramiento de las poblaciones en forma

cíclica mediante el aumento de la frecuencia de genes o combinaciones de genes favorables; y, 2) mantener adecuada variabilidad genética para una selección y mejoramiento continuo mediante la intercrusa de un número suficiente de genotipos superiores en cada ciclo de selección. En definitiva, las poblaciones mejoradas deberían ser un germoplasma excelente para su liberación directa a los agricultores, para la extracción de variedades de polinización abierta (VPA) o el desarrollo de líneas endocriadas para su posterior uso en la formación de híbridos.

Cualquier sistema de mejoramiento que repita el mismo procedimiento ciclo tras ciclo, puede considerarse como de selección recurrente, la cual, generalmente, incluye los siguientes pasos: 1) producción de un grupo de genotipos (sean estos individuos o familias de algún tipo); 2) evaluación de estos genotipos e identificación de los mejores a ser usados para originar la próxima generación; y, 3) inter-cruza de los genotipos seleccionados para producir esta nueva generación (ciclo). Este esquema puede aplicarse a todos los cultivos, sean estos alógamos o autógamos. La selección recurrente, sin embargo, ha sido usada particularmente en especies de polinización cruzada y, por ello, su importancia en relación al mejoramiento del maíz.

El número de años que requiere un ciclo de selección recurrente varía entre uno y tres (o incluso más) y depende del sistema usado y si se cuenta o no con posibilidades de usar viveros en épocas distintas de la óptima para el desarrollo del cultivo (viveros de invierno o uso de invernáculos) para la fase de recombinación o desarrollo de nuevos genotipos. Las fases de evaluación y selección deben hacerse en condiciones ambientales representativas de aquellas en donde, eventualmente, el producto final será usado por el agricultor (el "ambiente objetivo"). Durante la fase de recombinación y/o formación de nuevos genotipos, se puede también efectuar algún tipo de selección visual para tipo de planta, reacción a enfermedades e insectos, etc. En algunas circunstancias, esta selección visual es más efectiva cuando la fase de recombinación o formación de nuevos genotipos se realiza en el "ambiente objetivo", pero esto generalmente alarga la duración del ciclo de selección al no poder usar los viveros de invierno. Además, la realización de esa fase en viveros de invierno o en invernáculos, no solo acorta la duración del ciclo, sino que también ofrece con frecuencia la oportunidad de evaluaciones adicionales sobre reacción a factores bióticos o abióticos que son difíciles de evaluar en el "ambiente objetivo".

Sprague y Eberhart (1977), Gardner (1978), Hallauer y Mirando Filho (1988), Hallauer *et al* (1988) y Paterniani (1990) han discutido extensamente y provisto resúmenes sobre los distintos usos de la selección recurrente.

Los distintos sistemas de selección recurrente son generalmente agrupados como: 1) Sistemas de selección recurrente

intrapoblacional; y, 2) sistemas de selección recurrente interpoblacional; y, dentro de cada sistema podemos distinguir: 1) una unidad de evaluación y, 2) otra unidad de selección. En algunos sistemas las plantas individuales son, al mismo tiempo, la unidad evaluada y la seleccionada. En la mayoría de los casos, sin embargo, la unidad de evaluación es algún tipo de familia que puede, o no, ser al mismo tiempo la unidad de selección.

La evaluación de familias se hace, generalmente, en ensayos con varias repeticiones, en una "muestra aleatoria" de ambientes representativos del "área objetivo" (se usan en la mayoría de los casos estaciones experimentales). La fase de selección se basa principalmente en el comportamiento de cada familia durante la evaluación. Las familias que no tuvieron un comportamiento superior en el ensayo, o bien genotipos relacionados a las mismas (unidad de selección), se recombinan para formar la población mejorada que se usa en el próximo ciclo de selección.

En la mayoría de los esquemas de mejoramiento inter o intrapoblacional, la fase de recombinación requiere el cruzamiento entre familias seleccionadas o de genotipos emparentados con estas (unidad de selección). Esto se realiza de muy diferentes maneras, ya sea durante la estación principal de crecimiento o fuera de ella. Uno de los procedimientos más simples consiste en sembrar en un vivero aislado las familias seleccionadas en surcos hembra (a ser desapanojadas), y usar un "compeesto balanceado" de la semilla de todas esas familias para los surcos machos que se usarán como fuente de polen. La polinización ocurre libremente, por lo que el aislamiento es importante para evitar contaminación de polen proveniente de otros maíces. Si no se cuenta con aislamiento adecuado, se pueden hacer las cruza dialélicas entre familias seleccionadas con polinizaciones controladas. Esto requiere demasiados cruzamientos manuales por lo que, frecuentemente, se hacen cruza dialélicas parciales o bien cruzamientos "en cadena", donde cada familia seleccionada se cruza con otras familias, el mismo número reducido y equitativo de veces. Un compuesto balanceado de semilla de cada familia se usa para representar cada ciclo de selección.

3.1. Selección recurrente intrapoblacional

3.1.1. Selección masal

Selección masal simple (SM): Es el más viejo y simple sistema de selección recurrente y fue, probablemente, usado por las culturas pre-colombinas en el mejoramiento del maíz. En tiempos más modernos, fue ciertamente usada por los agricultores quienes conservaban, al momento de la cosecha, las mazorcas de las plantas más rendidoras para ser usadas como semilla el próximo ciclo de cultivo. Los primeros mejoradores de maíz encontraron a este sistema poco eficiente para el mejoramiento del rendimiento, aunque era bastante efectivo para otros caracteres. El componente genético del rendimiento de cada planta se confunde con otras

fuentes de variación tales como heterogeneidad del suelo, competencia despareja por diferencias en el espacio entre planta y planta, etc. Aquellos agricultores más cuidadosos, podían evaluar a cada planta en relación a sus vecinas con lo que se puede lograr progresos más substanciales.

Selección masal estratificada: Este sistema fue propuesto por Gardner (1961), como un procedimiento simple para contrarrestar la influencia ambiental en el rendimiento individual de plantas. El área de selección se divide en subparcelas más pequeñas, aproximadamente cuadradas, dentro de las cuales la variación edáfica y otras variables ambientales se reducen a un mínimo. Se restringe la selección para que sea solo entre plantas dentro de cada una de esas subparcelas. Gardner también sugirió la sobre-siembra, seguida de un raleo, para asegurar una densidad de plantas perfecta, que provea de una competencia entre plantas uniforme. También sugirió el uso de bloques aislados para evitar la contaminación con polen extraño. Este sistema ha sido muy efectivo en el mejoramiento de numerosos cultivos, incluyendo árboles.

Selección masal estratificada con control del polen: Solo es posible cuando se selecciona para caracteres que pueden ser evaluados antes de la floración en especies alógamas, tales como días a floración (Troyer y Brown, 1972, 1976), altura de planta y/o mazorca, número de hojas y mazorcas iniciales (Paterniani, 1978), etc. En el caso del maíz, todas las plantas no seleccionadas son despanojadas, para que el polen solo provenga de plantas seleccionadas. Una selección adicional para rendimiento se puede hacer al momento de la cosecha (selección sobre el progenitor femenino solamente). En otras especies, para permitir el cruzamiento únicamente entre plantas seleccionadas, se deben eliminar físicamente las plantas no seleccionadas, lo que necesariamente introduce una competencia despareja entre las plantas, de modo que no es posible efectuar esta selección para rendimiento de los progenitores femeninos.

Selección masal con estratificación genética: Fue inicialmente discutida por Paterniani (1990) quien dio crédito a Zinsly por la idea original (aunque la evaluación por diseño de "panal de abeja" es, esencialmente, la misma idea). En este sistema, el mismo genotipo testigo se siembra sistemáticamente a través del campo y las plantas individuales de la población a ser seleccionada se comparan, en el momento de la selección, con las plantas testigo más cercanas. Para evitar la contaminación en la población de maíz que está siendo seleccionada, el testigo debe ser: 1) macho estéril; 2) desespigado; o, 3) poseer algún carácter que haga fácil la detección de semilla originada del polen de este. En especies autógamias, la contaminación es mínima. Este sistema no ha sido muy usado debido a su costo operacional comparado con el de SME.

3.1.2. Selección de familias de medios hermanos

Mazorca por surco: Según las descripciones de Hopkins (1899) y Montgomery (1909), consiste en sembrar y evaluar la población a ser mejorada en surcos de familias de medios hermanos (MH). Las mazorcas de las mejores plantas de las mejores familias son elegidas y sembradas "mazorca por surco" el próximo ciclo de selección. Este sistema ya fue usado por mejoradores hace más de un siglo, quienes encontraron el método poco efectivo para aumentar el rendimiento por las mismas razones mencionadas para SM. Fue, sin embargo, sumamente útil para mejorar otras características más altamente heredables.

Mazorca por surco modificado (MSM): Este método fue descrito por Lonquist (1964) y envuelve la evaluación de progenies en múltiples localidades (puede ser una sola repetición por ambiente), así como de un vivero aislado para la recombinación. En este vivero, cada familia MH se siembra en surcos hembra individuales los que, antes de florecer, son despanojados. Un compuesto balanceado de la semilla de todas las familias MH se usa para los surcos macho, que se siembran intercalados entre los surcos hembra. La selección entre familias de MH se hace en base a su rendimiento promedio a través de todas las localidades. También se efectúa una selección visual para rendimiento entre las plantas de una misma familia. En algunos casos, la evaluación del rendimiento se puede hacer simultáneamente con la recombinación, lo que permite acortar la duración de cada ciclo a solo una estación de crecimiento.

Modificación de "mazorca por surco modificado": Es un sistema de selección sugerido por Compton y Comstock en 1976. Se basa en una evaluación y selección como en MSM. Sin embargo, la recombinación se efectúa en la siguiente estación de crecimiento y solo las familias MH seleccionadas se siembran como hembras en los viveros aislados, y son incluidas en el compuesto balanceado que se usa para los surcos machos. Generalmente, este sistema requiere dos años por ciclo, aunque los viveros de invierno pueden reducir la duración de cada ciclo a un año. Un inconveniente de este último sistema es que la selección entre plantas dentro de familias MH no es muy efectiva, debido a que la selección no se hace durante la estación de crecimiento representativa del "ambiente objetivo".

Familias de medios hermanos: Descrita por Jenkins en 1940. Comienza con la obtención de familias de medios hermanos (FMH) en un bloque de recombinación, generalmente, de polinización abierta. Seguidamente, se evalúa el rendimiento de estas FMH con repeticiones y, preferentemente, en dos o más ambientes (tal como se describió arriba). Las FMH seleccionadas se recombinan la siguiente estación (ya sea mediante el uso de surcos hembras y machos o bien polinizadas "a mano" con una muestra aleatoria del

polen de la misma población). Luego de esta primera recombinación, un compuesto balanceado de la semilla de cada familia se siembra en un bloque de recombinación, con lo que se comienza un nuevo ciclo de selección. El sistema requiere tres estaciones de crecimiento, que pueden reducirse a dos años si una de ellas no es la principal. Las fases de recombinación y producción de nuevas progenies a veces se combinan en la misma estación de crecimiento (Compton y Lonquist, 1982), lo cual puede reducir la duración de cada ciclo a dos estaciones de crecimiento (un año). Una de las ventajas del uso de FMH es que, en cada ciclo de selección, se pueden obtener estimados de la variancia genética aditiva y de heredabilidad de los caracteres bajo selección.

3.1.3. Selección de familias de hermanos completos

Familias de hermanos completos (SFHC): Según Moll y Robinson (1966), la evaluación y selección de familia de hermanos completos (FHC), envuelve la evaluación del rendimiento de progenies originadas por cruza intrapoblacionales entre pares de plantas. La evaluación y recombinación se realizan siguiendo los métodos arriba descritos. En un bloque de recombinación se efectúan cruza planta a planta para obtener FHC, que son evaluadas en ensayos de rendimiento la siguiente estación de crecimiento (usando, en lo posible, numerosas localidades con más de una repetición por localidad). Las FHC seleccionadas se recombinan durante la tercera estación de crecimiento. Luego de la cosecha se hace un compuesto con las cruza hechas en cada FHC y, tomando igual cantidad de semilla de cada compuesto, se siembra el bloque de recombinación, con lo que se inicia un nuevo ciclo de selección. Cada ciclo requiere tres estaciones de crecimiento, por lo que se puede completar en dos años, si se usa un vivero de invierno. Este sistema ha sido muy usado por el Programa Internacional de Mejoramiento de Maíz del CIMMYT, así como por otros mejoradores.

3.1.4. Selección de familias S1

Evaluación de familias S1 per se (SS1): Este sistema (Eberhart, 1970) envuelve la evaluación del rendimiento de progenies producidas mediante la autofecundación de un número de plantas de una población. La evaluación del rendimiento, así como la recombinación de los genotipos selectos, se realiza del mismo modo ya descrito para otros métodos de mejoramiento usando familias. Una vez que la población se ha recombinado, se autofecunda un compuesto balanceado de la misma para obtener un nuevo grupo de familias S1 (FS1). Como en el caso anterior, se requieren tres estaciones de crecimiento para cada ciclo de selección, que se puede completar también en dos años.

Evaluación de medios hermanos para aptitud combinatoria general: Jenkins describió este método en 1940. Consiste en autofecundar

plantas individuales de una población y, simultáneamente, cruzarlas con una muestra aleatoria de plantas de una población (de amplia base genética), que se usa como "probador". De estas cruzas se obtienen FMH para cada planta. Estas FMH son evaluadas en ensayos de rendimiento. Las FS1 relacionadas a las mejores FMH se recombinan para iniciar un nuevo ciclo de selección. Al igual que en los casos anteriores, se requieren tres estaciones de crecimiento por cada ciclo de selección, el cual puede completarse en dos años.

Evaluación de hermanos completos para aptitud combinatoria específica (S1-HC): Este método (Hull, 1945, 1952) es similar al anterior: se autofecundan plantas individuales las que también son cruzadas, en este caso, con una línea endocriada usada como probador. Una vez obtenidas las FHC, son evaluadas en ensayos de rendimiento. Como en el caso anterior, las FS1 relacionadas con las mejores FHC son las que se usan en la recombinación para iniciar un nuevo ciclo de selección. Al igual que en los casos anteriores, se requieren tres estaciones de crecimiento para cada ciclo, el cual puede completarse en dos años. Este método ha sido muy efectivo en distintos proyectos de mejoramiento poblacional (Horner et al, 1963, 1973; Russell et al, 1973; Russell y Eberhart, 1975), a pesar que originalmente fue propuesto para el desarrollo de poblaciones "fuente" de donde extraer líneas para formar híbridos con una determinada línea élite.

3.1.5. Selección de familias S2

Evaluación de familias S2 per se: Consiste en dos generaciones de autofecundaciones, con o sin selección en la S1 (Horner et al, 1973). Las familias S2 (FS2) son evaluadas y las mejores, seleccionadas para su posterior recombinación, tal como se hace en otros métodos de selección de familias. Este método requiere cuatro estaciones de crecimiento por ciclo, el cual puede aún completarse en dos años si se usan viveros de invierno para la obtención de las FS2 y para la recombinación. Este sistema no ha sido usado muy extensivamente debido, probablemente, a los importantes efectos de interacción genotipo x ambiente, y a las dificultades en la evaluación de FS2 de maíz per se.

Evaluación de hermanos completos para aptitud combinatoria específica: Es similar al método S1-HC. Una vez producidas FS1 son estas las que simultáneamente se cruzan con la línea élite usada como probador y autofecundan para obtener familias S2. Se considera que la evaluación aún se hace sobre FHC, ya que se trata de cruzas entre una línea homocigota y la progenie S1 de una planta individual de la población. La recombinación se realiza entre familias S2 relacionadas a las mejores FHC de acuerdo a la evaluación del rendimiento de las mismas. Esta modificación aumenta a cuatro el número de estaciones de crecimiento requerido para cada ciclo. Se puede completar un ciclo de dos años, si se usaran viveros de invierno tanto para la

producción de las familias FS2 y las cruzas FHC con la línea élite como para la recombinación de las FS2 selectas. Sin embargo, es recomendable la selección de plantas "entre y dentro" de FS1 para ser cruzadas y autofecundadas en la obtención de las FHC y FS2, respectivamente. Esto se realiza en forma más apropiada bajo los "ambientes objetivos", lo que excluye el uso de viveros de invierno y, por lo tanto, alargaría la duración de cada ciclo a tres años.

3.1.6. Descendencia de una sola semilla

Selección y evaluación de líneas endocriadas: Envuelve el rápido desarrollo de líneas endocriadas (generación Sn) mediante el método de descendencia de una sola semilla (Brim, 1966). El uso de viveros de invierno o de invernáculos acelera grandemente el proceso. Las familias se evalúan en ensayos de rendimiento, y las mejores son recombinadas como se describiera arriba para otro tipo de familias. El tiempo requerido por este método depende del número de generaciones de endocria deseado y del tiempo que cada generación demanda. Este método ha sido empleado principalmente en especies autógamias.

3.2. Selección recurrente interpoblacional

3.2.1. Evaluación recíproca de modios hermanos

Selección de familias S1 (SR-S1): Comstock et al (1949) la sugirieron como un sistema de mejoramiento que podría permitir el uso de todos los efectos genéticos para aumentar la heterosis en la cruce entre dos poblaciones dadas (A y B). Plantas individuales de la población A son autofecundadas y, simultáneamente, cruzadas con una muestra aleatoria de plantas de la "población recíproca" B. De igual manera, plantas individuales de la población B son, al mismo tiempo, autofecundadas y cruzadas con una muestra al azar de plantas de la población A. De las mazorcas de todas las cruces de un determinado progenitor se hace un compuesto balanceado, que constituye una FMH. Todas estas FMH son evaluadas, para cada población en forma separada, en ensayos con varias repeticiones y en varios ambientes. Las FS1 relacionadas con las mejores FMH son recombinadas dentro de cada población, para constituir un nuevo ciclo de selección para cada una de estas poblaciones recíprocas. El sistema requiere tres estaciones de crecimiento (dos años si se usan viveros de invierno) para completar cada ciclo.

Paterniani (1990) sugirió un sistema que tiende a solucionar algunos de los principales inconvenientes de este método tales como: 1) el excesivo requerimiento de mano de obra y alto costo para hacer las cruces necesarias; y, 2) un muestreo inadecuado de la población recíproca que actúa como probador, ya que solo se usan entre 6 y 10 plantas. En este nuevo sistema, las plantas de cada población son autofecundadas. Las FS1 de la población A se

siembran (en parcelas aisladas) en surcos hembra individuales, mientras que los surcos machos se siembran con un compuesto balanceado de las familias de la población B. Las FSI de la población A (surcos hembra) son despanojadas y dejadas para que se polinicen libremente con una mezcla de polen proveniente de la población recíproca B. De esta forma se obtiene, de cada FSI de la población A, las FMH que son posteriormente evaluadas en ensayos de rendimiento. Las FSI relacionadas a las mejores FMH son, posteriormente, recombinadas para iniciar un nuevo ciclo de selección. Paralelamente, se hace lo mismo con las FSI de la población B, pero usando como surcos machos un compuesto balanceado de la población A. Si bien este sistema requiere una estación extra de crecimiento, se puede todavía completar en dos años, mediante viveros de invierno.

Selección de medios hermanos (SR-MH): También sugerida por Paterniani (1970), consiste en la siembra, en parcelas aisladas, de progenies de FMH de cada población como surcos hembras las que, al ser despanojadas, son polinizadas solo por los surcos machos que son sembrados con un compuesto balanceado de las familias de la población recíproca respectiva. Los cruzamientos entre las FMH de cada población y sus probadores (población recíproca) son evaluadas en ensayos de rendimiento y las FMH relacionadas a las mejores cruza, son recombinadas para iniciar un nuevo ciclo de selección. La recombinación se hace de manera similar a las cruza con la población recíproca: cada FMH se siembra en surcos hembras, las que al momento de la floración son despanojadas. Como surco macho se siembra un compuesto balanceado de todas las FMH pero de la misma población. Este sistema requiere solo tres estaciones de crecimiento por ciclo, el que puede completarse en dos años mediante el uso de viveros de invierno.

Selección de familias de medios hermanos usando plantas prolíficas: Originalmente sugerida por Paterniani en 1970, para reducir los ciclos de selección a dos estaciones de crecimiento, por lo que se requiere solo de un año por ciclo. En cada población recíproca se requieren plantas con, por lo menos, dos mazorcas. También se necesitan, al igual que los métodos arriba mencionados, dos parcelas aisladas (1 y 2). En la parcela 1 se siembran surcos hembras con las familias de la población A, y surcos machos con un compuesto balanceado de la población B. En la parcela 2, los surcos hembras son de la población B y los machos de la A. Al momento de la floración, los surcos hembras son despanojados y la mazorca inferior es cubierta para prevenir la polinización libre. Cuando los estigmas de las mazorcas cubiertas emergen estos, se polinizan con polen provenientes de 50 o más plantas prolíficas de la misma población. Si se trata de la población A, polen de la misma solo se hallará en la parcela 2, donde esta población fue sembrada en los surcos machos. De la misma manera, plantas prolíficas de los surcos machos de la parcela 1 (población B), se usan para polinizar las mazorcas cubiertas en los surcos hembras de la parcela 2 (también

población B). Las mazorcas superiores, que fueron dejadas para ser polinizadas libremente, producen las FMH interpoblacionales que son evaluadas en los ensayos de rendimiento. Las segundas mazorcas, polinizadas a mano, constituyen las FMH intrapoblacionales, que quedan disponibles para su recombinación y, simultáneamente, pueden usarse en la formación de nuevas familias intra o inter-MH, con lo que se inicia un nuevo ciclo de selección. A pesar que, usando viveros de invierno cada ciclo toma un año, este sistema tiene el problema de demandar mucha mano de obra.

3.2.2. Selección recíproca de hermanos completos

Selección de familias S1 basadas en cruza recíprocas planta por planta: Hay numerosas referencias a este sistema (Villena, 1965; Lonquist y Williams, 1967; Hallauer y Eberhart, 1970; Jones et al, 1971), que también requiere el uso de plantas con, por lo menos, dos mazorcas. Una de las mazorcas de cada planta de la población A es polinizada con polen de una planta individual de la población B y, de ser posible, también se hace la cruz recíproca. La segunda mazorca en las plantas que han sido cruzadas en ambas poblaciones se autofecunda. La selección se basa en el comportamiento en ensayos de rendimiento de los cruzamientos (FHC), mientras que las FS1 de las cruza selectas son las que se usan la siguiente estación de crecimiento, para la recombinación dentro de cada una de las poblaciones recíprocas. La recombinación se hace, comúnmente, mediante la siembra y posterior despanojado de cada FS1 en surcos hembras, los que son polinizados por los surcos machos sembrados con un compuesto balanceado de las mismas FS1. El nuevo ciclo de selección se forma con un compuesto balanceado de la semilla de cada familia obtenida de esta manera. Se requieren, entonces, tres estaciones de crecimiento para cada ciclo, que puede completarse en dos años.

Selección de familias S1 basada en cruza recíprocas S1 x S1: Este procedimiento alternativo consiste en producir, primeramente, las FS1 de cada población para hacer luego cruzamientos apareados entre FS1 de poblaciones opuestas. Estas cruza S1 x S1 son equivalentes a cruza entre dos plantas no-endocriadas como en el esquema arriba descrito, pero sin la necesidad de la prolificidad. Estas cruza, que podemos llamar de "hermanos completos" son evaluadas y las FS1 relacionadas a las mejores "FHC" son usadas posteriormente en la recombinación para obtener un nuevo ciclo de selección. Esto alarga un tanto la duración de cada ciclo, pero estos se pueden aún completar en dos años, si se hacen las cruza y la recombinación en viveros de invierno.

Selección de familias S1 basada en cruzamientos prueba con líneas endocriadas recíprocas: Russel y Eberhart (1975) sugirieron este procedimiento de selección recurrente recíproca de FHC modificada, en el cual plantas no endocriadas (S0) de la

población A son autofecundadas y, al mismo tiempo, cruzadas con una línea endocriada de la población B que fueran derivadas de un previo ciclo de selección. De la misma manera, plantas no endocriadas de la población B son autofecundadas y cruzadas con una línea endocriada de la población A. El criterio de selección es el comportamiento de las cruza prueba, en base al cual se seleccionan las F₁ a ser recombinadas. Alternativamente, se pueden usar dos líneas endocriadas que producen excelentes híbridos (por ejemplo, M₁₇ y B73) como probadores para mejorar las dos poblaciones, así como sus cruza interpoblacionales. Los probadores para cada población pueden elegirse de acuerdo con sus respuestas heteróticas en las cruza "población x probador". Debido a que las líneas probadoras son homocigotas, y que no cambian en los sucesivos ciclos de selección, habrá mayor variabilidad genética entre los cruzamientos prueba con estas líneas que con las poblaciones, por lo que el uso de líneas como probadores debería proveer un mayor progreso en la selección. Sin embargo, Comstock (1979) presentó argumentos teóricos indicando que para acumular alelos favorables que mejoren el comportamiento de las cruza entre dos poblaciones, el uso de las poblaciones como probadores sería ligeramente más efectivo que el de líneas endocriadas.

4. FACTORES QUE AFECTAN LA ELECCION DEL METODO DE SELECCION Y EL PROGRESO DE ESTA

Todos los sistemas de selección recurrente han probado ser efectivos en el mejoramiento del maíz (Sprague y Eberhart, 1977; Gardner, 1978, 1986). Cada mejorador debe decidir qué método y qué población(es) usar, y esto dependerá, entre otras cosas, de: 1) el objetivo final: VPA o híbrido; 2) características a ser mejoradas: rendimiento, resistencia a enfermedades, tolerancia a sequía, etc.; 3) consideraciones sobre el tiempo: mejoramiento a corto o largo plazos; 4) germoplasma disponible: variedades de adaptación local, poblaciones mejoradas, "pooles" genéticos, y accesiones a bancos de germoplasma; 5) conocimiento acerca de esos germoplasmas; y, 6) recursos financieros disponibles.

Si el objetivo final es el desarrollo y liberación de una variedad, se debería usar alguno de los métodos de mejoramiento intrapoblacional, de modo que la población a mejorar tenga tantos alelos favorables como sea posible. Por el contrario, si se desea producir algún tipo de híbrido, cualquiera de los métodos de selección recurrente recíproca permite aprovechar toda la variabilidad genética de las dos poblaciones contrastantes. Sin embargo, en ciclos iniciales de selección de dos poblaciones heteróticas, la selección intrapoblacional ha sido, aparentemente, tan efectiva en el mejoramiento de las cruza entre estas poblaciones como la selección recurrente recíproca, y más efectiva en el mejoramiento tanto de la población per se como de sus derivados endocriados per se (Odhiambo y Compton, 1989). Cabe destacar que la selección recíproca en los ciclos iniciales actúa primariamente sobre efectos aditivos o aptitud combinatoria

general (ACG). Eventualmente, la variancia genética aditiva tiende a desaparecer y, consecuentemente, el comportamiento de cruzas interpoblacionales o de cruzas entre líneas derivadas de las dos poblaciones heteróticas mejoradas, dependerá más de la aptitud combinatoria específica (efectos no aditivos de dominancia y epistasia). En otras palabras, las ventajas de la selección recurrente recíproca tenderán a ser obvias solo en proyectos a largo plazo.

Si el carácter a ser mejorado está controlado principalmente por efectos genéticos aditivos y su heredabilidad es alta, cualquier método de selección recurrente será apto, incluso la selección masal. La evaluación y selección de familias si han sido especialmente efectivas en el mejoramiento de la resistencia a enfermedades e insectos, así como en otros caracteres. Si el control genético de lo que se quiere mejorar es de sobredominancia o dominancia, y su heredabilidad es baja (como es típicamente el caso del rendimiento), entonces un sistema de mejoramiento interpoblacional puede ser más adecuado.

Si se quiere producir una nueva variedad o híbrido en forma rápida, se debe apelar a poblaciones élite con altos rendimientos promedio pero variabilidad genética limitada. Si no existen urgencias en cuanto al tiempo, entonces se puede usar germoplasma más exótico con la esperanza de estar agregando a la población más alelos favorables, de aumentar las interacciones favorables entre los mismos, interacciones favorables entre no-alelos, y de introducir grupos de ligamiento deseables. La introducción en la población de nuevos alelos favorables (no presentes en la población original), generalmente requiere la introgresión de germoplasma poco adaptado, que también introduce en nuestra población numerosos alelos indeseables. A pesar que esto significa que se debe comenzar con una población menos sobresaliente, su mayor variabilidad genética aditiva permitiría progresos más rápidos, sobre un período de tiempo más largo, lo que finalmente puede resultar en mejores rendimientos de las variedades eventualmente liberadas.

El destino final del material a desarrollar, así como las limitaciones en cuanto al tiempo disponible para alcanzar ese objetivo es importante en la elección del germoplasma para iniciar una nueva población. En métodos de selección intrapoblacional, las poblaciones deben poseer tanto de los más deseables alelos en cada locus como sea posible. En el mejoramiento interpoblacional, la heterosis cumple un papel fundamental en la elección del germoplasma que constituirá cada una de las dos (o más) poblaciones recíprocas. No existe, en realidad, limitación de germoplasma de maíz para la formación de nuevas poblaciones. Materiales de adaptación local, así como aquellos provenientes de países con ambientes similares a nuestro "ambiente objetivo", son de extrema utilidad; sin embargo, germoplasmas superiores (aunque no sean bien adaptados) pueden ciertamente contener alelos favorables que no están presentes en los materiales adaptados. Estos recursos no deben, en

consecuencia, ser ignorados.

La metodología para la formación de nuevas poblaciones para su uso, como fuente de variedades o híbridos ya fue descrita por Pandey et al en 1984. Los materiales individuales pueden ser sembrados como surcos hembras y desespigadas al momento de la floración para ser polinizadas por los surcos machos, sembrados para tal propósito con una variedad local de buena adaptación, o bien con un compuesto balanceado de todos los materiales incluidos en la formación inicial de la población. Como mínimo deben utilizarse 50 plantas de cada material, sembradas en 2-4 surcos de 5 m. A lo largo del ciclo de crecimiento se toman notas sobre las características de cada entrada. Los materiales marcadamente inferiores son descartados y los restantes son cosechados como "bulk".

Seguidamente, se evalúan estas cruza prueba en 3-4 ambientes en ensayos de rendimiento con repeticiones, lo que provee de buena información sobre la ACG de los materiales a ser recombinados para formar la población. En general, dos surcos para cada crusa y dos repeticiones por localidad debería ser adecuado para una estimación confiable de los efectos de interacción genotipo x ambiente. Se ha sugerido que esta evaluación de las entradas en numerosos ambientes durante una misma estación de crecimiento es suficiente para la selección de los genotipos superiores (Comstock y Moll, 1963). Los materiales con una buena ACG son los seleccionados para la posterior recombinación.

Antes de proceder al mejoramiento de la nueva población, se debe realizar una intensa recombinación entre los materiales elegidos para iniciarla. Una forma adecuada para realizar esta recombinación es sembrando los materiales en un sistema de "2 surcos hembras: 1 surco macho", donde las hembras son los distintos materiales selectos, y los machos una mezcla balanceada de todos estos materiales (cantidad equitativa de semilla de cada componente). En el primer ciclo, cada entrada puede estar representada por hasta 500 plantas, las que son sembradas en surcos hembras que son despanojadas al momento de la floración. Durante el ciclo de crecimiento, se deben identificar 50-60 plantas de cada entrada y, al momento de la cosecha, elegir entre estas las mejores 20-30 mejores mazorcas. Un número elevado de plantas en esta etapa es aconsejable para poder así efectuar una intensa selección dentro de cada material. En ciertas circunstancias, cuando se desea recombinar materiales de distinta madurez, se debe planear la siembra escalonada de surcos machos. Finalmente, se ha sugerido la necesidad de efectuar la recombinación en ambientes "neutrales" para evitar, por ejemplo, la sensibilidad al fotoperíodo de accesiones que pueden provenir de distintas latitudes.

La semilla de cada mazorca seleccionada, se siembra en la siguiente estación de crecimiento en surcos hembras individuales para ser polinizados, como en ciclo previo, por surcos machos

constituidos por una mezcla balanceada de todas las entradas. Dentro de cada entrada ahora se puede seleccionar entre distintos surcos y eliminar los de comportamiento mediocre. Al momento de la cosecha se seleccionan 2-3 mazorcas de cada surco seleccionado, de modo que de cada entrada original obtenemos nuevamente un grupo de 20-30 mazorcas. Esta baja presión de selección durante la fase de recombinación reduce la frecuencia de alelos deletéreos sin que haya una "deriva genética" importante. La intensidad de selección se puede manipular para que cada ciclo de recombinación esté representado por unas 500 mazorcas. Otros dos o tres ciclos adicionales de recombinación son suficientes para lograr una buena mezcla entre los materiales inicialmente elegidos, por lo que su identidad deja prácticamente de existir.

En el pasado ha sido relativamente difícil obtener información sobre las características de los distintos materiales guardados en los bancos de germoplasma. Afortunadamente, se están haciendo avances para obtener y hacer accesible dicha información. A pesar de ello, se continuará ignorando el tipo de efectos génicos y la magnitud de variancias genéticas controlando los distintos caracteres cuantitativos de interés. Si se deseara, por ejemplo, comparar el progreso genético esperado usando distintos métodos de selección recurrente intrapoblacional sobre una determinada población, se necesita contar con estimaciones de las variancias genéticas aditivas y no-aditivas, así como las variancias ambientales entre y dentro de cada unidad experimental. Si además se quisiera estimar las respuestas correlacionadas esperadas para características específicas cuando, por ejemplo, se usan índices de selección, se necesita saber también las covariancias genéticas aditivas entre los distintos caracteres en los que se tiene interés.

Los recursos financieros disponibles influyen también en el sistema de mejoramiento que se elige. Algunos sistemas requieren más polinizaciones manuales y personal especializado que otros. Los ensayos de rendimiento, con repeticiones y en distintas localidades, son costosos y requieren personal entrenado para ser conducidos adecuadamente, coleccionar los datos y analizar los resultados. Los sistemas de selección recíproca requieren dos poblaciones, lo que duplica el trabajo que normalmente se hace en selección intrapoblacional. Por todo esto, cuando se tiene que decidir acerca del método de mejoramiento a usar, el factor costo se debe pesar y contrastar con los beneficios potenciales de cada siembra.

5. METODOS DE SELECCION RECURRENTE USADOS EN LOS PAISES EN DESARROLLO

5.1. Selección masal

Basados en los distintos reportes publicados, la SM ha sido, aparentemente, uno de los métodos de mejoramiento más usados.

Johnson en 1963 reportó la obtención en la raza Tuxpeño ganancias en rendimiento de 11% por ciclo, usando SM, y Vencovsky et al (1970) reportaron una ganancia de 3.8% por ciclo luego de cinco ciclos de selección en la población Paulista Dent, y de 1.7% por ciclo en Catero Minas Gerais luego de tres ciclos. En 1973, Torregroza reportó un aumento del 48% en prolificidad y 35% en rendimiento luego de 11 ciclos de SM para prolificidad. Una selección, en la misma población, de plantas con una sola mazorca resultó luego de 11 ciclos, en una disminución de la prolificidad del 16% y del 7% en el rendimiento. Luego de nueve ciclos de SM en las poblaciones MB-51 y MB-56 se obtuvieron aumentos de la prolificidad de 2.0 y 3.4% y del rendimiento del 3.0 y 5.5% por ciclo, respectivamente (Torregroza et al, 1976).

Arboleda-Rivera y Compton (1974) practicaron SM para rendimiento y prolificidad en una población colombiana de amplia base genética. La selección se realizó solo en la época seca (A), solo en la época de lluvias (B), y en ambas (AB). La selección en B aumentó el rendimiento y la prolificidad en un 10.5 y 8.8% por ciclo (evaluación durante un ciclo B) y de 0.8 y 1.0%, respectivamente (evaluación durante un ciclo A). La selección durante el ciclo A aumentó el rendimiento y la prolificidad en un 2.5 y 4.4% por ciclo (evaluación en ciclo A) y en un 7.6 y 11.4% (evaluación en ciclo B), respectivamente. Finalmente, la selección en ambas estaciones (AB) mejoró el rendimiento y la prolificidad en un 5.3 y 7.0% (evaluación en B) y en un 1.1 y 3.3% por ciclo, respectivamente (evaluación en A). Vargas-Sánchez (1990) evaluó, usando un Diseño I, las ganancias de la selección y variancias genéticas de una misma población luego de 10 ciclos de selección en la estación A, 10 ciclos de selección en la estación B, y 20 ciclos de selección en ambas estaciones. La selección en la estación A produjo mayores avances que la selección en la estación B, pero los mayores avances por ciclo se lograron con la selección en ambas estaciones. Las ganancias de la selección para las estaciones A, B y AB fueron de 2.3, 2.0 y 3.8% para prolificidad y de 3.8, 3.4 y 5.3%, respectivamente para rendimiento. La variancia genética aditiva para prolificidad aumentó en cada una de las poblaciones y, para el caso del rendimiento, esta variancia fue mayor en AB que en las otras dos versiones. La selección en la estación A redujo, en el caso del rendimiento, los efectos de interacción de efectos genéticos aditivos x ambiente; mientras que la selección en la estación B estos efectos aumentaron.

Genter (1976) practicó 10 ciclos de SM en un compuesto de razas mexicanas y obtuvo ganancias del rendimiento del 19.1% por ciclo. También reportó que los ciclos avanzados de selección tenían menor altura de planta y mazorca, humedad de grano más baja en la cosecha, floración femenina más temprana, menor número de plantas afectadas por el carbón (Ustilago maydis), y mejor sincronización entre floración masculina y femenina. Darrah reportó en 1986 ganancias en el rendimiento de 2.3% por año en Kitale Composite A (KCA), luego de 10 ciclos de selección.

Delgado y Márquez (1984) usaron SM para mejorar la adaptación de la variedad de maíz Zac-58. En uno de los esquemas, la selección se practicó en forma separada en cada uno de tres sitios y las selecciones fueron recombinadas en uno de estos sitios (SM convergente-divergente). En otro esquema, un ciclo de selección se completó en cada uno de estos tres sitios, usando solo un sitio para cada ciclo de selección (SM rotativa). Los resultados indicaron que la SM rotativa fue superior a la SM convergente-divergente para mejorar la adaptación general de la población.

5.2. Selección de familia de medios hermanos

En 1967, Paterniani reportó ganancias del 13.6% por ciclo en el rendimiento de la población Paulista Dent luego de tres ciclos de selección MSM. Luego de seis años de selección MSM, Darrah et al observaron en 1978 ganancias de 0.83, 2.59 y 0.43% por año en los rendimientos de KII, Ec573 y H611, respectivamente. Los mismos autores también observaron ganancias totales de 5.2% en la población KCA luego de 10 años de selección. Lima et al (1974) obtuvieron ganancias por ciclo de 3% en Flint Composite y de 2% en Dent Composite luego de dos ciclos de selección. Sevilla reportó en 1975 que, luego de ocho ciclos de selección "mazorca por surco" (MS), se obtuvieron aumentos del rendimiento del 9.5% por ciclo en PMC-561. Por otra parte, Segovia (1976) reportó ganancias por ciclo de 3.2% en los tres primeros ciclos de selección "mazorca por surco" en Centralmex, pero ninguna ganancia en ciclos posteriores.

Se han reportado ganancias por ciclo para rendimiento, resultante de la selección entre y dentro FMH, de 3.8% en la población Piramex (Paterniani, 1968), 10.8% en Tuxpeño (Lima y Paterniani, 1977), 1.9% en ICA-1 (Miranda et al, 1977), 2.84% en ICA-Maya (Sawazaki, 1979), 2.7% en Dentado Composto Nordeste (Santos y Napolini, 1986a), y de 5.1% en Flint Composto Nordeste (Santos y Napolini, 1986b).

En 1973, Eberhart y Harrison reportaron aumentos del rendimiento de 15% luego de dos ciclos de selección en la población Kitale. La población mejorada rindió más que la original, tanto en ambientes buenos como en los desfavorables. El esquema de selección fue el de cruzar FS1 con un probador (en este caso la población parental).

En el reporte de Santos y Napolini (1986b), los tres ciclos de selección practicados en Flint Composto Nordeste resultaron en una disminución de la variancia genética aditiva para peso de mazorca entre Co y C1 para mantenerse constante desde entonces hasta C3. Luego de dos ciclos de selección mazorca por surco modificada, Santos et al (1988) hallaron ganancias en el rendimiento por ciclo de 15.2 y 5.2% en las poblaciones Dent Composite y Flint Composite, respectivamente. Darrah (1986), usando el mismo método de selección para mejorar KCA, obtuvo ganancias por año para rendimiento del 2.9%, luego de 10 ciclos,

sin cambios en el comportamiento de las cruces de esta población con su contraparte heterótica.

El CIMMYT ha usado la selección mazorca por surco modificada (MSM) para el mejoramiento de numerosos "pooles genéticos" bajo diferentes condiciones climáticas y con diferentes textura y color de grano y madurez. Vasal et al (1982), Pandey et al (1984), y De Leon y Pandey (1989) describieron la metodología usada para el desarrollo y mejoramiento de estos pooles. En un ensayo realizado en dos localidades para comparar ciclos de selección en ocho pooles tropicales, la respuesta lineal promedio del progreso de la selección fue de 2.50, -0.15, -0.35, -1.66 y -0.90% por ciclo para rendimiento, días a floración femenina, altura de planta, pudrición de tallo y pudrición de mazorca, respectivamente (De Leon y Pandey, 1989). El mejoramiento del rendimiento promedio fue mayor en aquellos pooles seleccionados para resistencia a pudrición de tallo que en los seleccionados para pudrición de mazorca (3.02 vs 1.38% por ciclo, respectivamente). En la reducción de días a floración y altura de planta, sin embargo, se logró un mayor progreso en los materiales seleccionados para menor pudrición de mazorca (-0.50 y -0.75% por ciclo, respectivamente), que en los seleccionados para menor pudrición de tallo (-0.04 y 0.25% por ciclo). Estos resultados indican que MSM es un sistema efectivo para lograr aumentos en el potencial de rendimiento, resistencia a la pudrición de tallo y mazorca y reducción en altura de planta y días a floración (Cuadro 1).

El método MSM fue usado por CIMMYT también en la población Compuesto Selección Precoz (CSP) para aumentar su precocidad sin afectar su rendimiento. Narro (1988) evaluó en Ames (U.S.A.), Cali (Colombia) y Chiclayo (Perú), los ciclos Co, C3, C6, C9, C12 y C15 de CSP, bajo dos densidades (53,000 y 75,000 pl/ha). Los resultados indicaron que el método de selección empleado fue efectivo para reducir altura de planta y mazorca, días a floración y área foliar y en aumentar la prolificidad (Cuadro 2). Si bien hubo variación en el potencial de rendimiento, los cambios fueron no-significativos cuando promediados a través de las tres localidades. Los últimos ciclos de selección tendieron a rendir más en Ames, menos en Chiclayo y se mantuvieron más o menos constantes en Cali. El progreso, cuando significativo, fue consistente y estuvo relacionado linealmente con ciclos de selección (Cuadro 2). Los últimos ciclos rindieron muy bien en Ames, principalmente debido a su corto ciclo. No se observó interacción ciclo x densidad alguna. Narro concluyó, finalmente, que el desarrollo de materiales precoces y de alto potencial de rendimiento para un sitio dado será más efectivo si la selección se practica en dicho sitio.

CUADRO 1. Promedios de diferentes ciclos de selección en ocho "pools genéticos" tropicales evaluados en dos ambientes tropicales.

Pool	Ciclo [†]	Rendimiento (t/ha)	Días a flor. fem.	Altura de planta (cm)	Acame de tallo [§]	Pudrición de mazorca (%)
Precoz Blanco Cristalino	C0	3.6	65	172	3.9	—
	C5	4.4	66	158	3.7	—
	C8	4.4	64	158	3.3	—
	C11	4.3	62	155	3.2	—
	DMS	0.57	1.4	7.9	0.2	—
Precoz Blanco Dentado	C0	3.5	65	171	3.8	—
	C5	4.5	65	161	3.5	—
	C8	4.8	65	162	3.1	—
	C11	5.1	63	162	3.1	—
	DMS	0.38	0.8	9.0	0.2	—
Precoz Amarillo Cristalino	C0	2.7	65	152	4.1	—
	C5	3.7	66	157	3.9	—
	C8	3.9	64	148	3.6	—
	C11	4.4	62	151	3.3	—
	DMS	0.44	1.6	4.8	0.3	—
Precoz Amarillo Dentado	C0	2.7	65	146	3.8	—
	C5	4.4	66	149	3.4	—
	C8	4.1	65	147	3.2	—
	C11	4.6	62	148	2.9	—
	DMS	0.35	1.0	8.5	0.3	—
Intermedio Blanco Dentado	C0	4.4	73	190	—	31
	C7	4.3	70	169	—	35
	C10	4.6	69	167	—	31
	C15	5.2	67	168	—	24
	DMS	0.37	2.1	4.3	—	—
Intermedio Amarillo Dentado	C0	5.5	72	199	3.5	—
	C7	5.9	69	175	3.2	—
	C12	5.8	71	177	3.1	—
	C16	6.4	70	182	2.8	—
	DMS	0.62	2.2	6.6	0.2	—
Tardío Blanco Cristalino	C0	6.0	73	201	3.4	—
	C7	5.6	71	182	4.3	—
	C11	5.9	70	169	2.9	—
	C15	6.2	70	171	2.7	—
	DMS	0.46	2.0	7.5	0.2	—
Tardío Amarillo Cristalino	C0	4.0	74	201	—	26
	C5	3.9	73	192	—	23
	C9	4.3	71	183	—	22
	C14	4.9	70	186	—	15
	DMS	0.44	1.0	13.4	—	—
Ganancia por ciclo		2.5**	-0.15	-0.35	-1.66	-0.9

[†] DMS= Diferencia mínima significativa a P= 0.05. [§] Escala 1=bueno y 5=pobre. **Significante a P=0.01

CUADRO 2. Progreso de la selección en la población *Compuesto Selección Precoz* para precocidad y otros caracteres agronómicos. Resultados de ensayos conducidos en Ames (U.S.A.), Cali (Colombia), y Chiclayo (Perú).

Ciclo de Selec.	Rendimiento t/ha	Días a flor. fem.	Altura (en cm) de planta mazorca		Area foliar (dm ²)	Mazorcas por planta
C0	3.2	71	209	112	63.0	0.74
C3	2.8	67	193	96	58.2	0.73
C6	3.4	65	192	94	57.4	0.79
C9	3.1	64	188	91	55.3	0.77
C12	3.4	60	176	82	53.4	0.81
C15	3.2	58	172	75	51.0	0.81
DMS(5%)	0.40	2.3	5.6	3.3	2.19	0.05
Ganancia†	NS	-1.0**	-1.2**	-2.0**	-1.3**	0.72**

† Ganancia por ciclo en %. NS=no significante ** Significante a P=0.01

5.3 Selección de familia de hermanos completos

Jinahyon y Moore reportaron en 1973 los resultados de cuatro ciclos de selección. El rendimiento aumentó en 7.9% por ciclo, mientras que la altura de planta y mazorca y el acame disminuyeron. En 1981, Paliwal y Sprague mencionaron ganancias promedio por ciclo para rendimiento en 13 poblaciones de 3.4% con un rango de variación entre 0.8 y 9.8%. Estas ganancias dependen del rendimiento relativo y variabilidad genética de cada población. Darrah (1986) practicó selección de HC por cinco ciclos para mejorar KCA y obtuvo ganancias por año de 3.6% para rendimiento. En 1986 Singh et al publicaron los resultados de cuatro ciclos de selección de HC para prolificidad en una variedad. La respuesta lineal por ciclo para prolificidad fue mayor en bajas densidades (5.5%) que en altas densidades (3.6%). También reportaron una respuesta significativa para rendimiento del 4.5% por ciclo, lo que les permitió concluir que la selección para prolificidad puede ser útil en la selección de materiales de maíz con alto potencial de rendimiento, precoces y de baja estatura.

La selección de HC (SFHC) ha sido muy usada por CIMMYT para mejorar numerosas poblaciones de maíz a través de un sistema de evaluaciones internacionales. En el Cuadro 3 se presentan los resultados del progreso hecho en cuatro poblaciones de madurez intermedia. Las ganancias por ciclo (promedio de las cuatro poblaciones evaluadas en siete ambientes) para rendimiento, días a floración femenina, altura de mazorca y número de mazorcas por planta fueron de 2.11, 0.31, -0.47 y 1.05%, respectivamente

(Pandey et al, 1987).

En otro ensayo usando seis localidades, se evaluaron diferentes ciclos de selección de ocho poblaciones tropicales tardías (Pandey et al, 1986). Las ganancias por ciclo (promedio a través de poblaciones y ambientes) para rendimiento, días a floración, altura de mazorca y número de mazorcas por planta fueron de 1.31, -0.59, -1.77 y 0.87%, respectivamente.

Johnson et al (1986) usaron un sistema modificado de selección de HC para reducir altura de planta en Tuxpeño. Se evaluaron los ciclos C0, C6, C9, C12 y C15 en dos o tres ambientes durante dos años para medir las respuestas directas y correlacionadas a la selección. La selección fue muy efectiva en reducir la altura de planta de 292 a 179 cm (2.4% por ciclo), que fue acompañada por un aumento por ciclo del 4.4% para rendimiento (de 3.2 a 5.4 t/ha), del 4.14% para número de granos/m² (de 1592 a 2667 granos/m²) y 3.1% para índice de cosecha (de 0.30 a 0.45), cuando se usaron densidades de siembra óptimas. La densidad de siembra óptima aumentó en un 2.1% por ciclo (de 48,000 a 64,000 pl/ha). No se observaron cambios en el índice de área foliar, producción de biomasa seca/m², largo efectivo del periodo de llenado de grano y peso de los granos, cuando se usaron las densidades de siembra óptimas.

CUADRO 3. Comportamiento de diversos ciclos de selección en cuatro poblaciones tropicales de madurez intermedia (promedios de siete localidades).

POBLACION	CICLO	RENDIMIENTO	DIAS A	ATURA DE	MAZORCAS/
		(t/ha)	FLOR. FEM.	MAZORCA/CM	PLANTA
Blanco Crist.-1 (Pob. 23)	C0	5.11	64	113	0.91
	C2	5.64	62	103	0.98
	C5	5.29	63	108	0.97
Mezcla Amar. (Pob.26)	C0	4.97	63	108	0.96
	C2	4.64	62	93	0.96
	C5	5.40	60	101	0.98
ETO Blanco (Pop.32)	C0	4.84	64	108	0.88
	C1	5.04	65	111	0.92
	C4	5.47	64	104	0.96
Ant.Rep.Dom. (Pob.35)	C0	4.66	59	94	0.95
	C1	4.53	59	87	0.92
	C4	5.13	59	92	0.98
DMS ¶		0.28	0.7	5	0.04
Ganancia §		2.11	-0.31	-0.47	1.05

¶ Diferencia mínima significativa a P=0.05 para comparaciones entre ciclos dentro de cada población.

§ Ganancia por ciclo en %. Todas las ganancias significativas a P= 0.01.

CUADRO 4. Comportamiento de diferentes ciclos de selección en ocho poblaciones de maíz tropical tardío (promedios de seis localidades).

POBLACION	CICLO	RENDIMIENTO	DIAS A	ATURA DE	MAZORCAS/
		(t/ha)	FLOR. FEM.	MAZORCA(CM)	PLANTA
Tuxpeño-1 (Pob. 21)	C0	5.98	66	112	0.96
	C2	6.04	65	110	0.97
	C5	6.34	66	114	0.96
Mez. Trop. Bl. (Pob.22)	C0	6.09	68	127	0.94
	C2	6.50	66	124	0.95
	C4	6.55	65	119	0.97
Ant. Veracruz-181 (Pob.24)	C0	5.68	67	127	0.96
	C2	5.33	67	117	0.94
	C5	5.76	66	117	0.96
Am. Cristal.-1 (Pob.27)	C0	5.27	68	120	0.94
	C2	5.27	67	123	0.95
	C5	5.75	66	117	1.00
Am. Dentado (Pob.28)	C0	6.02	68	133	0.99
	C2	6.03	66	126	0.96
	C4	6.39	65	115	1.04
Tuxpeño Caribe (Pob.29)	C0	6.20	67	120	0.93
	C2	6.01	66	122	0.92
	C5	6.21	65	111	0.95
Cogollero (Pob.36)	C0	5.71	66	136	0.93
	C2	5.57	66	131	0.98
	C5	6.25	63	114	0.99
La Posta (Pob.43)	C0	6.12	70	146	0.91
	C2	6.26	69	142	0.96
	C4	6.58	67	130	0.98
DMS	¶	0.31	0.8	5	0.04
Ganancia	§	1.31	-0.59	-1.77	0.87

¶ Diferencia mínima significativa a P=0.05 para comparaciones entre ciclos dentro de cada población.

§ Ganancia por ciclo en %. Todas las ganancias significativas a P= 0.01.

En 1987, Fischer et al reportaron los resultados de seis ciclos de SFHC en las poblaciones Tuxpeño-1 y Antigua República Dominicana para reducir el número de ramificaciones en la panoja masculina (NRPM) y densidad del área foliar sobre la mazorca (DAFSM). La selección para cada carácter fue realizada separadamente, mientras que en otra población (ETO Blanco) la selección se realizó en forma simultánea. Para las selecciones individuales de los caracteres se evaluaron Co y C6, mientras que para la selección combinada se evaluaron, Co, C2, C4 y C6 bajo distintas densidades, en tres localidades de México y durante dos años. Las ganancias por ciclo se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Ganancias por ciclo (%) para reducir Número de Ramificaciones de la Panoja Masculina (NRPM), densidad del área foliar sobre la mazorca (DAFSM), rendimiento e índice de cosecha resultantes de la selección en una población para reducir simultáneamente NRPM y DAFSM y en dos poblaciones donde la selección para estos caracteres fue realizada en forma separada †.

Población	Tipo de Selección	NRPM	DAFSM	Rendim. (t/ha)	Índice Cosecha
Tuxpeño-1	Reducir NRPM	-7.4	NS	2.2	2.4
	Reducir DAFSM	-1.2	-3.8	NS	3.8
Ant.Rep.Dom.	Reducir NRPM	-8.6	-1.6	2.4	2.2
	Reducir DAFSM	-5.7	-2.6	2.0	2.2
ETO-Blanco	Combinada	-6.8	-1.8	2.5	2.9

† Valores significantes al nivel de probabilidad del 5%, NS=no significante.

La SFHC también fue usada en CIMMYT para mejorar la tolerancia a la sequía en la población Tuxpeño-1. Durante la estación seca de Tlaltizapán (México) se evaluaron los ciclos Co, C2, C4, C6 y C8 de lo que pasó a llamarse Tuxpeño Selección Sequía (Bolaños y Edmeades, 1987; Bolaños et al, 1990). C8 rindió entre 0.8 y 0.9 t más por ha que Co bajo condiciones ambientales cuyos rendimientos promedios variaron entre 0.5 y 8 t/ha. El C6 no fue significativamente diferente al C8, por lo que se puede asumir que, quizás, la variabilidad genética para tolerancia a la sequía fue reducida en los últimos ciclos de selección. Se observó una

ganancia promedio de 9.5% por ciclo, tal como lo reportaran previamente Fischer et al en 1983. La selección para tolerancia a sequía, también resultó en aumentos del rendimiento en condiciones hídricas óptimas. Resultados similares se obtuvieron cuando una evaluación similar se efectuó en 11 localidades con distintos tipos de problemas hídricos alrededor del mundo (Bolaños et al, 1990). La selección fue acompañada por un aumento de la prolificidad y del índice de cosecha de 1% por ciclo sin afectar biomasa total y reduciendo significativamente el intervalo entre la floración masculina y femenina.

5.4 Selección de familias S1

En 1973, Jinahyon y Moore reportaron un aumento por ciclo de 8.3% en Thai Composite luego de dos ciclos de selección FS1 (SS1). La población mejorada tuvo un acame de solo 17% comparado con el 53% de acame del Co. En otro estudio, se evaluó el progreso luego de nueve y siete ciclos de selección, en la población Thai Composite-1 (posteriormente renombrada como Suwan-1), para rendimiento y resistencia a cenicillas (downy mildews), respectivamente. El rendimiento aumentó en un 5% por ciclo, mientras que la incidencia de plantas enfermas por cenicilla se redujo de un 80% en Co a menos del 5% en C7 (S. Sriwatanapongse, 1990, comunicación personal). Darrah (1986) empleó selección recurrente de S1s para mejorar la población KCA y obtuvo, luego de cinco ciclos de selección, una ganancia por año del 0.9%, sin que se evidenciara cambios en el comportamiento de las cruas entre esta población y su contraparte heterótica.

Gómez (1990) reportó resultados de dos ciclos de selección recurrente para prolificidad en Compuesto 4. Cada ciclo comienza con la selección de plantas prolíficas. Mientras que las mazorcas inferiores se autofecundan, las superiores se dejan para polinización abierta y son, posteriormente, evaluadas para determinar el potencial de rendimiento de cada planta. En una segunda etapa, las familias S1 de las plantas prolíficas selectas se siembran en surcos hembra de parcelas aisladas. El surco macho se siembra con un compuesto balanceado de todas estas FS1. Durante esta fase se selecciona interfamiliarmente para diversos caracteres agronómicos e intrafamiliarmente para prolificidad. Las FMH así obtenidas se siembran mazorca por surco para iniciar el siguiente ciclo de selección. Mediante este sencillo y poco costoso sistema se lograron ganancias significantes por ciclo de 6.7 y 8.2% para rendimiento y prolificidad, respectivamente.

La SS1 ha sido usada por el CIMMYT (De León, 1982) para mejorar la resistencia a cenicillas (downy mildews) y achaparramiento (corn stunt). Los resultados mostraron que los ciclos avanzados de selección en esas poblaciones no sólo tenían mayores niveles de resistencia a estas enfermedades, sino que también mostraron un mayor potencial de rendimiento en presencia, o no, de la respectiva enfermedad. También se han mejorado otros

caracteres agronómicos tales como madurez y altura de planta, y mazorca (Cuadro 6).

CUADRO 6. Progreso en el mejoramiento de la resistencia a cenicillas (*downy mildews*) y achaparramiento (*corn stunt*) en poblaciones de maíz tropical mediante proyectos colaborativos de investigación realizados en Tailandia y El Salvador, respectivamente.

ENFERMEDAD Y POBLACION	CICLO	REACCION A ENFERMEDAD [§]	RENDIMIENTO (t/ha)	ALTURA DE PLANTA (cm)	DIAS A FLOR. FEM
CENICILLAS					
Madurez intermedia, Blanca, y Cristalina.	C0	41.4	3.84	185	68
	C4	0.0	4.40	160	66
Amarilla, Cristalino/ Dentada	C0	67.4	2.68	199	68
	C4	2.6	4.49	183	66
ACHAPARRAMIENTO					
Madurez intermedia, Blanca, y Cristalina.	C0	30.6	3.34	206	49
	C4	21.8	4.12	200	49

§ Expresada en términos de % de plantas afectadas.

En otro estudio, Ceballos y Deutsch (1991) evaluaron el progreso realizado luego de cuatro ciclos de selección recurrente de HC - S1 en ocho pooles subtropicales del CIMMYT. Cuatro de estos pooles son precoces y los restantes cuatro de madurez intermedia a tardía. La selección fue dirigida principalmente para aumentar la resistencia a *Exserohilum turcicum* (Pass.) Leonard & Suggs y *Puccinia sorghi* Schw., sin afectar la madurez de los materiales. Las ganancias promedio por ciclo fueron de 19 y 6% para la resistencia a ambas enfermedades, respectivamente. No hubo cambios en la madurez de los materiales y el potencial de rendimiento, en ausencia de las enfermedades, no se vio mayormente afectado. En presencia de las enfermedades, otras respuestas correlacionadas con la selección fueron una ganancia por ciclo para rendimiento, prolificidad y resistencia al acame de tallo de 19.3, 6.0 y 12.7% para pooles tempranos y de 7.0, 3.2 y 9.9% para pooles intermedios, respectivamente.

5.5 Selección recurrente interpoblacional

En 1970, Vencovsky et al reportaron que el mejoramiento en el comportamiento de la cruz a entre dos poblaciones se había logrado a costa del mejoramiento de las poblaciones per se. Este estudio incluyó SM en Paulista Dent y Cateto Minas Gerais con cinco y tres ciclos de selección, respectivamente. Si bien la heterosis entre ambas poblaciones aumentó al inicio de la selección, disminuyó en C3. La máxima heterosis se alcanzó entre C3 de Paulista y Dent y C1 de Cateto Minas Gerais, mientras que el máximo rendimiento se alcanzó con la cruz a entre C5 de Paulista Dent y C3 de Cateto Minas Gerais, pero sin que hubiera una expresión significativa de heterosis.

Torregroza et al (1972) reportaron que luego de dos ciclos de selección SR-S1 en las poblaciones Harinoso Mosquera y Rocamex V7 se observaron aumentos de 4.5 y 15% por ciclo en los rendimientos de ambas poblaciones, respectivamente, y las cruza s C1 x C1 y C2 x C2 rindieron 32 y 34% más que la cruz a Co x Co. Luego de tres ciclos de selección SR-S1, Gevers reportó en 1974 ganancias por ciclo de 7.1, -0.5 y 3.3% para Teko Yellow, Natal Yellow Horsetooth y la cruz a interpoblacional, respectivamente. En este caso, los progenitores masculinos (plantas usadas como probadores durante cada ciclo de selección) también fueron seleccionados para diversos caracteres agronómicos. Cuando se usó una muestra aleatoria del progenitor masculino, las ganancias por ciclo fueron de 7.5, 7.4 y 5.8%, respectivamente. En 1978 Darrah et al encontraron que, luego de tres ciclos usando este mismo sistema sobre las poblaciones KII y Ec573, el rendimiento de ambas poblaciones había aumentado respectivamente en 0.02 y 0.97 q/ha/año, mientras que el rendimiento de la cruz a entre ambas aumentó 2.09 q/ha/año.

Paterniani y Vencovsky reportaron en 1978 aumentos de rendimiento por ciclo de 3.5% en la cruz a entre las poblaciones Composite Dent y Flint Composite luego de dos ciclos de selección por SR-MH. Los mismos autores también reportaron en 1977 una ganancia de 7.5% en el comportamiento de la cruz a entre Cateto y Piramex usando SR-S1, basados en el resultado de cruzamientos prueba de familias de MH. Ellos estimaron que 4.3% de la ganancia se debe al mejoramiento de las poblaciones per se y 3.2% al aumento de la heterosis en la cruz a interpoblacional. Darrah (1986) comparó tres métodos de selección recurrente (MSM, SS1 y SR-S1) para mejorar KSII y Ec573. Solo esta última población mostró respuestas a la selección de 4.6% por año para MSM y de 3.5% por año para S1. Ninguna de las poblaciones per se respondieron a SR-S1. Mientras que 10 ciclos de selección por MSM y SS1 no mejoraron el comportamiento de la cruz a entre ambas poblaciones, cinco ciclos de SR-S1 sí lograron mejorar la cruz a en un 2.8% por año. Luego, Ochieng y Kamidi (artículo presentado en 1991 para su publicación en Maydica) evaluaron el progreso en ocho ciclos de SR-S1, sobre las mismas poblaciones, durante tres años y en numerosos ambientes. Mientras que no se observó mejoramiento aparente en las poblaciones per se, la cruz a interpoblacional

mejoró en 3.56% por ciclo y la heterosis (porcentaje sobre la media parental) aumentó significativamente ($b=3.804$). La prolificidad aumentó tanto en las poblaciones per se, como en la crusa entre ambas; la madurez no cambió en las poblaciones, pero la crusa resultó ser más temprana; finalmente, la altura de mazorca fue reducida en Ec573 y no cambió en KSII.

6. ALGUNAS CONSIDERACIONES EN LA ORGANIZACION DE UN PROGRAMA EFICIENTE DE MEJORAMIENTO DE MAIZ.

La selección recurrente debe ser una parte integral de cualquier programa de mejoramiento de maiz, sea el producto final a obtener una VPA o algún tipo de híbrido. La acumulación de alelos favorables y de combinaciones favorables de estos en ciclos avanzados de selección los hace, como se pudo apreciar en el punto 5, fuentes apropiadas y superiores para la derivación de líneas endocriadas para la producción de híbridos y de nuevas VPA para su liberación a los agricultores.

En 1967 Eberhart et al sugirieron un sistema de mejoramiento completo, basado en sus experiencias en Kenya, que fue posteriormente discutido por Sprague y Eberhart en 1977. Este sistema tiene tres fases bien diferenciadas: 1) el desarrollo de dos o más poblaciones a partir de diversas fuentes, de modo tal que la crusa entre ellas presente las mejores características posibles y la variancia genética aditiva dentro de cada una de ellas sea máxima; 2) mejoramiento poblacional continuo mediante algún método efectivo de selección recurrente; y, 3) el desarrollo de híbridos superiores a partir de cada ciclo de selección mediante un procedimiento sistemático y eficiente. En 1986, Gardner trató el tema del desarrollo de poblaciones, así como de la integración entre mejoramiento poblacional y actividades orientadas al desarrollo de híbridos, que permitirían finalmente la liberación de cultivares de maiz superiores para los trópicos.

En los PVD, donde la liberación de nuevas VPA puede ser el producto final más adecuado, la selección recurrente intrapoblacional provee de una fuente estable y continua de nuevas variedades con cada ciclo de selección. Numerosas de estas nuevas variedades han sido desarrolladas a partir de grupos de FHC extraídas de poblaciones mejoradas del CIMMYT (Pandey et al, 1986, 1987). Estas poblaciones han estado sujetas a una selección recurrente de HC (o modificaciones de la misma) durante numerosos ciclos. Desafortunadamente, las poblaciones del CIMMYT fueron desarrolladas a partir de fuentes muy amplias, pero ignorando sus respuestas heteróticas. En consecuencia, existe una heterosis interpoblacional pequeña (Crossa et al, 1990b; Beck et al, 1990).

A medida que la agricultura de los PVD mejora, existen más oportunidades e interés para el desarrollo de híbridos comerciales. Sin embargo, las poblaciones con las cuales comenzar

la fase 3 arriba mencionada (de las cuales derivar líneas endocriadas) pueden no estar disponibles. Se ha podido observar numerosos casos de heterosis entre razas, variedades y otro tipo de población de polinización abierta de maíces tropicales y subtropicales (Crossa et al, 1990a; Gardner y Paterniani, 1967; Castro et al, 1968; Paterniani y Lonquist, 1963). Son comunes los estimados de heterosis sobre el mejor padre desde 100 hasta encima de 200%. Este tipo de información es muy valiosa para la formación de dos (o más) poblaciones de cría sobre las cuales podría eventualmente usar selección recíproca. Poblaciones así desarrolladas se pueden mejorar para que sean, no solo excelentes fuentes de líneas endocriadas para la formación de híbridos, sino también de buenas VPA. La principal razón por la cual la selección recíproca no ha sido usada por CIMMYT es que su principal objetivo ha sido el de desarrollar VPA, por lo que resulta difícil justificar el costo de mejorar simultáneamente dos poblaciones, en vez de una sola.

Las comparaciones entre métodos de selección intra e interpoblacional que se han realizado indican que, en los ciclos iniciales, la selección actúa principalmente sobre efectos genéticos aditivos en ambos sistemas de mejoramiento, con algunos efectos de dominancia parcial o total. En principio, ambos sistemas parecen ser igualmente efectivos en el mejoramiento de las cruzas interpopulacionales (Moll y Stuber, 1971; Odhiambo y Compton, 1989). Al mismo tiempo, la selección intrapoblacional es más eficiente en mejorar el comportamiento de las poblaciones per se, y en el caso de SS1, se puede reducir la depresión por endocria y mejorar los comportamientos per se de progenies endocriadas (Odhiambo y Compton, 1989). La SS1 también es efectiva en el mejoramiento de la resistencia a insectos, enfermedades y de la tolerancia a limitantes de tipo ambiental. Por lo tanto, y teniendo en cuenta que los sistemas de selección recíproca son más complicados y costosos de manejar, es razonable usar una SS1 en cada una de las dos poblaciones en los primeros ciclos de selección para, luego de unos cinco ciclos, cambiar a alguno de los sistemas de selección recíproca de hermanos completos, cuando las ganancias debido a efectos epistáticos de sobredominancia y dominancia tienden a tener una importancia relativamente mayor. Para aquellos caracteres de alta heredabilidad, unos pocos ciclos de selección intrapoblacional deberían ser altamente efectivos.

Jones et al (1971) proveyó evidencias respecto a las ventajas de los métodos de selección recíproca de hermanos completos sobre los de medios hermanos. Una ventaja adicional es que el proceso incluye la obtención de nuevos pares recíprocos de líneas S1 cada ciclo, que, posteriormente, pueden desarrollarse y ser usadas en combinaciones híbridas.

En trabajos de mejoramiento internacional, donde la evaluación adecuada de FS1 en ciclos iniciales es un tanto difícil, se pueden evaluar y seleccionar familias de hermanos completos, siempre que la obtención de los mismos incluya

autofecundaciones para la obtención de FS1, con selección de plantas dentro de las FS1 (Pandey *et al*, 1986). Esto debería ser suficiente para mejorar la tolerancia a la depresión por endocria en aquellos casos en que la selección recurrente está totalmente integrada al programa de desarrollo de híbridos.

En estudios genéticos básicos, diseñados para la obtención de información acerca de parámetros poblacionales y de cómo estos se ven influidos por la selección, es esencial el uso de poblaciones cerradas. Sin embargo, en cualquier programa de mejoramiento de maíz, donde el objetivo final es la liberación de nuevos cultivares (sean estos VPA o híbridos), no existe razón alguna para mantener la población cerrada. Se puede introgresar continuamente nuevo germoplasma que sea promisorio, tal como CIMMYT ha hecho en numerosas oportunidades. En programas de selección recíproca, estas introgresiones deben hacerse teniendo en cuenta los patrones heteróticos.

7. CONCLUSIONES

Se espera que la demanda total anual de maíz entre el periodo comprendido por los años 1985 y 2000 aumente en un promedio de 3.5% por año en los PVD (1.6% en la demanda para alimentación humana y 4.9% para la alimentación animal). También se espera que, durante el mismo periodo y en los mismos países, la producción de maíz aumente alrededor de 3.6% por año. A pesar que este crecimiento es menor al alcanzado entre los años 1970-1985 (4.0%), será aún superior a la tasa de crecimiento de la población, la cual se calcula que será del 2% para el periodo 1985-2000. Si bien el aumento de los rendimientos ha sido extraordinario, y a pesar de cierto aumento del área sembrada con maíz en los últimos decenios, los PVD tuvieron que importar cada año, 11 millones de toneladas de maíz (periodo 1986-1988). Estas importaciones son de tal magnitud que se espera que sean una de las fuentes del aumento en la demanda de maíz en el mundo más importantes (CIMMYT, 1989).

Para la mayoría de los PVD, la importación de maíz es demasiado costosa, por lo que el uso de germoplasma mejorado debería jugar un papel preponderante en el aumento de la producción de maíz, necesaria para reducir estas importaciones. Se reconoce que las prácticas agronómicas en el cultivo de maíz en los trópicos son, generalmente, deficientes. Técnicas avanzadas de producción permitirían un gran aumento inicial de la productividad, pero a medida que estas son aceptadas, implementadas y mejoradas, mayores esfuerzos en mejoramiento serán requeridos no solo para aumentar la productividad per se, sino también para adaptar el maíz a esas nuevas prácticas culturales. El potencial de rendimiento de los maíces tropicales debe aumentarse mediante la eficiencia en la producción de granos, medida en el tiempo y en el espacio. Se debe enfatizar la selección para caracteres morfológicos deseables tales como mayor

índice de cosecha, intervalo de floración masculina y femenina reducido o nulo, aumento de la eficiencia en la absorción y utilización de nutrientes, etc. El aumento en la demanda de alimentos ha estimulado que la agricultura se introduzca en zonas marginales, con lo que se está forzando al maíz para que crezca en condiciones ambientales cada vez más desfavorables. No se espera que esta tendencia cambie en el corto plazo. Por todas estas razones, los esfuerzos tanto en mejoramiento como en técnicas de manejo de cultivo deben apuntar a la reducción de la disminución de los rendimientos por malezas, enfermedades, insectos, sequía y toxicidades o deficiencias de nutrientes minerales. Finalmente, se deben desarrollar nuevas tecnologías, más eficientes, para la conservación, regeneración y evaluación de germoplasma.

El mejoramiento de la capacidad técnica de aquellos científicos que trabajan en maíz en PVD, les permitiría hacer un uso más eficiente de los generalmente limitados recursos con que se cuenta, mediante una selección más apropiada del germoplasma y de los métodos de mejoramiento y evaluación a usar. Sin embargo, es razonable esperar un pobre desarrollo de nuevas tecnologías de avanzada en los PVD, debido a la general disminución de los presupuestos para investigación agrícola en la región. Estos países, por tanto, tenderán a ser más bien importadores y modificadores de tecnologías de avanzada (uso de computadoras, biotecnología, etc.) originadas en los países desarrollados. Si bien las técnicas tradicionales seguirán teniendo un rol muy importante en el mejoramiento del maíz, se puede prever una creciente contribución de la biotecnología, en especial, en lo que se refiere al mejoramiento de la tolerancia a estreses de diverso origen.

La producción de semilla de VPA y de híbridos en los PVD es también inadecuada, lo que reduce el impacto que la investigación en maíz puede tener en la productividad agrícola. En el año 1988 el área sembrada en los países en desarrollo con variedades de polinización abierta fue de 14%, con híbridos de 39%, y con maíces criollos de 47% (CIMMYT, 1990). En numerosas áreas y países donde las empresas privadas no invierten por no existir cierta seguridad de ganancias, el sector público debe asumir un papel más preponderante, al menos por algún tiempo. Esto, junto a una política razonable sobre la disponibilidad del germoplasma desarrollado por el sector público a las empresas privadas, debería estimular y facilitar, un posterior involucramiento del sector privado en esas áreas o países.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AKPOSOE, M.K. and EDMEADES, G.O. 1981. Second annual report 1980. Part 2. Research results. Unpublished report to the Canadian International Development Agency, Ottawa.
- AMPOFO, J.K.O. and SAXENA, K.N. 1987. In "Toward Insect Resistant Maize for the Third World". CIMMYT, El Batán, México.

- AMPOFO, J.K.O. et al. 1986. *Maydica* 31, 379-389.
- ANDERSON, E. 1945. *Chron. Bot.* 9,88-92.
- ANDERSON, E. and CUTLER, H.C. 1942. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 26, 69-89.
- ARBOLEDA-RIVERA, F. and COMPTON, W.A. 1974. *Theor. Appl. Genet.* 44,77-81.
- AZOFEIRA, J.G. and JIMENEZ, K.M. 1988. *Proc. XXXV Reunión PCCMCA, San Pedro Sula, Honduras, April 2-7.*
- BAJET, N.B. and RENFRO, B.L. 1989. *Plant Disease* 73,926-930.
- BARROW, M.R. 1987. In "Toward Insect Resistant Maize for the Third World". CIMMYT, El Batan, Mexico.
- BEADLE, G.W. 1989. *J. Hered.* 30,245-247.
- BECK, D.L., VASAL, S.K. and CROSSA, J. 1990. *Maydica* 35,279-285.
- BJARNASON, M. 1986. In "Proc. of the first Eastern, Central, and Southern African Regional maize workshop". CIMMYT, El Batan, Mexico.
- BJARNASON, M. 1990. *Proc. XVIII Congreso Nacional de Maiz y Sorgo, Vitoria-ES, Brazil, julio 29 - agosto 3, 1990.*
- BOLANOS, J. and EDMEADES, G.O. 1987. *Agron. Abstr.* p.88.
- BOLANOS, J., EDMEADES, G.O. y MARTINEZ, L. 1990. *Proc. XVIII Congreso Nacional de Maiz y Sorgo, Vitoria-ES, Brazil, julio 29 - agosto 3, 1990.*
- BORGES, O.L.F. 1987. *Crop Sci.* 27,178-180.
- BOSQUEZ-PEREZ, N.A. et al. 1987. In "Toward Insect Resistant Maize for the Tropics". CIMMYT, El Batan, Mexico.
- BREWBAKER, J.L. 1974. *Proc. 29th Annual Corn and Sorghum Conf., Am. Seed Trade Assoc.* p. 118-130.
- BREWBAKER, J.L. 1984. In "A multidisciplinary approach to agrotechnology transfer". G. Uehara (ed.). Hawaii Inst. Trop. Human Resources Res. Ext. Ser 26, March, 1984.
- BREWBAKER, J.L. 1985. In "Breeding strategies for maize production improvement in the tropics". A. Brandolini and F. Salamini (Eds.). FAO, Rome.
- BREWBAKER, J.L. and KIM, S.K. 1979. *Crop Sci.* 19,32-36.
- BRIM, C.A. 1966. *Crop Sci.* 6,220.

- BRUNINI, O., MIRANDA, L.T. and SANAZAKI, F. 1985. Les Besoins en Eau des Cultures, INRS, Paris. 205-?
- CASTELLANOS, J.S. et al. C. 1987. Proc. XXXIII Reunión Anual del PCCMCA, Guatemala, 1987.
- CASTRO, M., GARDNER, C.O. and LONNQUIST, J.H. 1968. Crop Sci. 8:97-101.
- CEBALLOS, H. and DEUTSCH, J.A. 1989. Proc. X Congreso ASCOLFI - V Reunión ALF - XXIV Reunión APS - Caribbean division, Cali, Colombia. July 1989.
- CEBALLOS, H. and DEUTSCH, J.A. 1991. Crop Sci.
- CHANG, Shin-Chi. 1972. Proc. Asian corn impr. workshop 8,114-115.
- CHATTERJI, S.M. et al. 1971. Indian J. Ent. 33,209-213.
- CHUTKAEW, C. and THIRAPORN, R. 1987. Proc. Asian Regional Maize Workshop, Jakarta and East Java, April 27 - May 4, 1986. (ed. R.N. Wedderburn and C. De Leon), pp. 104-114. CIMMYT.
- CIMMYT. 1974. Symposium proceedings on World - wide maize improvement in the 70's and the role for CIMMYT. El Batan, Mexico.
- CIMMYT. 1981. CIMMYT report on maize improvement 1978 - 1979. CIMMYT, El Batan, Mexico.
- CIMMYT. 1984. CIMMYT maize facts and trends Report 2: An analysis of changes in the world food and feed uses of maize. CIMMYT, El Batan, Mexico.
- CIMMYT. 1987. 1986 CIMMYT world maize facts and trends: The economics of commercial maize seed production in developing countries. El Batan, Mexico, D.F.
- CIMMYT. 1988. CIMMYT Reseña de la investigación. El Batan, Mexico.
- CIMMYT. 1989. Towards the 21st Century: CIMMYT's strategy. Mexico, D.F.
- COMPTON, W.A. and COMSTOCK, R.E. 1976. Crop Sci. 16,122.
- COMPTON, W.A. and LONNQUIST, J.H. 1982. 22,981-983.
- COMSTOCK, R.E. 1979. Crop Sci. 19:881-886.
- COMSTOCK, R.E. and MOLL, R.H. 1963. In "Statistical Genetics and Plan Breeding". Eds. W.D. Hanson and H.F. Robinson. Publ. 982. NAS-NRC, U.S.A.

- COMSTOCK, R.E., ROBINSON, H.F. and HARVEY, P.H. 1949. *Agron. J.* 41,360-367.
- CORDOVA, H.S. 1990. Proc. XXXVI Reunión del PCCMCA, San Salvador, El Salvador, March 260-30, 1990.
- CORDOVA, H.S. et al. 1980. Proc. XXXVI Reunión PCCMCA, Guatemala, Guatemala.
- CORDOVA, H. et al. 1989. CIMMYT 1989 Annual Report, El Batán, Mexico.
- CORDOVA, H.S. et al. 1979. Proc. XXV Reunión PCCMCA. Tegucigalpa, Honduras.
- CRAMER, H.H. 1967. "Defensa vegetal y cosecha mundial". Bayerischer Pflanzenschutz, Leverkusen, Germany. p. 179.
- CROSSA, J., TABA, S. and WELLHAUSEN, E.J. 1990a. *Crop Sci.* 30, 1182-1190.
- CROSSA, J., VASAL, S.K. and BECK, D.L. 1990b. *Maydica* 35,273-278.
- DABROWSKY, Z.T. 1987. In "Toward Insect Resistant Maize for the Tropics". CIMMYT, El Batán, Mexico.
- DARRAH, L.L. 1986. In "to feed ourselves". Proc. I Eastern, Central, and Southern Africa Regional Maize Workshop, Lusaka, Zambia. 10-17 Mar. 1985. CIMMYT, El Batán, Mexico. p. 160-175.
- DARRAH, L.L., EBERHART, S.A. and PENNY, L.H. 1978, *Euphytica* 27, 191- 204.
- DE LEON, C. 1982. Proc. X Reunión de especialistas en maíz de la Zona Andina. April, 1982, Santa Cruz, Bolivia.
- DE LEON, C. and PANDEY, S. 1989. *Crop Sci.* 29,12-17.
- DE LEON, D.G. et al. 1990. *Agron. Abstr.* p. 196.
- DELGADO, H.L.V. and MARQUEZ, F.S. 1984. *Agrociencia* 58,29-43.
- DIENER, U.L. and DAVIS, N.D. 1987. In "Aflatoxin in Maize", M.S. Zuber, E.B. Lillehoj, and B.L. Renfro (Eds.). A proceeding of the workshop, CIMMYT, Mexico, D.F.
- DIWAKAR, M.C. and PAYAK, M.M. 1975. *Indian Phytopath.* 18,548-549.
- EBERHART, S.A. 1970. *Afr. Soils* 15,669-680.
- EBERHART, S.A. and RUSSELL, W.A. 1966. *Crop Sci.* 6,36-40.

- EBERHART, S.A. and HARRISON, M.N. 1973. East African Agric. For. res. J. 39,12-16.**
- EBERHART, S.A., HARRISON, M.N. and OGADA, F. 1967. Zuchter 37,169-174.**
- EDMEADES, G.O. and LAFITTE, H.R. 1987. CIMMYT Research Highlights 1986. CIMMYT, El Batan, Mexico.**
- EDMEADES, G.O. and TOLLENAAR, M. 1990. In "Genetic and cultural improvements in maize production". S.K. Sinha, P.V. Sane, S.C. Bhargava, P.K. Agrawal (Eds). Proc. International Congress of Plant Physiology, February 15-20, 1988, New Delhi. p. 164-180.**
- EDMEADES, G.O. et al. 1989. In "Drought resistance in cereals-Theory and practice". F.W.VGVV. Baker (Ed.). ICSU Press, Paris.**
- FASOULAS, A. 1976. Principles and methods of plant breeding. Pub. No. 7, Dept. of Genetics and Plant Breeding, Aristotelian University of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece.**
- FASOULAS, A. 1977. Field designs for genotypic evaluation and selection. Pub. No. 8, Dept. of Genetics and Plant Breeding, Aristotelian University of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece.**
- FALUYI, J.O. and OLORODE, O. 1984. Theor. Appl. Genet. 67,341-344.**
- FISCHER, K.S., JOHNSON, E.C. and EDMEADES, G.O. 1983. Breeding and selection for drought resistance in tropical maize. CIMMYT, El Batan, Mexico, 19p.**
- FISCHER, K.S., EDMEADES, G.O. and JOHNSON, E.C. 1987. Crop Sci. 27,1150-1156.**
- FREDERIKSEN, R.A. and RENFRO, B.L. 1977. Ann. Rev. Phytopath. 15,249-275.**
- GAMEZ, R. 1980. Tropical pest management 26,26-33.**
- GARDNER, C.O. 1961. Crop Sci. 1,241-245.**
- GARDNER, C.O. 1978. In "Maize breeding and genotics". D.B. Walden (ed). John Wiley and Sons, Inc., New York, NY, pp 207-228.**
- GARDNER, C.O. 1986. Proc. XII Reunión de Maiceros de la zona Andina, CIMMYT, El Batan, Mexico. pp 8-18.**
- GARDNER, C.O. et al. 1990. Final report to USAID, UNL/IANR/ARD Project NEB 12-159. University of Nebraska, Lincoln.**

- GENTER, C.F. 1976. Crop Sci. 16,556-558.**
- GEVERS. H.O. 1974. Proc. V Genet. Congr. Repub. South Africa.**
- GOODMAN, M.M. 1988. CRC Critical Reviews in Plant Sciences. 7,197-220.**
- GOODMAN, M.M. and BROWN, W.L. 1988. In "Corn and corn improvement". G.F. Sprague and J.W. Dudley (Eds.). 3rd ed. Agronomy monograph, ASA, Madison, WI.**
- HAKIM, R. and DHALAN, M. 1973. Proc. Inter-Asian Corn Imp. Workshop 9,54-58.**
- HALLAUER, A.R. and EBERHART, S.A. 1970. Crop Sci. 10,315-316.**
- HALLAUER, A.R. and MIRANDA, J.B. Fo. 1988. "Quantitative genetics in maize breeding". Second edition. Iowa State University Press, Ames.**
- HALLAUER, A.R., RUSSELL, W.A. and LAMKEY, K.R. 1988. In "Corn and corn improvement". G.F. Sprague and J.W. Dudley (eds), 3rd ed. Agronomy Monograph 18,463-565. ASA, Madison, WI.**
- HAMILTON, P.B. 1987. In "Aflatoxin in Maize". M.S. Zuber, E.B. Lillehoz, and B.L. Renfro (Eds.). Proc. workshop, CIMMYT, Mexico, D.F.**
- HANDOO, M.I., RENFRO, B.L. and PAYAK, M.M. 1970. Indian Phytopath. 23,231-249.**
- HARDACRE, A.K. and EAGLES, H.A. 1980. Crop Sci. 20,780-784.**
- HARDACRE, A.K., EAGLES, H.A. and GARDNER, C.O. 1990. Maydica 35,215-219.**
- HOOKE, A.L. and LE ROUX, P.M. 1967. Phytopath. 47,187-191.**
- HOPKINS, C.G. 1899. Illinois Agric. Exp. Stn Bull. 55,205-240.**
- HORNER, E.S., Lundy, H.W., Lutrick, M.C., and Wallace, R.W. 1963. Crop Sci. 3,63-66.**
- HORNER, E.S. et al. 1973. Crop Sci. 13,485-489.**
- HULL, F.H. 1945. Agron J. 37,134-145.**
- HULL, F.H. 1952. In "Heterosis". J.W. Gowen (Ed.), Iowa State Univ. Press, Ames.**
- IVBIJARO, M.F. 1981. J. agric. Sci. Camb. 96,479-481.**
- JENKINS, M.T. 1940. Agron J. 32,55-63.**

- JINAHYON, S. 1973. Proc. Inter-Asian corn impr. workshop 9,30-39.
- JINAHYON, S. and MOORE, C.L. 1973. Agron. Abstr. P. 7.
- JOHNSON, E.C. 1963. Am. Soc. Agron. Abstr. P. 82.
- JOHNSON, E.C. et al. 1986. Crop Sci. 26,253-260.
- JONES, L.P., COMPTON, W.A. and GARDNER, C.O. 1972. Theo. Appl. Genet. 41,36-39.
- KANEKO, K. and ADAY, B.A. 1980. Crop Sci. 20,590-594.
- KHAN, A.Q. and PALIWAL, R.L. 1980. Indian J. Genet. and Plant Breeding 40,427-431.
- KIM, S.K. et al. 1982. J. Am. Soc. Agron. (Bastr.) p. 72.
- KIM, S.K. et al. 1989. Crop Sci. 29,890-894.
- KIM, S.K. et al. 1990. Combining ability estimates for tropical maize germplasm in West Africa. In Press.
- LIMA, M. and PATERNIANI, E. 1977. Rel. Cient. Dept. Genet. ESALQ, Piracicaba 11,82-83.
- LIMA, E., PATERNIANI, E. and MIRANDA, J.B. Fo. 1974. Rel. Cient. Inst. Genet. (ESALQ-USP) 8,78-85.
- LONDONO, N.R. and ANDERSEN, P.P. 1975. Serie ES-No. 18, CIAT, Cali, Colombia.
- LONNQUIST, J.H. 1964. Crop Sci. 4,227-228.
- LONNQUIST, J.H. and WILLIAMS, N.E. 1967. Crop Sci. 7,369-370.
- MACHADO, A.T. and PATERNIANI, E. 1988. Proc. XVII Congreso Nacional de Milho e Sorgo, Piracicaba, Brazil.
- MACHADO, A.T. et al. 1990. Proc. XIV Reunión de Maiceros de la Zona Andina and I Reunión Suramericana de Maiceros. September 17-21, 1990, Maracay, Venezuela.
- MAGNAVACA, R. 1983. Diss. Abstr. 43, 7, 2-73B.
- MAGNAVACA, R., GARDNER, C.O. and CLARK, R.B. 1987a. In "Genetic aspects of plant mineral nutrition". W.H. Gabelman and B.C. Loughman (Eds), Martinus Nijhoff, The Hague, The Netherlands, pp. 189-199.
- MAGNAVACA, R., GARDNER, C.O. and CLARK, R.B. 1987c. In "Genetic aspects of plant mineral nutrition". W.H. Gabelman and B.C. Loughman (Eds), Martinus Nijhoff, The Hague, The Netherlands, pp. 225-265.

- MANGELSDORF, P.C. and REEVES, R.G. 1939. Texas Agric. Exp. Stn. Bull. 574.
- MASHINGAIDZE, K. 1984. Zimbabwe agric. J. 81,147-152.
- McMILLIAN, W.W. 1987. In "Aflatoxin in Maize". M.S. Zuber, E.B. Lillehoz, and B.L. Renfro (Eds.). Proc. workshop, CIMMYT, Mexico, D.F.
- MIEDERNA, P. 1979. Euphytica 28,661-664.
- MIHM, J.A. 1987. In "Toward Insect Resistant Maize for the Third World". CIMMYT, El Batan, Mexico.
- MIRANDA, J.B. Fo. 1985. In "Breeding strategies for maize production improvement in the tropics". A. Brandolini and F. Salamini (Eds.). FAO, Rome.
- MIRANDA, L.T. 1982. Maize Genet. Coop. Newslett. 56,28-?
- MIRANDA, L.T. et al. 1977. Bragantia 36,187-196.
- MOLINA, J.D. 1980. Agrociencia 42,67-76.
- MOLL, R.H. and ROBINSON, H.F. 1966. Crop Sci. 6,319-324.
- MOLL, R.H. and STUBER, C.W. 1971. Crop Sci. 11,706-711.
- MONTGOMERY, E.G. 1909. Experiments with corn. Univ. of Nebr. Agric. Exp. Sta. Bull. 112.
- MUNOZ, O.A. et al. 1983. Agrociencia 51,115-153.
- NARRO, L.N. 1988. Ph.D. thesis. Iowa State University, Ames, Iowa.
- NASPOLINI, V. et al. 1981. Cienc. Cult. 33,722-?
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1988. Quality-Protein Maize. National Academy Press, Washington, D.C. 100p.
- OCHIENG, J.A.W. and KAMIDI, R.E. 1991. Maydica (submitted).
- ODHIAMBO, M.O. and COMPTON, W.A. 1989. Crop Sci. 29,314-319.
- OMOLO, E.O. 1983. Insect Sci. Appl. 4,105-108.
- OVERDAL, A.C. and ACKERSON, K.T. 1972. Agricultural soil resources of the world. U.S.D.A. Soil Conservation Service, Washington, D.C.
- PALIWAL, R.L. and SPRAGUE, E.W. 1981. Improving adaptation and yield dependability in maize in the developing world. CIMMYT, El Batan, Mexico.

- PANDEY, S., VASAL, S.K. and DEUTSCH, J.A. 1991. *Crop Sci.* 31, 285-290.
- PANDEY, S. et al. 1987. *Crop Sci.* 27,617-622.
- PANDEY, S. et al. 1984. *Genetika (Yugoslavia)* 16,23-42.
- PANT, J.C., KAPOOR, S. and PANT, N.C. 1964. *Indian J. Ent.* 26,434-437.
- PATERNIANI, E. 1964. *Fitotec. Latinoam.* 1,15-?
- PATERNIANI, E. 1967. *Crop Sci.* 7,212-216.
- PATERNIANI, E. 1968. *Catedra Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz/USP, Piracicaba.* 92p.
- PATERNIANI, E. 1970. *Rel. Cient. Inst. Genet. ESALQ/USP,* 4,83.
- PATERNIANI, E. 1978. *Maydica* 23,29-34.
- PATERNIANI, E. 1985. In "Breeding strategies for maize production improvement in the tropics". A. Brandolini and F. Salamini (Eds.). FAO, Rome.
- PATERNIANI, E. 1990. *CRC Critical Reviews in Plant Sciences* 9,125-154. CRC Press, Inc. Boca Raton, FL.
- PATERNIANI, E. and GARDNER, C.O. 1967. *Ciencia e Cultura* 19:95-101.
- PATERNIANI, E. and LONNQUIST, J.H. 1963. *Crop Sci.* 3,504-507.
- PATERNIANI, E. and GOODMAN, M.M. 1977. *Races of maize in Brazil and adjacent areas.* CIMMYT, El Batan, Mexico.
- PATERNIANI, E. and VENCOVSKY, R. 1977. *Maydica* 22,141-152.
- PATERNIANI, E. and VENCOVSKY, R. 1978. *Maydica* 23,209-219.
- PAYAK, M.M. and RENFRO, B.L. 1966. *Indian Phytopath.* 19,121-132.
- PAYAK, M.M. and SHARMA, R.C. 1985. *Trop. Pest Manage.* 31,302-310.
- PEREZ, C. et al. 1988. *Proc. XXXV Reunión PCCMCA, San Pedro Sula, Honduras, April 2-7, 1988.*
- PIER, A.C. 1987. In "Aflatoxin in Maize". M.S. Zuber, E.B. Lillehoz, and B.L. Renfro (Eds.). *Proc. workshop, CIMMYT, Mexico, D.F.*
- POEY, F.R. et al. 1977. *Agron. Abstr.* p.44.
- RENFRO, B.L. 1985. In "Breeding strategies for maize production

- improvement in the tropics". A. Brandolini and F. Salamini (Eds.). FAO, Rome.
- RENPRO, B.L. and ULLSTRUP, A.J. 1976. PANS 22,491-498.
- RUSELL, W.A. and EBERHART, S.A. 1975. Crop Sci. 15,1-4.
- RUSELL, W.A., EBERHART, S.A. and VEGA, U.A. 1973. Crop Sci. 13, 257- 261.
- SANCHEZ, H.C. 1990. Proc. XIV Reunión de Maiceros de la Zona Andina y I Reunión Suramericana de Maiceros. Sept. 17-21, 1990, Maracay, Venezuela.
- SANCHEZ, P.A. 1977. In "Int. seminar on soil, enviroment, and fertility management in intensive agriculture". Tokyo. pp. 535-566.
- SANTOS, M.X. and NASPOLINI-FILHO, V. 1986a. Braz. J. Genetics IX,307-319.
- SANTOS, M.X. and NASPOLINI-FILHO, V. 1986b. Pesq. Agropec. Bras. 21,739-746.
- SANTOS, M.X., GERALDI, I.O. and DE SOUZA, C.L. 1988. Pesq. agropec. Bras. 23,519-523.
- SARUP, P. 1980. In "Breeding, production, and protection methodologies of maize in India". J. Singh Ed. All India Coordinated Maize Improvement Project, IARI, New Delhi. 193-197p.
- SAWAZAKI, E. 1979. Mestrado Escol. Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, Piracicaba. 90p.
- SEGOVIA, R.T. 1976. Tese de Doutoramento, ESALQ-USP, Piracicaba, Brazil.
- SEVILLA, R. 1975. Inf. Maiz 5,11.
- SHORT, K., WEDDERBURN, R. and PHAM, H. 1990. Proc. IX South African Maize Breeding Symposium, Pietermaritzburg, March 20-22, 1990.
- SINGBURAUDOM, N. and RENPRO, B.L. 1982. Crop Protection 1,323-332.
- SINGH, M., KHERA, A.S. and DHILLON, B.S. 1986. Crop Sci. 26,275-278.
- SINGH, P. 1979. Ph. D. thesis submitted to G.B. Pant Univ. of Agric. and Tech. Pantnagar, India. 82 pp.
- SMITH, M.E., MIHM, J.A. and JEWELL, D.C. 1987. In "Toward Insect Resistant Maize for the Third World". CIMMYT, El Batán,

Mexico.

- SOSA, G., EATON, D. and BYRNE, P. 1990. Agron. Abstr. p. 111.
- SPRAGUE, E.W. 1974. Proc. World-wide maize improvement in the 70's and the role for CIMMYT. El Batan, Mexico.
- SPRAGUE, G.F. and EBERHART, S.A. 1977. In "Corn and corn improvement". G.F. Sprague (ed), ASA, Madison, WI.
- STOREY, H.H. and HOWLAND, A.K. 1967. Ann. Appl. Biol. 59,429.
- STRAUB, R.W. and FAIRCHILD, M.L. 1970. J. Econ. Entomol. 63,1901-1903.
- THOME, C.R., SMITH, M.E. and MIHM, J.A. 1990. Agron. abstr. p.113.
- TORREGROZA, M. 1973. Agron. Abstr. p. 16.
- TORREGROZA, M. et al. 1972. Agron. Abstr. p. 20.
- TORREGROZA, M. et al. 1976. Inf. Maiz 26,12-13.
- TROYER, A.F. and BROWN, W.L. 1972. Crop Sci. 12,301-304.
- TROYER, A.F. and BROWN, W.L. 1976. Crop Sci. 16,767-772.
- USUA, E.J. 1986. Econ. Ent. 61,375-376.
- VARGAS-SANCHEZ, J.E. 1990. Ph.D. thesis, Iowa State University, Ames.
- VASAL, S.K., BECK, D.L. and CROSSA, J. 1987. CIMMYT Research Highlights 1986. CIMMYT, El Batan, Mexico.
- VASAL, S.K., MOORE, C.L. and PUPIPAT, U. 1970. SABRAO Newsletter, Mishima 2,81-89.
- VASAL, S.K., ORTEGA, A.C. and PANDEY, S. 1982. CIMMYT's maize germplasm management, improvement, and utilization program. CIMMYT, El Batan, Mexico.
- VASAL, S.K., VILLEGAS, E. and TANG, C.Y. 1984. In "Panel Proc. series: Cereal grain protein improvement". pp. 167-189. 6-10. December, 1982. IAEA, Vienna, Austria.
- VENCOVSKY, R., SINSLY, J.R. and VELLO, N.A. 1970. Abstr. 8 Reun. Bras. Milho.
- VILLENA, W. 1965. Proc. XI Reunión PCCMCA, Panamá 16-19 March, 1965.
- WAISS, A.C. et al. 1979. J. Econ. Ent. 72,256-258.

- WEATHERWAX, P. 1955. In "corn and corn improvement", G.F. Sprague, ed., pp. 1-16. Acad. Press, New York.
- WIDSTROM, N.W. 1972. Crop sci. 12,245-247.
- WIDSTROM, N.W. 1987a. In "Toward Insect Resistant Maize for the Third World". CIMMYT, El Batan, Mexico.
- WIDSTROM, N.W. 1987b. In "Aflatoxin in Maize". M.S. Zuber, E.B. Lillehoj, and B.L. Renfro (Eds.). A proceeding of the workshop, CIMMYT, Mexico, D.F.
- WIDSTROM, N.W. and HAMM, J.J. 1969. Crop Sci. 9,216-219.
- WIDSTROM, N.W., WISER, W.J. and BAUMAN, L.F. 1970. Crop Sci. 10,674-676.
- WIDSTROM, N.W., WISEMAN, B.R. and McMILLIAN, W.W. 1982. Crop Sci. 22,843-846.
- WILLIAMS, W.P. and DAVIS, F.M. 1985. Crop Sci. 25,317-319.
- WILLIAMS, W.P. and DAVIS, F.M. 1987. In "Toward Insect Resistant Maize for the Third World". CIMMYT, El Batan, Mexico.
- WILLIAMS, W.P., DAVIS, F.M. and SCOTT, G.E. 1978. Crop Sci. 18,861- 863.



LABORES CULTURALES

Américo Valdez M.*

Las labores culturales del cultivo de maíz dependen del sistema de producción y el tipo de agricultura desarrollada o tradicional. Cada sistema de producción tiene formas distintas de cultivo; sin embargo, se pueden hacer algunas generalizaciones, describiendo las labores en cada una de las etapas de desarrollo de la planta.

El cultivo del maíz sigue un ciclo desde la siembra hasta el momento de la cosecha del grano maduro y seco, que se conoce como "periodo vegetativo", expresado en número de días. El periodo vegetativo es una característica que depende de cada variedad y es influenciada por el ambiente; especialmente por la temperatura.

Es muy importante conocer e identificar las diferentes etapas de desarrollo o crecimiento de la planta a través del periodo vegetativo; porque muchas de las labores de manejo tienen relación con algunas de estas etapas.

1. PRIMERA ETAPA

Siembra

La primera etapa empieza cuando el grano de maíz se siembra en el suelo húmedo, inmediatamente absorbe el agua a través de la cubierta y el grano comienza a hincharse, iniciándose en su interior los cambios químicos que van a dar lugar a la germinación.

Para el éxito de esta etapa es necesario que se cumplan 3 condiciones fundamentales: Haber preparado el terreno en la mejor forma posible; haber sembrado semilla de buena calidad; que el suelo contenga la suficiente humedad.

Preparado el terreno, el siguiente paso es la siembra del maíz. En esta labor deben considerarse los siguientes aspectos:

- . Epoca de siembra
- . Tipo de semilla, selección y preparación
- . Métodos de siembra

* Ing. Agr. M.C. Profesor Principal de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

a. Época de siembra

La época o momento adecuado de la siembra del maíz está íntimamente asociada a la disponibilidad de la humedad en el suelo y durante el desarrollo vegetativo del cultivo, así como también está relacionada con la temperatura.

La época de siembra también puede variar dependiendo del objeto del cultivo, es decir, según el producto sea destinado a la producción de grano, para consumo fresco (choclo o chocado) o para forraje verde.

El primer factor determinante es la humedad, sea esta que provenga del riego o de la lluvia. En las zonas que disponen de riego suplementario, los periodos de siembra son más elásticos, pudiendo adelantarse o retrasarse a voluntad, con la única limitación de los periodos excesivamente fríos en que las heladas puedan causar daños al cultivo.

En las zonas de secano o temporal que dependen exclusivamente de la precipitación pluvial, la costumbre es realizar las siembras con las primeras lluvias; sin embargo, la irregularidad de estas causan con frecuencia serios problemas a los agricultores.

En general, las siembras muy adelantadas se realizan cuando el producto va a ser destinado al consumo del maíz fresco, o "choclo", para obtener un mejor precio en los mercados.

Las siembras tardías corresponden a variedades precoces o aquellas que se realizan en valles abrigados, con mejores condiciones climáticas y disponibilidad de riego suplementario.

En la vastedad de la región andina, se conocen periodos del calendario muy claramente definidos para cada variedad. Estas fechas están determinadas por el conocimiento tradicional del comportamiento del clima. Se siembra en un periodo que presupone que el desarrollo vegetativo de mayor exigencia coincidirá con el máximo periodo de lluvias y temperatura y para que las plantas puedan escapar al daño de las heladas en la maduración; ello que podrá ocurrir si se retrasan las siembras. Aún así, la errática incidencia de estos fenómenos no siempre puede evitarse.

Son tantas las variedades de maíz y tan variados los ambientes en los que se cultiva, que se tendría que hacer un listado muy extenso para precisar los periodos de siembra.

Como una información de carácter general, se consigna en el Cuadro 1 las épocas de siembra que se recomiendan en los países de la región andina.

Cuadro 1. Epocas de siembra del maíz en diferentes países de la Región Andina.

País	Zona	Epoca de siembra
Bolivia	Valles con riego	Sep.
	Valles secano	Oct.-15 dic.
	Pairumani	Oct.
	Santa Cruz	Jun.-nov.
Colembia	Oriente antioqueño "choclo"	Oct.-dic.
	Oriente antioqueño "grano"	15 ene.-30 mar.
	Turipaná	Sep.- mar.
	Palmira	Sep. - mar.
	Tulio Ospina	Sep. - mar.
	La Selva	Mar.
	Tibaitatá	Mar.
Ecuador	Epoca lluviosa	15 dic. - 30 ene.
	Epoca seca	15 may. - 15 jun.
Perú	Costa (con riego)	Todo el año
	Sierra Norte	Oct. - dic.
	Sierra Central	Sep. - nov.
	Sierra Sur	Sep. - oct.
Venezuela	Región Andina (Trujillo)	Abr.-may. y ago.-sep
	dos épocas	
	Región Central (Aragua, Carabobo y Cojedes)	May. - jun.
	Región Llanos Centrales (Guaira y Apure)	May. - jun.
	Región Centro Occidental (Portuguesa, Yaracuy y Barinas)	Abr. - may.
	Región Nor Oriental (Monagas, Anzoátegui y Sucre)	Abr. - may.
	Región Guayana (Bolívar)	May. - jun.

b. Calidad de la semilla

La uniformidad de las plantas de una maizal y como consecuencia de ella, su rendimiento, depende inicialmente de la calidad de semilla que se utilice.

En primer lugar, la semilla de maiz debe ser lo más fresca posible; es decir, semilla proveniente de la última campaña y que esté bien seca (12 - 14% de humedad), lo que asegura un alto porcentaje de germinación (98 - 100%).

La semilla debe proceder de un "semillero" de garantía o haber sido producida y seleccionada por el propio agricultor.

La semilla debe estar "completa", es decir, sin rotura, daños, ni picaduras en su cubierta, ya que si la cutícula o pericarpio resulta dañada, pueden penetrar hongos u otros microorganismos que afecten sus reservas, impidiendo la germinación o debilitando la plántula.

Las semillas no deben estar manchadas ni arrugadas. Lo primero puede ser evidencia de hongos (manchas rojizas, grises o azuladas), y lo segundo indica falta de maduración o daño por heladas.

En lo posible, la semilla debe estar "tratada" con algún producto para prevenir el ataque de hongos y evitar el daño de insectos.

La selección de la semilla responde a criterios propios de los agricultores, que varían de una zona a otra. La más frecuente es la selección en las eras escogiendo las mazorcas más grandes y mejor conformadas; otros dan preferencia a un tipo definido correspondiente a la variedad usada. Existen, además, muchos agricultores que no dan importancia a los criterios anteriores y que solamente se dedican a eliminar los granos de la punta y la base.

En general, casi todos los agricultores, al momento de desgranar las mazorcas seleccionadas, eliminan los granos de la punta, que suelen ser más pequeños que el resto y presentan a veces daño de insectos; de igual forma, eliminan los granos redondos de la base, quedando para semilla solamente los granos de la parte media, completamente sanos y perfectos.

Esta es una buena selección de semilla en mazorca, pero es preciso aclarar, que si las mazorcas están completamente sanas, se deberían utilizar todos los granos, incluyendo los de la punta y la base. No existe ninguna diferencia en utilizar cualquiera de estos granos, debiendo desterrarse la creencia de mucha gente, que piensa que los granos de la punta o base producen mazorcas con granos deformes o redondos. Utilizando toda esta semilla se tendría mayor disponibilidad de este insumo.

El origen de la semilla que utilizan los agricultores puede ser el siguiente:

- . Su propia semilla
- . Semilla de otros agricultores
- . Semilla adquirida en ferias o mercados
- . Semilla oficial (variedades mejoradas)
- . Semilla adquirida a semilleros privados.

En las zonas de agricultura tradicional, los agricultores utilizan, generalmente, su propia semilla o se proveen de otros agricultores o de los mercados de productos. Una proporción muy baja emplea semillas mejoradas.

En zonas de agricultura más desarrollada que en la Región Andina, ocupan, probablemente, las mayores áreas, los agricultores utilizan semillas de variedades mejoradas; estas ya poseen una mejor calidad, tanto por su origen como por la selección y el procesamiento al que han sido sometidas para su comercialización, que se ajusta a los estándares de calidad de semillas.

La producción y ubicación de campos y agricultores semilleros es una acción en la que debe ponerse más empeño por parte de los organismos del Gobierno y los empresarios privados, a fin de lograr una mejor calidad de las semillas seleccionando plantas y mazorcas.

Tratamiento de semilla:

La práctica de tratar la semilla con productos químicos que la protejan del ataque de hongos o insectos en el campo no es una costumbre que se practique entre los agricultores de la región andina, especialmente en las zonas de agricultura tradicional. El único tratamiento que se realiza en algunas regiones es el remojo de la semilla en agua como una forma de favorecer la germinación, sobre todo en previsión de que la lluvia sea muy escasa.

El tratamiento de la semilla con productos químicos que aseguren una buena protección durante la germinación y la emergencia de las plántulas de maíz, disminuyéndose de este modo el ataque de insectos, gusanos u hongos.

Existen una serie de productos químicos para tratar semillas, pero su uso debe ser consultado con especialistas, para no correr el riesgo de causar daños a la semilla o a las personas.

c. Modalidades de siembra

La forma como se ejecuta la siembra en las zonas de agricultura tradicional es fundamentalmente a mano. La siembra mecánica está principalmente difundida en zonas de agricultura

desarrollada, donde la topografía y la extensión de las unidades agropecuarias justifican y posibilitan el empleo de maquinaria.

Las modalidades de siembra manual que utilizan los pequeños agricultores son:

. **Siembra en el fondo del surco:**

Consiste en colocar las semillas en el fondo de los surcos abiertos por el tractor o el arado tradicional de tracción animal. Las semillas se pueden depositar a chorrillo, en línea continua o distanciándolas en grupos cada 15, 20, 30 y 60 cm, según la variedad, colocando de 3 a 5 semillas juntas por grupo, golpe o sitio. En esta modalidad se aprovecha para aplicar estiércol o guano de corral, al costado de las semillas, o puñados entre los grupos. Concluida esta labor, se procede a cubrir las semillas y el abono. El tapado de la semilla se realiza con el arado tradicional, con el tractor o con herramientas manuales como la lampa, azoda, etc.

. **Siembra a lampa en surcos:**

Se realiza en forma manual, utilizando la lampa. Se depositan 4 a 5 semillas, en grupos distanciados a 50 ó 60 cm. Las semillas se entierran en el fondo del surco o en la costilla, sin borrar los surcos tal cual hasta el aporque. La fertilización cuando se realiza se coloca al fondo del surco y se tapa con un poco de tierra, o también se aplica por puñados, con la lampa al costado o entre los golpes de semillas.

. **Siembra a cola de buey:**

Es una forma típica de las zonas de agricultura tradicional. Se realiza simultáneamente con el surcado. La yunta de bueyes con el arado va abriendo el surco, y detrás, en la tierra fresca y húmeda, el sembrador va colocando las semillas y una tercera persona aplica el estiércol o el abono de corral.

. **Siembra con palo o tacarpo:**

Es una modalidad que se emplea en zonas húmedas o lluviosas, donde no es necesario preparar el terreno en surcos. Es el caso de las zonas del trópico, y el oriente antioqueño.

Se utiliza un palo de aproximadamente 1.50 m de alto y 3 a 5 cm de diámetro que termina en una punta cónica. Cada sembrador lleva su palo, que en el oriente peruano se conoce como "tacarpo", y va provisto de un morral, o recipiente colgado al hombro o a la cintura donde se acumula la semilla.

La siembra se realiza al paso, hundiendo la punta del palo y depositando 3 a 4 granos en cada sitio o golpe. La siembra por lo general se hace en cuadro, con distanciamientos que pueden fluctuar entre 0.90 a 1.00 m entre hileras, y a 70 ó 90 cm entre

golpes.

En muchos lugares se emplean sembradoras o artefactos mecánicos operados manualmente para la siembra al paso.

La operación de la siembra, en las modalidades descritas anteriormente es, por lo general, una labor cuidadosamente realizada. Tiene gran importancia y significación, y si las condiciones climáticas son buenas y hay suficiente humedad, proveniente de la lluvia o el riego, la germinación suele ser buena.

. **Siembra mecanizada:**

En las áreas de agricultura desarrollada, la siembra del maíz se hace en forma mecanizada con tractor, empleando para ello semillas clasificadas que se ajusten a los platos de las sembradoras. Por lo general, en este sistema, la fertilización se realiza simultáneamente con la siembra.

d. Fallas en la siembra

Las fallas que se observan en la siembra derivan principalmente de la desuniformidad del suelo o de la deficiente preparación del terreno, o del ataque de insectos.

Los terrenos desuniformes y mal nivelados determinan zonas con depresiones donde se acumula el agua en exceso produciendo la asfixia y pudrición de las semillas. Por el contrario, las zonas altas o lomos, drenan rápidamente la humedad y se secan con facilidad. La mala preparación del suelo origina una desigual distribución de agua y la rápida pérdida de humedad.

El Cuadro 2 es una guía para determinar las causas posibles de una mala germinación de las semillas, observando la semilla desterrada.

Cuadro 2. Fallas en la germinación y emergencia.- sus causas.

Descripción de la semilla desenterrada	Causas probables de la falla
<u>Semilla que no germinó</u>	
. Semillas normales <u>sin hinchar</u>	. Suelo seco
. Semillas <u>hinchadas sin germinación</u>	. Suelo muy húmedo
	. Fertilizante en contacto con la semilla
	. Semillas sin poder germinativo
<u>Semillas podridas</u>	
. Semillas germinadas y podridas	. Daño causado por hongos: Phytium, Diplodia, Giberella
<u>Semillas germinadas que no emergen</u>	
	. Suelo muy encostrado
	. Semilla sembrada a mucha profundidad
	. Suelos muy pedregosos o con terrones muy grandes
	. Daño provocado por herbicidas
	. Semillas sin vigor, viejas
<u>Semillas y brotes dañados</u>	
. Granos ahuecados	. Daño de escarabajos
	. Daño de gorgojos, guanos, hormigas u otros insectos
. Brotes de la plántula comidos	. Daño de gusanos
. Brotes de la plántula podridos en la base del tallo	. Daño de hongos (chupadera)
. Plantas y granos desarraigados	. Daño de pájaros
	. Daño de ratones

e. Densidad de siembra

La cantidad de plantas que se siembran por hectárea es muy variable en la región andina, dependiendo de muchos factores, principalmente de la fertilidad natural de los suelos, de las variedades, del sistema de cultivo y del objeto del cultivo.

En las zonas de agricultura desarrollada hay un mayor control de la densidad desde la siembra, regulándose al momento del desahije o eliminación de plántulas. Las poblaciones en promedio fluctúan entre 40,000 a 60,000 plantas por hectárea, pero es posible encontrar en las zonas altas, campos con 90,000 plantas por hectárea. En los sistemas de cultivo asociado con maíz, las densidades suelen ser bajas, encontrándose campos que pueden tener menos de 28,000 plantas por hectárea, asociados con cultivos como fréjol, habas, quinua, etc.

En las zonas de agricultura tradicional se utiliza gran cantidad de semillas en la siembra en línea continua o chorrillo; ponen los granos muy juntos, colocando dos o tres granos en el mismo sitio. En la siembra mateada o por golpe, llegan a poner hasta ocho granos de maíz. Esto da lugar, al inicio del crecimiento, a una elevada cantidad de plantas que luego van entresacando para cubrir las necesidades de forraje de sus animales (vacas, carneros y cuyes).

El agricultor regula la densidad dependiendo de las condiciones ambientales. Si llueve regularmente, se desahija muy poco y los campos se mantienen con muchas plantas; si, por el contrario, el año es seco, se ralea continuamente hasta dejar una población baja.

Las altas densidades originan una serie de problemas que se agudizan por la pobre fertilización de los suelos, dando lugar a plantaciones de escaso desarrollo, con tallos muy delgados y alto porcentaje de plantas improductivas con mazorcas vanas (sin granos), a lo que se añade la elevada proporción de plantas que se tumban. Las mazorcas que se obtienen son pequeñas con un tamaño de grano igualmente menor, lo que incide en la baja productividad de los campos.

La densidad de siembra no solo está en función de la cantidad de semilla utilizada por hectárea, sino también depende del espaciamiento entre los surcos, aspectos que conviene tener muy presente en el manejo del cultivo.

En forma general, se puede estimar como una plantación con una densidad óptima, aquella que está entre las 55,000 y 60,000 plantas por hectárea. Por debajo o encima de este límite, las densidades pueden ser consideradas bajas o altas, respectivamente.

Para obtener la densidad óptima de 55,555 se puede adoptar cualquiera de las siguientes formas:

- . 0.90 m entre surcos o hileras
0.60 m entre golpes o sitios
Sembrar 5 semillas por golpe para dejar 3
Densidad: 55,555 plantas
- . 0.90 m entre surcos o hileras
0.20 m entre golpes o sitios
Sembrar 2 a 3 semillas por golpe para dejar 1
Densidad: 55,555
- . 0.90 m entre surcos o hileras
0.40 m entre golpes o sitios
Sembrar 3 a 4 semillas por golpe para dejar 2
Densidad: 55,555
- . 1.0 m entre surcos o hileras
0.4 m entre golpes (x 2 plantas) = 50,000 plantas
0.4 m entre golpes (x 3 plantas) = 75,000 plantas
0.8 m entre golpes (x 3 plantas) = 37,500 plantas
0.8 m entre golpes (x 4 plantas) = 50,000 plantas

f. Fertilización

La fertilización asegura la restitución de elementos nutritivos que son extraídos del suelo por los cultivos; por ello, una buena y oportuna fertilización garantiza buenos rendimientos.

En el cultivo del maíz se recomienda realizar dos abonamientos y es la práctica seguida por muchos agricultores.

El primer abonamiento se efectúa al momento de la siembra (1ra. etapa) y el segundo generalmente coincide con el aporque, es decir, aproximadamente, cuando las plantas tienen entre 50 y 60 cm de altura (3ra. etapa).

Cuando se realiza un solo abonamiento, este se realiza al momento del sembrío, o bien al aporque.

Las modalidades para efectuar el abonamiento son básicamente dos: en forma mecanizada y manual. El primer caso es el más utilizado en las grandes extensiones de las áreas de agricultura desarrollada empleando máquinas sembradoras-abonadoras, con las cuales la mezcla de fertilizantes se aplica en banda corrida por debajo y al costado de las semillas.

La fertilización a mano la realizan los pequeños agricultores al momento de la siembra o al aporque; utilizan cualquiera de las siguientes modalidades:

- . Abonamiento a cola de buey, en forma corrida a un costado de la semilla, o en golpes o puñados entre sitios.

- . Abonamiento a lampa al costado de los sitios o motas.
- . Abonamiento sobre la superficie del suelo, en banda corrida al costado de las plantas, o por puñados entre matas. El abono se cubre con el aporque.
- . Abonamiento sobre la superficie, sin ser tapado; al voleo o en bandas. Propio de zonas húmedas.

2. SEGUNDA ETAPA

Germinación y desarrollo de la plántula

a. Germinación

El proceso de la germinación está influenciado por la temperatura y humedad del suelo. En condiciones favorables, la emergencia de las plántulas ocurre a los 7 ó 10 días. Cuando los días son nublados y fríos, la emergencia puede demorar hasta 20 días. En las zonas más cálidas la germinación es más rápida.

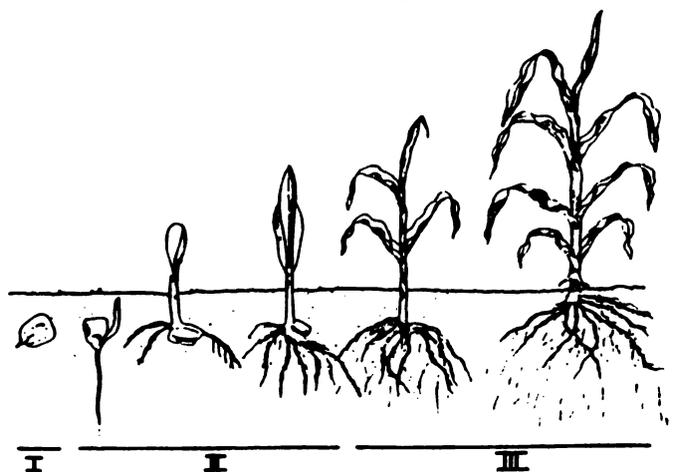


Figura 1. Tres etapas de desarrollo del maíz.

La germinación y el desarrollo inicial de la plantita de maíz, son las primeras etapas críticas en la vida de la planta, ya que está expuesta al ataque de microorganismos del suelo, de gusanos cortadores y otros insectos. Si el suelo está demasiado frío, húmedo o seco, no solo la germinación es lenta, sino que también la plántula puede morir.

En esta etapa es frecuente apreciar síntomas de deficiencia de varios nutrientes, como Fósforo o Nitrógeno.

La competencia de malas hierbas, sobre todo al comienzo de esta etapa, puede ser la causa de reducciones en el rendimiento.

También es importante el daño que pueden causar los insectos, cuando no hay ningún control; por ejemplo, ataques muy severos de cogollero pueden disminuir el área de las hojas.

El granizo y las heladas pueden ocasionar daños muy severos.

b. El desahije o raleo

El desahije sirve para determinar la densidad de siembra del cultivo; consiste en extraer las plantas que se consideran en exceso, ya sea en la hilera, en el "golpe" o "sitio". A esta operación se le llama también "raleo", "descafe" o "entresaque". Es una labor del cultivo que debe realizarse a temprana edad, con el suelo húmedo y cuando el maíz tiene una altura de 15 a 20 cm.

En el desahije algo tardío, se tiene el inconveniente que al estar las plantas más desarrolladas, las raíces también han crecido más; por lo tanto, al arrancarlas, se remueve mucho el suelo, pudiendo afectar a las plantas adyacentes.

En las áreas de agricultura tradicional, el desahije no se realiza o si se ejecuta suele ser tardío, y constituye una forma o costumbre de provisión de forraje para los animales de las crianzas. El desahije en estas condiciones puede durar varios días y hasta una a dos semanas. Las matas que se eliminan con el desahije o raleo pueden llegar a producir de 10,000 a 20,000 cañas por hectárea, que constituyen un alimento tierno de gran valor para los animales. Si bien con esto se satisface una necesidad, el perjuicio al cultivo de maíz puede ser grande, ya no solo por la remoción del suelo y las plantas vecinas, sino también por la innecesaria competencia de plantas.

Muchos agricultores de algunas zonas no realizan el desahije y conducen cultivos con densidades muy elevadas.

En general, se aprecia una particularidad respecto a la práctica del desahije en relación con el destino de la producción: los que se dedican exclusivamente a la producción de maíz para choclo o maíces que se comercializan por el tamaño del grano realizan el desahije. Los que se dedican al cultivo en áreas de secano cuya producción se destina al autoconsumo, la mayoría de veces no desahijan, a menos que, deliberadamente, utilicen las plantas en exceso como forraje para sus animales.

c. Las malas hierbas y su control

Las malas hierbas constituyen otro de los aspectos críticos en el cultivo del maíz en la zona andina que, sin lugar a dudas, es otro de los factores negativos que están influyendo significativamente en la baja productividad del cultivo.

Es muy frecuente observar en los campos cultivados con maíz

una densa cobertura verde sobre toda la superficie del terreno, constituida por una heterogénea composición de malezas, donde se entremezclan las gramíneas y ciperáceas con las malezas de hoja ancha. Las malezas más frecuentes se mencionan en la siguiente relación.

Nombre común:

Nombre científico:

Cerraja	<u>Sonchus</u> spp.
Diente de león	<u>Taraxacum officinalis</u>
Kiwicha silvestre	<u>Amaranthus</u> spp.
Yuyo-nabo silvestre	<u>Brassica</u> spp.
Quinua silvestre	<u>Chenopodium</u> spp.
Marco	<u>Ambrosia</u> <u>peruviana</u>
Ortiga	<u>Urtica urens</u>
Verdolaga	<u>Portulaca</u> o <u>leracea</u>
Malva	<u>Malvastrum</u> <u>peruvianum</u>
Amor seco	<u>Bidens pilosa</u>
Campanilla	<u>Convolvulus</u> spp.
Carretilla	<u>Medicago hispida</u>
Chamico	<u>Datura stramonium</u>
Capuli	<u>Nicandra phaseoloides</u>
Lengua de vaca	<u>Rumex</u> spp.
Llantén	<u>Plantago mayor</u>
Coquito	
Gramma china	<u>Licopersicum glandulosos</u>
Tomatillo	<u>Sida spinoc</u>
Lecheras	<u>Euphorbia</u> spp.
Gramma dulce	<u>Cynodon dactylon</u>
Pega pega	<u>Cenchrus</u> spp.
Kikuyo	<u>Pennisetum clandestinum</u>

La competencia que ejercen las malezas con el cultivo no solo es con respecto a los fertilizantes, sino también compiten por agua y luz, reduciendo seriamente los rendimientos y propagando muchas enfermedades.

Los estudios realizados sobre la competencia de las malezas y el control de las mismas sobre el rendimiento, han permitido conocer que el efecto más perjudicial se produce en los primeros 35 días que siguen a la emergencia del maíz.

Las reducciones en el rendimiento que deben estar ocasionando las malas hierbas, particularmente en las áreas de agricultura tradicional, deben ser de una magnitud muy grande por la alta densidad y concentración de especies de malas hierbas que podrían estar reduciendo el rendimiento en más del 50%.

La forma de control de malezas más generalizada es el control con herramientas manuales. El control por medios químicos no es desconocido, es utilizado, en casos aislados.

Los agricultores que realizan operaciones de deshierbos

tempranos utilizan herramientas manuales, especialmente azadas, zapapicos o machetes. Deshierban a los 20 ó 30 días si es que hay mucha hierba. En las áreas donde hay maquinaria agrícola, los agricultores pasan sobre el terreno un implemento con puntas o escardillos (cultivadora).

La realización del aporque o "cultivo", complementa la acción de control del deshierbo anterior, pero en muchos casos es la única labor que permite destruir las malezas. El aporque realizado con yunta o tractor, se complementa en algunos lugares con labores de repase manual, con lampas, azadones o machetes. Se efectúa entre los 60 ó 90 días, dependiendo de la variedad.

En los lugares donde se realizan dos aporques, como la Sierra del Perú, el primer aporque es la operación que elimina las hierbas, la cual se efectúa alrededor de los 40 a 50 días. En esta labor se emplea lampas, azadones y zapapicos, según los lugares. El segundo aporque, se realiza dependiendo de la variedad, aproximadamente alrededor de los 70 a 90 días y también sirve para la eliminación de malezas.

Las malezas que crecen después del aporque, no perjudican tanto el rendimiento, pero pueden ser la causa de la aparición de muchas enfermedades producidas por "virus", ya que estas son transmitidas por insectos picadores chupadores, que precisamente se hospedan en las malas hierbas.

La gravedad del problema de la competencia de las malezas para el cultivo debe ser tomada como uno de los factores negativos que es necesario tener muy en cuenta dentro de las medidas tendientes a mejorar la productividad, principalmente en las áreas más desarrolladas cuya potencialidad de producción es mayor; no tanto como en las áreas tradicionales, donde las necesidades de la subsistencia demandan otro tipo de acciones más selectivas, en cuanto a la eliminación de las especies indeseables, situación que en la práctica resulta un tanto difícil, pero que debe ser motivo de atención.

En las áreas de agricultura desarrollada, es preciso una mayor capacitación de los agricultores para que aprecien las ventajas de métodos más efectivos de control. En este ámbito el control químico con herbicidas o "mata malezas" selectivos pre-emergentes puede dar excelentes resultados sobre todo si se elimina el primer aporque, que encarece los costos del cultivo.

Los mejores resultados para controlar malezas en sistemas de monocultivo de maíz se obtienen con aplicaciones pre-emergentes de Atrazina, en dosis de 1 a 2 litros por hectárea disueltos en 400 litros de agua, aplicando con una bomba de mochila, o con tractor. La dosis alta se recomienda en suelos arcillosos.

Es importante que, al momento de aplicar el herbicida pre-emergente, el suelo esté bien mullido y tenga un buen contenido de humedad.

En el control químico con herbicidas selectivos pre-emergentes es muy importante tener en consideración las rotaciones, ya que puede haber efectos residuales que causen daños a los cultivos como la papa y habes especialmente. En tales casos, es preferible no aplicar herbicidas al suelo, sino herbicidas de contacto, como el 2, 4D.

Para el control químico de malezas de hoja ancha, se puede usar el 2, 4D (U.46), empleando 1 litro del producto por hectárea, disuelto en 100 litros de agua. Esta aplicación debe hacerse cuidando de que la aspersión no llegue a cultivos vecinos de hoja ancha (papa, habes, etc.).

El "kikuyo" (Pennisetum clandestinum) que es uno de los problemas más serios de la Sierra, también puede ser controlado con productos químicos, pero este control resulta muy costoso, por lo que se recomienda el recojo de los rizomas de kikuyo durante la preparación del terreno y las labores culturales y su quema posterior. En casos extremos, el barbecho temprano, después de la cosecha, es ventajoso porque permite el desecamiento de los rizomas que se recogen con más facilidad al momento de la preparación para la siembra.

El motivo por el que muchísimos agricultores de las zonas de agricultura tradicional, especialmente los de subsistencia, no controlan las malas hierbas, es porque estas se utilizan como otro recurso, en parte aprovechable, por lo cual no se las combate con los criterios de una agricultura de tecnología avanzada. Por esta razón, la negativa de algunos agricultores frente a la posibilidad de utilizar productos herbicidas. Su rechazo, antes que por motivos económicos, es por el efecto contaminante que les anularía una posibilidad alimenticia.

3. TERCERA ETAPA

Desarrollo acelerado

a. Desarrollo vegetativo

La etapa del desarrollo vegetativo del maíz se inicia con la formación del sistema radicular principal y el desarrollo de la estructura foliar, hasta la aparición de la panoja.



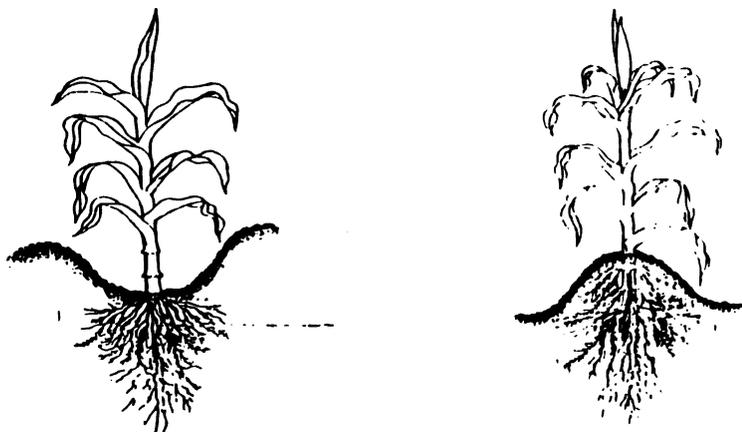
Figura 2. El cartucho deja ver el ápice de la panoja y aparece también la mazorca.

El sistema radicular principal desarrolla rápidamente tanto en profundidad como lateralmente, nutriéndose principalmente de los elementos de fertilidad de la capa arable. Los entrenudos de la planta se van alargando y de los nudos inferiores del tallo empiezan a brotar las raíces adventicias, que al llegar a penetrar en el suelo se ramifican inmediatamente; estas raíces actúan dando mayor sostén a la planta y contribuyendo también a la nutrición.

El desarrollo de las hojas y el crecimiento de la planta, llega al final de esta etapa casi al máximo, por lo cual la demanda de agua y nutrientes es muy importante. Las bajas temperaturas reducen la velocidad de crecimiento y desarrollo, mientras que las altas aceleran estos procesos.

b. El aporque

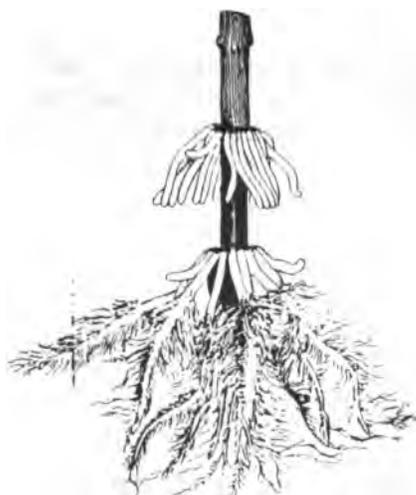
Una práctica común en toda la Sierra es el aporque, que consiste en voltear la tierra del lomo o camellón de los surcos, sobre la base del tallo del maíz. El aporque cumple las siguientes funciones:



Antes de aporcar el maíz

Figura 3

Después de aporcar el maíz



Desarrollo de raíces adventicias del maíz por efecto del aporque

Figura 4

- . Las plantas se afiancen mejor al terreno por el desarrollo de las raíces de los nudos inferiores, aumentando por efecto de esta labor la resistencia al vuelco o tumbada, que es causada por acción del viento o del exceso de agua.
- . Muelle o remueve el terreno.
- . Sirve para la aplicación de los abonos.
- . Hay un mejor control de malezas, porque no se dejan florecer y estas no producen semilla; además, se incorporan al suelo las malezas como abono verde.
- . En épocas lluviosas, se evita el exceso de agua por encharcamiento al pie de la planta.

Muchos agricultores realizan más de un aporque.

El primer aporque, se ejecuta cuando la planta tiene de 20 a 25 cm de altura.

El segundo aporque, se realiza cuando las plantas tienen entre 60 a 80 cm de altura.

En los lugares donde se ha sembrado en terreno plano (sin surcos), después del raleo se aplica el abono e inmediatamente se empieza a aporcar formando, de esta manera, los surcos o "caballones" o "camellones". Si bien el aporque cumple una labor favorable en el sentido de dar mayor soporte mecánico para disminuir la tumbada de plantas, controlar las malezas y facilitar la aplicación de fertilizantes, esta operación también puede causar daños a las plantas, ya que es frecuente observar que muchas se quiebran, maltratan o desarraigan como consecuencia de una labor defectuosa con las herramientas o el arado, lo cual tiende a disminuir la cantidad de plantas que se debe mantener en el terreno.

Es muy importante determinar la época más apropiada del aporque, evitando cualquier retraso, ya que esto retarda el control de malezas y la aplicación de fertilizantes; antes bien, se debe procurar anticipar la operación en función del desarrollo vegetativo de cada variedad.

c. El riego suplementario

La falta de humedad en el suelo es uno de los factores que más comúnmente limitan los rendimientos de maíz, por lo cual el riego suplementario se convierte en un factor de manejo muy importante ante la irregularidad de la precipitación pluvial.

El maíz es una planta exigente en agua, por lo cual es esencial evitar la marchitez durante todo su período de crecimiento. El maíz presenta sus exigencias máximas de agua

durante el periodo de polinización, de formación del grano y maduración de la mazorca (3era. y 5ta. etapas). La falta de agua en el suelo por cualquier causa en estas etapas producirá una importante disminución de la producción.

El agua de lluvia, que es la fuente natural, no es siempre suficiente. Por lo general, es limitada y muchas veces mal distribuida en los meses que dura el cultivo. Para muchos agricultores, la lluvia es lo mejor, cuando el año es bueno. Pero, en años de sequía o distribución irregular de las lluvias, si pueden regar lo hacen, y por lo general aplican uno o dos o más riegos.

La deficiencia o insuficiencia de lluvia obliga a tener que acondicionar los campos para ser regados por el sistema de surcos. El riego, como un sistema formal y regulable solo es posible en las partes bajas de los valles y no en toda su extensión, en tanto que en las zonas más elevadas de los Andes, de agricultura tradicional, la topografía es por lo general ondulada o de laderas, siendo el riego precario, escaso y dificultoso, por lo cual los cultivos dependen casi exclusivamente de la lluvia.

Existen en la Región Andina zonas planas, con valles que carecen de una fuente suficiente de riego, y que por lo tanto, se consideran áreas de secano, otras que carecen de infraestructura de riego.

El momento y la frecuencia de la aplicación de los riegos responde a criterios muy variables, dependiendo principalmente de las condiciones climáticas y de las características del terreno, principalmente de la textura y profundidad del suelo.

En general, durante el desarrollo del cultivo se consideran dos los principales periodos críticos: el primero a los 40 o 50 días después de la siembra, y el segundo el riego al inicio de la floración. En años muy secos, se pueden necesitar más de dos riegos.

También es importante mencionar que otro periodo crítico es previo a la siembra, donde el agua es imprescindible para la preparación de los terrenos, época en que la lluvia es por lo general escasa, por lo cual se necesita regar.

Los problemas respecto al agua están fundamentalmente referidos a su manejo. Básicamente, se deben considerar tres factores críticos de manejo:

- . Distribución del agua
- . Uso o aplicación
- . Escorrentía

La frecuente desuniformidad de los terrenos de cultivo dificulta la buena distribución del agua.

En cuanto a la aplicación y uso por la planta, se observan fallas frecuentes. Por lo general, cuando existe el recurso se aplica agua en cantidades mucho mayores que las debidas, excepto en situaciones de extrema limitación, generando pérdidas de agua por percolación profunda y ocasionando el lavado de los suelos. Es preferible aplicar riegos moderados.

La consecuencia del agua aplicada con exceso es la escorrentía, es decir, el agua que corre por la superficie y sale de los campos. El agua de escorrentía, en los terrenos con pendiente es la causa de la erosión y del empobrecimiento y pérdida de los suelos.

4. CUARTA ETAPA

Inicio de la floración y fecundación

El inicio de la floración se produce en el momento en que comienza a verse el ápice de la panoja, esto ocurre cuando la planta tiene todas sus hojas y comienza a disminuir la velocidad de crecimiento de la planta.

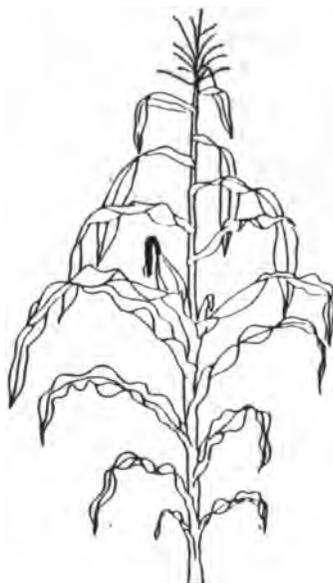


Figura 5. Desarrollo y maduración del grano. La planta alcanza su completo desarrollo.

Cuando la panoja está completamente afuera, comienzan a aparecer las primeras "barbas" o pistilos de la mazorca. Normalmente, se forma una sola mazorca, pero pueden formarse dos o más; esto ocurre, por lo general, cuando la fertilización ha sido alta y en muy buenas condiciones ambientales y, frecuentemente, cuando el campo tiene baja densidad.

A los pocos días de la aparición de la panoja, comienza la liberación del polen y se da inicio a la fecundación al caer el polen maduro en las barbas de las mazorcas.

En esta etapa la planta ha alcanzado casi su altura máxima.

La cantidad de polen que reciben las mazorcas de su propia panoja es mínima, siendo mayor la cantidad de polen que reciben de plantas vecinas. En general, se considera que en el maíz menos de 5% de los granos son formados con polen de la misma planta.

La liberación del polen dura varios días, comúnmente entre seis a ocho días, dependiendo la mayor duración, principalmente, de la humedad del suelo.

El tiempo de duración de la etapa de floración - fecundación puede durar aproximadamente entre 15 a 20 días.

Esta etapa es sumamente importante en el cultivo del maíz, ya que los fracasos o problemas que se presenten tienen un efecto decisivo sobre el rendimiento del cultivo.

Esta etapa, y las tres semanas previas a su inicio, pueden considerarse como el período clave en el desarrollo del cultivo. Los requerimientos de elementos nutritivos, especialmente de Nitrógeno y agua, son fundamentales y su provisión adecuada en las etapas previas debe estar suficientemente asegurada, para evitar deficiencias que afecten el desarrollo normal. Además, en esta etapa, cualquier "daño" causado por insectos u otros agentes al polen o la mazorca pueden ser definitivos, con pocas posibilidades de recuperación.

5. QUINTA ETAPA

Desarrollo y maduración del grano

a. Formación y maduración del grano

Realizada la fecundación, se inicia la formación del grano o llenado de la mazorca. El primer cambio que se observa es el secado de las "barbas" que toman un color castaño oscuro. Los granos, al comienzo acuosos, van aumentando de tamaño y peso hasta que toman su forma definitiva. Tienen, entonces, a medida que transcurren los días, un aspecto lechoso y luego, poco a poco, se van endureciendo a medida que van perdiendo humedad y aumentando en materia seca, hasta alcanzar su madurez fisiológica.

b. Madurez fisiológica

Es la máxima acumulación de materia seca en el grano (o peso seco total máximo).

El momento o tiempo en que se alcanza este estado depende de la acción del medio ambiente, temperatura, humedad y también puede estar influenciado por los problemas que pudieran presentarse en las etapas anteriores y que hayan ocasionado retraso en la floración.

La Figura 6 muestra la evolución comparativa de la humedad y del porcentaje de peso seco del grano del maíz blanco después de la floración en un experimento realizado en Urubamba, Cusco, Perú (1973), donde se aprecia que para el caso excepcional de esta variedad, procedente de Urquillos, la máxima acumulación de peso seco del grano o madurez fisiológica se alcanzó a los 135 días después de la floración.

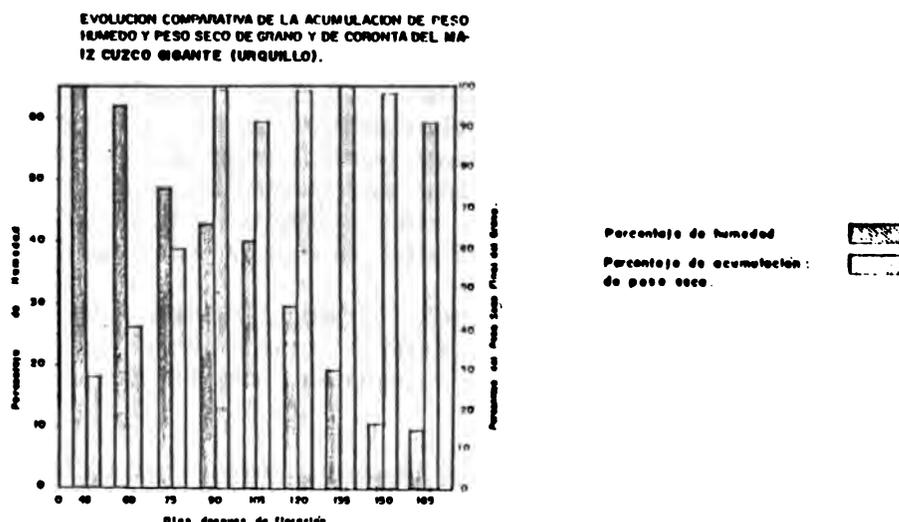


Figura 6. Desarrollo del grano después de floración del maíz Cuzco Gigante (Urquillo)

Los factores que pueden afectar esta etapa son:

- La falta de elementos nutritivos, por una deficiente fertilización, que disminuirá el peso del grano.
- Las deficiencias de humedad impedirán que se llenen todos los granos de la mazorca, especialmente los de las puntas, aún cuando hayan sido polinizados.
- Las heladas (especialmente en siembras atrasadas) determinan que los granos se chupen y no alcancen su peso, forma y tamaño normales.
- Los daños por ataque de insectos, aves, roedores o las enfermedades, principalmente las causadas por hongos.

Las condiciones favorables de fertilidad, humedad y sanidad, cuando están en nivel óptimo, hacen que el grano se llene completamente, alcanzando de esta manera los máximos rendimientos.

6. SEXTA ETAPA

Secado y cosecha

a. Secado

A partir de la madurez, el grano comienza a secar y endurecerse, coincidiendo también con el progresivo secamiento de toda la planta. Este proceso podría ser acelerado, si se cortara a partir de la madurez fisiológica, todo suministro de humedad; pero en las condiciones de secano, esto no es posible, por cuanto los maizales están expuestos a las condiciones imprevisibles del tiempo. Si llueve regularmente o en exceso, lo que sucederá es que la planta perderá muy poca humedad, permaneciendo "verde" por mucho tiempo sin acumular más materia seca en el grano, es decir, que la etapa de secado del grano está influenciada de manera decisiva por la humedad del suelo y la humedad ambiental.

El secado final del grano, hasta un punto que permita el desgrane, viene a constituir una etapa post-cosecha, que en la tradición de algunos lugares de la Zona Andina tiene diversas modalidades.

El tiempo total transcurrido, desde la siembra hasta el desgrane y almacenado del grano, puede ser muy variable, dependiendo de la variedad y del clima especialmente.

b. La cosecha

La cosecha es la última labor de campo en el cultivo. El momento que se efectúa varía dependiendo de la forma de utilización, sea esta para el consumo de maíz tierno o choclo o como grano seco. En las zonas de agricultura tradicional, la cosecha se efectúa únicamente a mano. La cosecha mecanizada es utilizada en las zonas más desarrolladas, generalmente en áreas extensas sembradas con maíces duros. Para que la cosecha se lleve a cabo en forma eficiente, bien sea a mano o mecánicamente, se requiere que el cultivo haya tenido un buen control de malezas.

La cosecha del maíz para choclo se realiza cuando la mazorca ha llenado completamente y los granos en la mazorca se presentan aún lechosos y tiernos.

La cosecha para grano se realiza generalmente cuando la planta está casi seca; puede ser mecanizada o manual.

En muchas zonas lluviosas, cuando el maíz ya está en un

estado avanzado de madurez, se acostumbra realizar la práctica del doblado de las matas todavía verdes por debajo de las mazorcas, lo cual las protege del agua de lluvia, facilitando el escurrimiento y evitando pudriciones.

La cosecha para grano debe realizarse oportunamente, antes temprano que tarde, para evitar el ataque de insectos y protegerse de los robos.

Existen dos modalidades de cosecha practicadas por los pequeños y medianos agricultores: cosecha de mazorcas en planta, o cortando las plantas y trasladándolas a una era.

En el primer caso, los cosechadores "deshojan" las brácteas de maíz extrayendo solo las mazorcas, o bien extraen las mazorcas con sus brácteas. En uno u otro caso, el maíz cosechado es trasladado a una era o almacenado en lugares protegidos para completar el secado en forma natural.

La otra forma de cosecha consiste en cortar las plantas casi a ras del suelo, y luego acomodarlas horizontalmente en montones, transversales a los surcos, o apoyarlas paradas unas con otras formando gavillas. Puede ser en el mismo campo o en lugares protegidos, donde permanecen hasta completar su secamiento, procediéndose al "deshoje", para luego formar la era donde concluye el secado.

7. TECNOLOGIA DE PRODUCCION DEL MAIZ

La tecnología de producción del cultivo de maíz en los países de la Región Andina tienen muchos puntos en común en cuanto al nivel tecnológico de los grandes y pequeños agricultores, que se dedican a su cultivo. En nuestros países, el desarrollo agrario debe necesariamente tener en cuenta los dos tipos de agricultura: la agricultura practicada en las zonas más desarrolladas y la agricultura practicada en zonas tradicionales. Ambas presentan una gama de niveles de producción y productividad, dependiendo de las condiciones variables de clima, suelo, tecnología, etc.

a. La agricultura desarrollada del maíz

Corresponde a las áreas favorecidas, tanto por el relieve como por el clima, especialmente. Son, por lo general, áreas más o menos amplias ubicadas en los pisos de valles interandinos, con buenas vías de comunicación y fácil acceso a los centros de abastecimiento de insumos, así como a centros de acopio o comercialización. Por estas razones, los agricultores de estas zonas tienen acceso a la mecanización agrícola, a la asistencia técnica, al crédito, etc., lo que sumado a las otras condiciones favorables, predisponen la posibilidad de un desarrollo tecnológico intermedio o alto. La productividad de las áreas

comprendidas en las zonas de agricultura desarrollada es, sin embargo, muy variable. La razón estaría en el grado de eficiencia con que los agricultores manejan o utilizan los recursos disponibles, o en condiciones limitantes de clima y suelos.

b. La agricultura tradicional del maíz

Se encuentra principalmente en áreas marginales, en terrenos accidentados o de ladera, con pendientes muy acentuadas, en su mayor parte bajo condiciones de secano, en zonas altas, con escasa o ninguna posibilidad de agua para el riego. Son, por lo tanto, áreas más expuestas a la variabilidad del clima y sujetas a las posibilidades de riesgo por sequías, inundaciones, heladas y granizadas. Los suelos son muy heterogéneos, pobres y superficiales, y con mayor propensión a la erosión. Por su ubicación, muchas de estas áreas tienen dificultades de acceso y comunicación. La topografía de los terrenos permite el uso prioritario de los implementos de labranza tradicionales, casi no utilizan semillas mejoradas, sino las variedades de maíz locales o comunes, usan poco o nada de fertilizantes minerales y no realizan aplicaciones de pesticidas para el control de plagas. El sistema de producción está orientado básicamente hacia el autoconsumo y el nivel de la productividad es bastante bajo.

El tipo de agricultura tradicional comprende, en su mayor parte, a los pequeños agricultores independientes con explotaciones agropecuarias menores de 5 ha y a las comunidades agrícolas. Cabe señalar, además, que existen pequeños agricultores cuyos predios pueden estar ubicados en zonas más favorecidas, como las del otro grupo, pero no por su condición de minifundistas y status socioeconómico se ubican dentro del grupo de la agricultura tradicional. A la inversa, en zonas menos favorecidas se encuentran agricultores que han superado con esfuerzo y tecnología ciertas dificultades del medio ambiente, logrando una aceptable productividad.

BIBLIOGRAFIA

1. **CARDENAS, L. y SANCHEZ, H. 1975. Madurez fisiológica y ritmo del secamiento del maíz Cusco Gigante. (Zea mays L.) In: Informativo del maíz. PCIM. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú, vol. 1, pp. 73-78.**
2. **CIAT. 1978. Para una mayor producción de maíz. Bol. divulgativo No. 2, Santa Cruz, Bolivia.**
3. **INFORMATIVO DEL MAIZ. 1986. Programa Cooperativo de Investigaciones en Maíz. Bol. UNA La Molina. No. 23, Lima, Perú.**
4. **ICA. Serie de diversos folletos divulgativos sobre el cultivo de maíz. Colombia.**

5. INIAP. Serie de folletos y boletines divulgativos sobre el cultivo de maiz. Ecuador.
6. FONAIAP. 1984. Paquete tecnológico para el cultivo de maiz. Serie paquetes tecnológicos No. 1 y 2, Maracay, Venezuela.
7. PCIM. 1974. Manual del maiz. Comité de productores de maiz UNA La Molina, Lima, Perú.
8. SEVILLA, R. et al. 1976. Factores de producción y nivel tecnológico del cultivo del maiz en la Sierra del Perú. In: Informativo del maiz, PCIM, UNA. Vol. 2, Lima, Perú, pp. 70-83.
9. VALDEZ, L. y SEVILLA, R. 1986. Manual del cultivo del maiz blanco. Instituto del Comercio Exterior. Lima, Perú.
10. VALDEZ, L. y SEVILLA, R. 1991. Saramama, cultura del maiz en la Sierra del Perú. Documentos originales del libro de los autores próximo a publicarse. Lima, Perú.



INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA