



# PROCIANDINO

## III SEMINARIO

MEJORAMIENTO PARA TOLERANCIA

A FACTORES AMBIENTALES

ADVERSOS EN EL CULTIVO DEL MAIZ

---

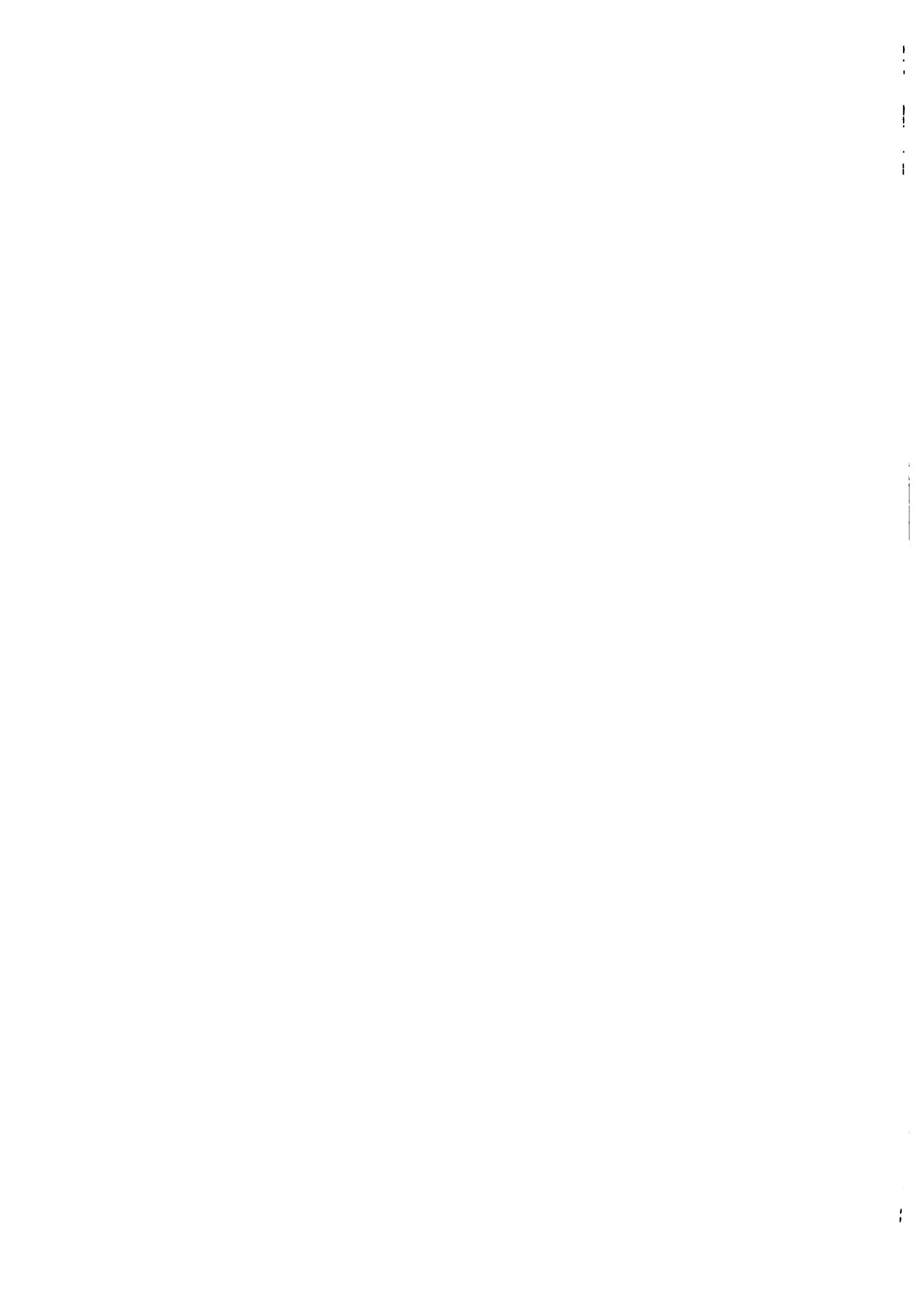
PROGRAMA COOPERATIVO DE INVESTIGACION AGRICOLA PARA LA SUBREGION ANDINA



BOLIVIA COLOMBIA ECUADOR PERU VENEZUELA







**PROGRAMA COOPERATIVO DE INVESTIGACION AGRICOLA  
PARA LA SUBREGION ANDINA  
PROCIANDINO  
BOLIVIA COLOMBIA ECUADOR PERU VENEZUELA**

**III SEMINARIO**

**MEJORAMIENTO PARA TOLERANCIA A FACTORES  
AMBIENTALES ADVERSOS EN EL CULTIVO DEL MAIZ**

**Quito, Ecuador  
Septiembre 14 - 18, 1987**

**Editors  
B. Ramakrishna**

**IICA - Ecuador  
Marzo, 1988**

6V 004272

PROCIAND-TICA

F30

R1052

Programa Cooperativo de Investigación Agrícola para  
Subregión Andina - PROCIANDINO  
Dirección Postal: Apartado Postal 201-A  
Mariana de Jesús 147 y La Pradera  
Quito, Ecuador.

Edición: B. Ramakrishna

00001845

**C I T A C I O N**

IICA-BID-PROCIANDINO. 1988. III Seminario.  
Mejoramiento para Tolerancia a Factores Ambientales Adversos en el Cultivo del Maíz. Ed. por B. Ramakrishna. Quito, Ec. PROCIANDINO.

Alta temperatura/Bolivia/Brasil/Colombia/Diferencia de Oxígeno en Suelo/Ecuador/Exceso de humedad/Factores adversos/Fisiología/Germoplasma/Granizos/Heladas/Maíz/Mejoramiento/México/Perú/Sistema de hermanos completos/Subregión Andina/Suelos ácidos/Tolerancia al frío/Tolerancia a bajo nitrógeno/Tolerancia a sequía/Toxicidad de aluminio/Venezuela.

Este Seminario corresponde al Evento codificado como 1.2.6 en el Plan Trienal de las actividades técnicas del Programa Cooperativo de Investigación Agrícola para la Subregión Andina-PROCIANDINO.

Fue organizado por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias-INIAP, entidad responsable de ejecutar en Ecuador las actividades planificadas por el PROCIANDINO.



## TABLA DE CONTENIDO

	<u>Página</u>
Presentación	
<i>Víctor Palma</i> <i>IICA-PROCIANDINO</i>	<i>i</i>
Bienvenida del CIMMYT	
<i>Ron Knapp</i>	<i>iii</i>
Inauguración	
<i>Diego Gándara</i> <i>Sub-Secretario</i> <i>Sierra y Amazonia MAG</i>	<i>viii</i>
Programa del Seminario	<i>xii</i>
Conclusiones y recomendaciones	<i>xvii</i>
Selección para tolerancia al frío en maíz	
<i>Ricardo Sevilla Panizo</i> <i>Univ. Nac. Agraria</i> <i>La Molina, Perú</i>	<i>1</i>
Mejoramiento de maíz para adaptación a los suelos del "cerrado" Brasileño	
<i>Mauricio Antonio Lopes y otros</i> <i>CNPMS/EMBRAPA, Brasil</i>	<i>53</i>
Adaptaciones morfológicas y fisiológicas en plantas de maíz sometidas a deficiencia de oxígeno en el suelo	
<i>Mauricio Antonio Lopes y otros</i> <i>CNPMS/EMBRAPA</i>	<i>106</i>
Selección para tolerancia a sequía en maíz tropical	
<i>Jorge A. Bolaños</i> <i>Gregory O. Edmeades</i> <i>CIMMYT</i>	<i>125</i>
Efectos del exceso de humedad y altas temperaturas durante la floración en maíz	
<i>Jorge A. Bolaños</i> <i>Renee Lafitte</i> <i>CIMMYT</i>	<i>156</i>
Selección para tolerancia a baja disponibilidad de nitrógeno en el maíz	
<i>Renee Lafitte</i> <i>Gregory O. Edmeades</i> <i>CIMMYT</i>	<i>171</i>

**Informe de los países**

Bolivia

- Factores ambientales en la producción de maíz en Bolivia  
*Rosario B. Torrico*  
*Univ. Mayor de*  
*San Simón Cochabamba* 195

Colombia

- Alternativas para la producción de maíz en suelos ácidos  
con altos contenidos de aluminio en Colombia  
*Arnaldo Trujillo R.*  
*ICA - Palmira* 200

Ecuador

- Resultados y proyecciones de la investigación con maíz duro  
en zonas de escasa humedad del Litoral ecuatoriano  
*Segundo Reyes T.*  
*Daniel Alarcón C.*  
*E.E. Portoviejo - INIAP* 208

- Mejoramiento para tolerancia a factores ambientales adversos  
*Francisco Moreno A.*  
*E.E. Santa Catalina - INIAP* 216

- El cultivo de maíz en el Sur ecuatoriano  
*José Egúez*  
*E.E. Chuquipata - INIAP* 223

- Factores ambientales que influyen en el mejoramiento del  
maíz en la Sierra ecuatoriana  
*Mario Caviedes C.*  
*E.E. Santa Catalina - INIAP* 233

- Logros de la investigación y factores limitantes de la  
producción de maíz en la zona central del Litoral ecuatoriano  
*Santiago Crespo Orellana*  
*E.E. Pichilingue - INIAP* 236

Venezuela

- Problemas ambientales para el cultivo de maíz en Venezuela  
*Víctor Segovia S.*  
*Samuel Cabrera*  
*CENIAP - E.E. Acarigua* 243

	<u>Página</u>
Evaluación general del Seminario	
<i>B. Ramakrishna</i> <i>IICA - PROCIANDINO</i>	265
Agradecimiento de los participantes	
<i>Víctor Segovia S.</i>	273
Conferencistas y lista de participantes	
	274

\*\*\*\*\*



## P R E S E N T A C I O N

Continuando con la programación del Programa Cooperativo de Investigación Agrícola para la Subregión Andina - PROCIANDINO, el Tercer Seminario Técnico correspondió al Subprograma II - Maíz y se desarrolló en la Estación Experimental "Santa Catalina", organizado por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias - INIAP del Ecuador. El tema del Seminario fue el "Mejoramiento para Tolerancia a Factores Ambientales Adversos en el Cultivo del Maíz".

Los asuntos tratados en este evento fueron de alto contenido técnico y orientados hacia el campo de la investigación y transferencia de tecnología en el tema del Seminario. Entre los asuntos estudiados cabe mencionar: La selección para tolerancia al frío, a la sequía en el caso del maíz tropical y a la baja de disponibilidad de nitrógeno, el mejoramiento del maíz para su adaptación a suelos ácidos, adaptaciones morfológicas y fisiológicas en plantas de maíz sometidas a deficiencia de oxígeno en el suelo, y los efectos del exceso de humedad y altas temperaturas durante la floración de la planta de maíz. Asimismo, los participantes en el Seminario presentaron y analizaron los principales factores ambientales adversos que afectan la producción de maíz en cada uno de los países de la Subregión Andina.

Este documento recoge tanto las exposiciones de los conferencistas internacionales invitados al Seminario como de los técnicos nacionales de los países miembros del PROCIANDINO y, en alguna manera, refleja el arduo trabajo intelectual desarrollado en este evento.

En las conclusiones y recomendaciones del Seminario, es necesario destacar que además de las de carácter general, se presentan algunas que por su carácter específico pueden ser inmediatamente implementadas en los países y regiones que tienen problemas adversos a la producción de maíz. En este sentido, las recomendaciones cubren las áreas del mejoramiento genético y agronomía del maíz.

Las memorias de este Seminario se constituirán, sin duda alguna, en un permanente texto de consulta para los investigadores y extensionistas que trabajan en el cultivo de maíz, dado que en ellas están plasmados los resultados obtenidos luego de un largo proceso de investigación y experimentación de alto nivel.

Esta oportunidad es propicia para reconocer el papel fundamental que para la realización de este Seminario desempeñó la Estación Experimental "Santa Catalina" y la sede del INIAP, Institución encargada de la ejecución del PROCIANDINO en el Ecuador. Del mismo modo, es necesario reconocer que la realización de este evento no hubiera sido posible sin la eficiente colaboración que se recibió de los profesionales del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo - CIMMYT, de la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria - EMBRAPA, y de la Universidad Nacional Agraria La Molina, quienes actuaron como profesores. Asimismo, del Coordinador Internacional del Subprograma II - Maíz del PROCIANDINO, y de los profesionales de los países de la Subregión que participaron en el Tercer Seminario de este Programa Cooperativo.

Quito, marzo de 1988

Víctor Palma  
Director del PROCIANDINO

**WORKSHOP ON BREEDING OF MAIZE TOLERANT  
TO ADVERSE A ENVIRONMENTAL FACTORS**

**WELCOME**

***Dr. E. Bronson Knapp \****

It is a great deal of pleasure and pride that the CIMMYT Maize Program is able to contribute to the success of this Meeting titled **"Mejoramiento de Maíz con Tolerancia a Factores Ambientales Adversos"**, sponsored by PROCIANDINO. CIMMYT Staff have worked directly with the National Maize Research Programs of the Andean Region since the formation of CIMMYT as a research center more than 20 years ago. That is before most of the participants of this Workshop carried out their first research experiment. But through the efforts of the researchers and extensionists who preceded us, uncountable trials have been carried out with the objective to identify superior maize cultivars and appropriate crop management techniques. The past successes are documented, for all to see, in thousands of hectares of farm land across the Andean countries.

Today, we follow in the footsteps of that select group of indivi-

---

\* *Specialist, Andean Region, CIMMYT, Apartado Aéreo 6713, Cali, Colombia.*

duals who made history with their "Green Revolution". We are part of the "Post-Green Revolution" stage of development where modern maize varieties and hybrids and moderate doses of fertilizer have been adopted, at least in the more favorable environments. Unfortunately, through no fault of their own, the Andean countries have a disproportionate amount of land which, at best, is unfavorable for crop production in general and maize production specifically. The temperatures are either too high, or too low. The soil moisture too high or too low. And in places where the climate is not unfavorable, soil chemical imbalances cause toxicities, e.i., Aluminium and/or deficiencies eg. nitrogen. Productivity increase in these areas from the spread of new varieties and increased fertilizer use has not been dramatic to say the least.

CIMMYT has very recently surveyed the National Agricultural Research Services with whom we have worked over the years and all agree that greater resources must be committed to breeding for marginal environments, especially as they relate to resource-poor producers living within them. CIMMYT considers marginal environment as those in which average yields of the target crop is reduced to 20-40% of the yield of environments with similar amounts of solar radiation received over the normal length of the growing season. The yield reduction may be caused by a sub-optimal condition or supply of one or two abiotic stress factors or by the incidence of one or more biotic stresses. When yields are reduced below 20% of the potential yield by stress factors, the environment is normally considered best suited to another crop, or simply too risky to permit agriculture as it is normally practiced.

During this Workshop we will share with one another our technical knowledge, and as important for researchers, the deficiencies in our technical knowledge about breeding of maize tolerant to adverse environmental factors. I know I speak for all of us at CIMMYT when I say it will take all our best efforts to help increase the world food supply by the estimated 60% needed to feed ourselves in the next fifteen years.

**REUNION SOBRE MEJORAMIENTO DE MAIZ  
CON TOLERANCIA A FACTORES AMBIENTALES ADVERSOS**

**SALUDO DE BIENVENIDA**

*Dr. E. Bronson Knapp \**

Es un gran placer y orgullo que el Programa de Maíz de CIMMYT pueda contribuir al éxito de esta **Reunión sobre Mejoramiento de Maíz con Tolerancia a Factores Ambientales Adversos**, realizada por PROCIANDINO.

El equipo de CIMMYT ha trabajado directamente con los Programas Nacionales de Investigación en Maíz de la Región Andina desde la formación de CIMMYT como Centro de Investigación hace más de 20 años. Esto fue antes de que muchos de nosotros, los aquí presentes, llevaran a cabo sus primeros experimentos de investigación. Pero a través de los esfuerzos de los investigadores y extensionistas, quienes nos han precedido, innumerables ensayos han sido llevados a cabo con el objetivo de identificar cultivos superiores de maíz y aplicar técnicas apropiadas en manejo de cultivos.

Los éxitos pasados están documentados en miles de hectáreas en las tierras de las fincas que cubren los países andinos a la vista de todos ustedes.

---

\* *Especialista en Maíz, CIMMYT, Región Andina, Apartado Aéreo 6713, Cali, Colombia.*

Hoy, nosotros seguimos los pasos de este selecto grupo de individuos quienes hicieron historia con su "Revolución Verde". Somos ahora parte de la etapa de desarrollo "Post-Revolución Verde", donde modernas variedades de maíz e híbridos y moderadas dosis de fertilizantes han sido adoptados, al menos en ambientes favorables. Debido a condiciones ecológicas adversas, los países Andinos presentan cantidades desproporcionadas de tierra, la cual, a lo mejor, es inadecuada para producción de cultivos en general, y especialmente la producción de maíz. Las temperaturas son demasiado altas o demasiado bajas, la humedad del suelo es demasiado alta o demasiado baja. Y en lugares donde el clima sea favorable, el desequilibrio de los elementos químicos de su suelo presentan problemas especiales como es la causa de toxicidad de aluminio, y/o deficiencias de nitrógeno, etc. Debido a lo anterior, la extensión de nuevas variedades, como también el aumento del uso de fertilizantes, para incrementar la productividad en estas áreas, no ha sido tan marcado.

CIMMYT ha encuestado recientemente a los Programas Nacionales de Investigación Agrícola, con quien hemos estado trabajando todos estos años, y todos están de acuerdo que gran parte de los recursos deben ser asignados al mejoramiento para ambientes marginales, especialmente, dirigido a aquellos productores de bajos recursos. CIMMYT considera como ambientes marginales a aquellos en los cuales el rendimiento promedio del cultivo de interés está reducido a un 20-40% del rendimiento en ambientes con cantidades similares de radiación solar recibidas durante el ciclo de desarrollo normal. La reducción del rendimiento puede ser causada por condiciones poco óptimas o por suministro de uno o dos factores abióticos o por la incidencia de uno o más stresses bióticos. Cuando los rendimientos son reducidos menos del 20% de su potencial por factores de stress, el ambiente es normalmente considerado mejor desarrollado para otro cultivo, o simplemente demasiado riesgoza para permitir la agricultura, como normalmente se practica.

Durante esta Reunión, compartiremos nuestros conocimientos técnicos, tan importantes para los investigadores conocer las deficiencias en nuestro conocimiento técnico acerca del mejoramiento de maíz con

tolerancia a factores ambientales adversos. Sé que he hablado para todos nosotros en CIMMYT cuando digo que esto tomará nuestros mejores esfuerzos para ayudar a incrementar la producción de alimento en el mundo, estimado en un 60% de lo necesitado a nosotros mismos en los siguientes quince años.

**DISCURSO INAUGURAL PRONUNCIADO POR EL ING. DIEGO GANDARA,  
SUBSECRETARIO DE LA SIERRA Y AMAZONIA,  
EN REPRESENTACION DEL MINISTRO DE  
AGRICULTURA Y GANADERIA  
DE ECUADOR**

Los equipos técnicos que están laborando para el PROCIANDINO, han fijado para este Programa Cooperativo, objetivos específicos que tienen absoluta correspondencia con los intereses de los países de la Subregión Andina y con la necesidad actual de encontrar un intercambio dinámico de las tecnologías agrícolas existentes en las instituciones nacionales de investigación, en un afán de evitar duplicación de esfuerzos y recursos en la tarea de producir más.

En el caso particular del Subprograma de Maíz, se han conjugado las experiencias que poco a poco han ido logrando los países. Las motivaciones y el aporte técnico que recibe la Subregión Andina del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, y el apareamiento del PROCIANDINO para procurar una acción coordinada que permita superar con mayor acierto los problemas más sobresalientes que afectan al cultivo de maíz.

Este Seminario es uno de los eventos con los cuales el PROCIANDINO ha comenzado a evidenciar su funcionamiento: paulatinamente los técnicos y personal de apoyo de las instituciones nacionales de investigación agropecuaria, y con ellos varios profesionales de otras entidades que constituyen vínculo entre la investigación y el agricultor se están beneficiando de eventos de esta y otra naturaleza. Así esperamos que continúe, en el transcurso de los tres años para los cuales se ha previsto su funcionamiento.

He de destacar la presencia para este Seminario de personalidades

de la investigación reconocidos a nivel internacional, así como también el esfuerzo que nuevamente nos demuestra el CIMMYT para cooperar a través de sus expertos más especializados en los temas que ha de tratarse en estos días. Asimismo debo mencionar la merecida cooperación del IICA.

Abordar temas referentes a factores ambientales adversos al cultivo significa procurar la identificación de metodologías adecuadas para mejorar la tolerancia del maíz a las condiciones climáticas tan variadas que nos ofrece la topografía totalmente irregular de nuestros países.

La metodología a seguirse en este Seminario ha sido concebida de tal manera que sea esta una oportunidad más para que quienes están involucrados en las diferentes facetas del cultivo puedan puntualizar sus propias necesidades nacionales en función de la demanda interna y de sus propios problemas.

Las conferencias magistrales de los especialistas internacionales invitados y las exposiciones de cada uno de los representantes de los países de la Subregión, permitirá extraer conclusiones y recomendaciones que, con toda seguridad, serán tomadas en cuenta en la planificación de las instituciones nacionales justamente para orientar la acción de sus técnicos, hacia la aplicación de las experiencias positivas que aquí se identifiquen.

En el Ecuador existe una evidente complacencia por la realización de este Seminario, en especial porque se ha hecho posible la participación de técnicos de los sectores público y privado. Ellos, en los trabajos de grupo sabrán exponer con el mayor criterio posible sus experiencias e intercambiar criterios de tal suerte que las conclusiones y recomendaciones sean el punto de partida para una más coherente planificación.

El INIAP como institución que ejecuta los eventos previstos por el PROCIANDINO para el Ecuador y como instituto anfitrión da la bienvenida a sus colegas de Bolivia, Brasil, Colombia, Perú, Venezuela, a los expertos del CIMMYT, al personal ecuatoriano.

A nombre del señor Ministro de Agricultura y Ganadería, Econ. Marcos Espinel y en el mío propio, estoy muy complacido de inaugurar este evento, justamente por la valiosa presencia de tan importante elemento humano, y con los mejores deseos por que se cumplan los objetivos trazados en el transcurso de su organización.

**SEMINARIO SOBRE "MEJORAMIENTO PARA TOLERANCIA  
A FACTORES AMBIENTALES ADVERSOS EN  
EL CULTIVO DEL MAÍZ"**

**(Evento 1.2.6)**

**LUGAR** Estación Experimental "Santa Catalina"  
Quito, Ecuador.

**OBJETIVOS**

**1. Generales**

- 1.1. Compartir recíprocamente las experiencias de los países y encontrar soluciones de corto plazo para mejorar genéticamente al maíz, con respecto a principales factores ambientales adversos que limitan la producción en la Subregión Andina.
- 1.2. Presentar recomendaciones concretas para que a través de los Proyectos de Investigación en los Programas Nacionales de Maíz, se pueda lograr beneficios significativos cuyos resultados puedan intercambiarse entre las Instituciones de Investigación Agrícola de la Subregión.

**2. Específicos**

- 2.1. Analizar la información disponible sobre técnicas de investigación para encontrar tolerancia a: Sequía; Alta temperatura y exceso de lluvias en floración; Vientos y exceso de agua en el suelo; Acidez y deficiencia de Nitrógeno en el suelo; y, Heladas y granizo, considerados como factores

ambientales adversos comunes al cultivo de Maíz en los cinco países.

- 2.2. Informar a los participantes de los cinco países sobre las experiencias obtenidas por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo-CIMMYT y analizar las metodologías más apropiadas que puedan aplicarse en la investigación.
- 2.3. Identificar los mecanismos más idóneos para compartir entre los países de la Subregión, las metodologías disponibles para mejorar la tolerancia del maíz a factores ambientales adversos.

#### PROGRAMA PRELIMINAR

##### Fecha y hora

<u>Domingo 13</u>	Llegada y recepción de los participantes.
<u>Lunes 14</u>	
08H00-08H30	Traslado a la Estación Experimental "Santa Catalina"
08H30-09H30	Registro de participantes
09H30-10H30	Ceremonia de Inauguración (Programa Especial) Local: Salon Auditorio
10H30-10H45	Receso
10H45-11H00	Objetivos y Programa del Seminario Ing. Mario Galarza S., Coordinador General del Seminario.
11H00-12H30	CONFERENCIA MAGISTRAL TEMA: "Mejoramiento para tolerancia al frío"

## **Fecha y hora**

- EXPOSITOR:** Ing. Ricardo Sevilla  
**MODERADOR:** Dr. Federico Scheuch  
Coordinador Internacional del Subprograma II  
del PROCINDINO
- 12H45-14H00 Almuerzo  
(Comedor Estación Experimental "Santa Catalina")
- 14H00-15H30 CONFERENCIA MAGISTRAL  
**TEMA:** "Mejoramiento de Maíz para adaptación a los  
suelos de 'Cerrado' Brasileiro"  
**EXPOSITOR:** Dr. Mauricio Antonio Lopes  
**MODERADOR:** Dr. Víctor Palma - Director PROCINDINO
- 15H30-15H45 Receso
- 15H45-17H00 "Problemas ambientales para el cultivo de Maíz en  
Ecuador"  
**EXPOSITORES:** Ings. M. Caviedes, V. Vásquez, F. Moreno y  
J. Córdova, S. Crespo y S. Reyes, José  
Eguez - INIAP  
**MODERADOR:** Ing. Víctor Segovia (Venezuela)

## **Martes 15**

- 08H00-08H30 Traslado a la Estación Experimental "Santa Catalina"
- 08H30-10H00 CONFERENCIA MAGISTRAL  
**TEMA:** "Mejoramiento para tolerancia a sequía y alta  
temperatura"  
**EXPOSITOR:** Dr. Jorge Bolaños - CIMMYT  
**MODERADOR:** Dr. Ron Knapp - CIMMYT
- 10H00-10H30 "Problemas ambientales para el cultivo de Maíz en  
Bolivia"  
**EXPOSITOR:** Ing. Rosario Torrico  
**MODERADOR:** Ing. Santiago Crespo (Ecuador)

- 10H30-10H45 Receso
- 10H45-11H45 "Problemas ambientales para el cultivo de maíz en Colombia"  
EXPOSITORES: Ings. Pedro P. Erazo y Arnoldo Trujillo  
MODERADOR: Ing. Rosario Torrico (Bolivia)
- 11H45-12H45 "Problemas ambientales para el cultivo de maíz en Perú"  
EXPOSITORES: Ings. José Millones y José Morán  
MODERADOR: Ing. Pedro P. Erazo (Colombia)
- 12H45-14H00 Almuerzo
- 14H00-15H00 "Problemas ambientales para el cultivo de maíz en Venezuela"  
EXPOSITORES: Ings. Víctor Segovia y Félix San Vicente  
MODERADOR: Ing. Miguel Barandiarán (Perú)
- 15H00-15H15 Receso
- 15H15-16H30 MESA REDONDA  
"Integración de los problemas de los países"  
MODERADOR: Dr. Federico Scheuch

### Miércoles 16

- 08H00-08H30 Traslado a la Estación Experimental "Santa Catalina"
- 08H30-10H30 CONFERENCIA MAGISTRAL  
TEMA: "Selección para tolerancia al 'stress' de Nitrógeno en el cultivo de maíz"  
EXPOSITOR: Dra. Reneé Lafiet - CIMMYT  
MODERADOR: Dr. Hernán Caballero - IICA, Ecuador
- 10H30-10H45 CONFERENCIA MAGISTRAL  
TEMA: "Vientos y exceso de agua en el suelo"  
EXPOSITOR: Dr. Jorge Bolaños/ Dr. G. O. Smith  
MODERADOR: Ing. Mario Galarza (Ecuador)
- 12H45-14H00 Almuerzo
- 14H00 Panel de Conferencistas Internacionales sobre:

- Heladas y granizo;
- Mejoramiento para adaptación a suelos ácidos;
- Sequía;
- Tolerancia a 'stress' de Nitrógeno; y,
- Vientos y exceso de agua en el suelo

MODERADOR: Dr. Ron Knapp - CIMMYT

16H15

Mesa redonda de Conferencistas y Participantes

- Preguntas y respuestas

MODERADOR: Dr. Federico Scheuch

#### Jueves 17

08H00-08H30

Traslado a la Estación Experimental "Santa Catalina"

08H30

Conformación de Grupos de Trabajo

09H00

Trabajo en Grupo

GRUPO 1. Heladas y granizo

GRUPO 2. Mejoramiento de maíz para adaptación a suelos ácidos

GRUPO 3. Sequía y alta temperatura

GRUPO 4. Selección para tolerancia al 'stress' de Nitrógeno

12H45

Almuerzo

14H00

Continuación de trabajos de grupo

#### Viernes 18

08H00

Traslado a la Estación Experimental "Santa Catalina"

08H30-09H30

Evaluación del evento

Dr. B. Ramakrishna - Especialista Internacional en Transferencia de Tecnología y Comunicación

10H00

Sesión Plenaria

Conclusiones y recomendaciones a los Programas Nacionales de Maíz de los Países de la Subregión

**(Coordinadores de Grupo)**

**MODERADOR: Representante de los Coordinadores de Grupo**

**11H30**

**Sesión de Clausura (Programa especial).**

## **PROCIANDINO**

### **SEMINARIO SOBRE "MEJORAMIENTO PARA TOLERANCIA A FACTORES AMBIENTALES ADVERSOS EN EL CULTIVO DEL MAIZ"**

**(Evento 1.2.6)**

**Estación Experimental "Santa Catalina"-INIAP**

**Septiembre 14 - 18, 1987**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Los participantes del Seminario se dividieron en cuatro grupos de trabajo, según los factores: Problemas de frío (Heladas); Toxicidad al Aluminio; Tolerancia a sequía y stress de Nitrógeno. Cada grupo elaboró una síntesis del problema (situación o antecedentes) y luego procedió a determinar las conclusiones y recomendaciones respectivas.

#### **1. Problemas de frío (heladas)**

**Integrantes:** Ing. Ricardo Sevilla (Asesor), Universidad Nacional Agraria de Lima-Perú  
Ing. Francisco Moreno, Ecuador  
Ing. Mario Caviedes, Ecuador  
Ing. Pedro Pablo Erazo, Colombia  
Ing. José Millones, Perú

#### **Germoplasma disponible:**

**Tolerantes al frío:** Ecuador: Morocho Blanco y Amarillos: Pool A 7 y 8, I-180, I-131.

Colombia: Morocho Blanco y Amarillos: ICA-V. 525, M B. 521, M -520, M B -524 Hso.

Perú: Complejo peruano CPI-1, CP-3, CP-5, Sint-A, Sint-B, Población C, PMS-636 Complejo

Choclero Precoz.

Bolivia: Morochos Blancos y Amarillos.

CIMMYT: Pooles de Altura.

## CONCLUSIONES

1. Los países más afectados por problemas de heladas son: Perú, Ecuador, Colombia y Bolivia.
2. Las heladas se presentan en localidades situadas a más de 2.500 metros de altura.
3. En el Area Andina se siembran 343000 ha de maíz, de las cuales 90000 son afectadas por heladas, lo que equivale a un área de 27%.
4. Hay dos períodos de siembra: agosto a noviembre y febrero a marzo. La mayor ocurrencia de heladas se produce en el estado de plántula con una frecuencia promedio de una por año; en el estado de 1 a 2 meses de edad, con frecuencia de una helada cada dos años, y, en los estados de floración y madurez, una helada por año. La mayor pérdida en rendimiento se produce cuando las heladas ocurren en la época de floración.
5. En las zonas afectadas por heladas, el cultivo de maíz sufre problemas de enfermedades foliares y plagas. Los suelos de baja fertilidad son susceptibles a erosión y sequía.
6. En los cuatro países de la Zona Andina, los maíces de textura harinosa y morochos son más afectados por las heladas.
7. En los países de la Zona Andina existen recursos genéticos del cultivo que nos ocupa, tolerantes a condiciones de baja temperatura.

## RECOMENDACIONES

1. Probar en cada país, el conjunto de materiales tolerantes al frío, formado por las entradas de los cuatro países que son afectados por heladas y el germoplasma proveniente del CIMMYT.

2. Los países de la Zona Andina deberán comprometerse a proporcionar la semilla de los materiales oportunamente, a los Programas Nacionales que lo soliciten.

## 2. Toxicidad a Aluminio

Integrantes: Ing. Mauricio Lopes (Asesor), EMBRAPA  
 Dr. Ron Knapp, CIMMYT  
 Ing. Víctor Segovia, Venezuela  
 Ing. Arnoldo Trujillo, Colombia  
 Ing. Marco Burbano, Ecuador  
 Ing. Rosario Torrico, Bolivia

### ANTECEDENTES

<u>País</u>	<u>Suelos mal drenados</u> (ha)	<u>Suelos con toxicidad</u> Aluminio (ha)
Venezuela	70.000 (30%)	60.000 (30%)
Colombia	no están cuantificados	2'000.000 (30%)
Bolivia	20.000 **	no cuantificados
Perú	10'000.000	38'000.000
Brasil	40'000.000 *	45'000.000 *

\* Area potencial para cultivo de maíz (estimada).

\*\* Area actualmente cultivada con maíz.

### CONCLUSIONES

1. Actualmente, el 25% de la superficie de los suelos de los países de la región, presentan problemas de suelos ácidos asociados con toxicidad de Aluminio.
2. El 20% de los suelos de estos países tienen problemas de mal drenaje.

3. El área con posibilidades de expansión para el cultivo de maíz, también contempla los mismos problemas.
4. Existe un proyecto para generar cultivares de maíz tolerantes a suelos con mal drenaje a través de PROCIANDINO y otro proyecto liderado por el Programa Regional Andino de Maíz del CIMMYT para suelos ácidos con toxicidad de Aluminio.

#### RECOMENDACION

Intercambiar, a través del CIMMYT y PROCIANDINO, algunos materiales o fuentes germoplásmicas ya disponibles.

#### 3. Tolerancia a sequía y alta temperatura

Integrantes: Ing. Jorge Bolaños (Asesor), CIMMYT  
Ing. José Morán, Perú  
Ing. Segundo Reyes, Ecuador  
Ing. Daniel Alarcón, Ecuador  
Ing. Víctor García, Ecuador  
Ing. Mario Galarza, Ecuador  
Dra. Irene Miño, Ecuador

#### ANTECEDENTES

En el Litoral ecuatoriano existen alrededor de 70.000 ha de maíz cultivadas en condiciones de sequía. En el Perú, el área total sembrada con maíz depende exclusivamente de las lluvias, siendo la escasez y mala distribución de las mismas muy frecuentes en la Costa y la Sierra del citado país. En Colombia existen aproximadamente 200.000 ha afectadas por este fenómeno, que comprenden las siguientes regiones: Caribe seco I (Departamentos de Córdoba, César, Bolívar, Alta y Baja Guajira), Valle del Río Magdalena, Valle del Río Cauca, Valle del Río Patía y la Zona Media del Norte del Departamento de Nariño.

Ante esta circunstancia, se nota la necesidad de generar varie-

dades tolerantes a sequía que produzcan mejor en condiciones limitantes de humedad.

## CONCLUSION

En la actualidad no existen fenotipos propios para esta zona de producción que toleren sequía. Por esta razón se considera necesario aprovechar los genotipos generados en el CIMMYT y tratar de desarrollar variedades con tolerancia a este fenómeno ambiental.

## RECOMENDACIONES

1. Como primer paso, en la Estación Experimental "Portoviejo" del INIAP, Ecuador, y en otras localidades de poca precipitación, deberá evaluarse a nivel de agricultor el Tuxpeño Selección Sequía Ciclo 6, para observar el comportamiento considerando factores como sincronización y ciertos componentes del rendimiento.

Esto se realizará en la época de lluvias de 1988, al mismo tiempo en la Estación "Portoviejo" se generarán líneas S1. Las mejores 250 S1 serán evaluadas en tres niveles de humedad en Portoviejo, durante la época seca de 1988. Las mejores S1 serán recombinadas para formar una variedad sintética, la cual será distribuida a diferentes países para su evaluación en varias localidades.

2. Paralelo a este trabajo se considera conveniente, mediante la prueba de diferentes variedades de maíz amarillo, identificar preliminarmente la mejor población que tolere sequía, pruebas similares se realizarán en cada país con problemas de sequía para seleccionar las poblaciones más promisorias a mejorarse siguiendo una metodología similar a la desarrollada en el CIMMYT; asimismo se aconseja el intercambio de material germoplásmico para este fin.

#### **4. Tolerancia al stress de Nitrógeno**

**Integrantes:** Dra. Renee Lafiet (Asesora), CIMMYT  
Ing. Santiago Crespo (Coordinador), Ecuador  
Ing. José Egeuz, Ecuador  
Ing. Félix San Vicente, Venezuela  
Ing. Miguel Barandiarán, Perú

#### **CONCLUSIONES**

1. El Nitrógeno es un elemento deficitario en los suelos de la región andina.
2. En el Litoral de Ecuador y Perú existen áreas maiceras de alta productividad, en las que obviamente, la suplementación de Nitrógeno al cultivo es una práctica ejecutada con frecuencia. Por otro lado, en zonas donde el agua constituye un factor de riesgo más importante, el uso de Nitrógeno es limitado.
3. En Venezuela, a pesar de que los agricultores normalmente emplean cantidades suficientes de Nitrógeno, el manejo del mismo en la forma y oportunidad de aplicación, no es el más adecuado.
4. Dentro de la zona andina de la Subregión, la productividad promedio es de 1.0 TM/ha, el uso del Nitrógeno es prácticamente nulo, a excepción de las áreas chocleras. En estas zonas, el cultivo es mayormente de autoconsumo, producido por pequeños agricultores minifundistas, muchos de los cuales, aún conociendo las ventajas de la fertilización nitrogenada, no lo practican debido a las características de alto riesgo del cultivo y/o a la falta de mercado del producto.
5. En regiones de la Amazonia (selva), el cultivo afronta factores adversos más importantes: acidez, malezas, etc. El Nitrógeno encuentra respuesta a su aplicación en zonas en las que el maíz viene siendo cultivado continuamente a través de los años.

6. Estos sistemas se pueden iniciar en cada país donde la falta de Nitrógeno es importante. No es necesario organizar este trabajo a nivel regional andino, pero la transferencia de datos e informaciones sobre las ventajas o desventajas del sistema debe ocurrir a ese nivel.

## RECOMENDACIONES

1. No se recomienda hacer selección en condiciones de bajo Nitrógeno, debido a la variabilidad excesiva de los suelos a la minimización de diferencias en rendimiento entre las familias.
2. Existe variabilidad genética dentro de materiales mejorados (ej: variedad Across 8326, formada por diez familias, muestra esa variación). La selección para rendimiento en condiciones de alto Nitrógeno no elimina a las familias más rendidoras en condiciones de bajo Nitrógeno, pero dificulta su identificación.
3. Se podría incluir pasos adicionales en el esquema de selección para identificar dichas familias, mediante una evaluación de familias seleccionadas en condiciones de bajo Nitrógeno.
4. Sistema de hermanos completos, es aconsejable incrementar el número de selecciones. Las familias seleccionadas se pueden sembrar en un lote adicional con bajo Nitrógeno. La inclusión de un testigo cada cinco surcos, permite usar una sola repetición. Para no perder un ciclo, el lote adicional se puede sembrar adelantado e identificar las familias superiores usando los criterios de altura de planta y número de hojas verdes abajo de la mazorca. Estas mediciones se pueden hacer antes de la cosecha o unas tres semanas después de la floración. Sus resultados son tomados en cuenta para hacer las recombinaciones en el lote respectivo.
5. En Sistemas de Medios Hermanos, las familias hembras se siembran adicionalmente en un lote de bajo Nitrógeno. Este lote también incluye un testigo sembrado entre las familias para ajustar los rendimientos para variabilidad ambiental. Los resultados de este

lote son usados como criterio de selección en el lote de medios hermanos.

6. Estos sistemas se pueden iniciar en cada país donde la falta de nitrógeno es importante. No es necesario organizar este trabajo a nivel regional andino, pero la transferencia de datos e informaciones sobre las ventajas o desventajas del sistema debe ocurrir a ese nivel.

## SELECCION PARA TOLERANCIA AL FRIO EN MAIZ

Ricardo Sevilla Panizo \*

### RESUMEN

Las temperaturas menores de 0 grados C o heladas causan severos daños al maíz. Las heladas son muy frecuentes en las tierras altas de Latinoamérica, donde todos los años se pierden por esa causa, considerables extensiones sembradas con maíz.

La existencia de variedades de maíz tolerantes al frío permitirá: tecnificar mejor el cultivo al minimizarse el riesgo de pérdida; ampliar la frontera agrícola sembrando en zonas más frías; mejorar el sistema de producción con la modificación de la época de siembra de maíz, para adoptar sistemas de rotación que mejoren el suelo y la productividad por área; y, cubrir el mercado en diferentes épocas del año.

---

\* Ing. Agr., M.S., Profesor principal Dpto. Fitotecnia, Facultad de Agronomía. Director del Instituto Regional de Desarrollo de Sierra. Coordinador del Proyecto de Banco de Germoplasma del Programa Cooperativo de Investigaciones en Maíz. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima.

**Para generar variedades tolerantes al frío, adaptadas a las tierras altas de la Sierra del Perú, se está desarrollando un programa en tres etapas: análisis, síntesis y selección.**

**En la primera etapa, se probó en el Instituto Regional de Desarrollo de Sierra de la Universidad Nacional Agraria La Molina, en Jauja, a 3.400 msnm todo el germoplasma disponible. Ese germoplasma puede dividirse en tres grupos: 1) razas peruanas de altura, de granos grandes y harinosos; algunas de ellas han sido estudiadas en Nueva Zelanda, y fueron seleccionadas por su buena capacidad de crecimiento autotrópico al estado de plántula; 2) germoplasma de altura de CIMMYT que, de acuerdo a investigaciones realizadas en Holanda y Nueva Zelanda, tienen muy buena capacidad para germinar en suelos fríos, y desarrollar normalmente en bajas temperaturas; 3) el germoplasma que se seleccionó en la Universidad de Cornell, por su capacidad para germinar a bajas temperaturas (7 a 13 grados C), habilidad para desarrollar a bajas temperaturas y habilidad para resistir durante 15 horas al estado de plántulas, temperaturas debajo de cero.**

**La segunda etapa consistió en la síntesis de ese germoplasma, en poblaciones con más posibilidades de que la selección para tolerancia al frío tenga éxito. Así, se formaron las siguientes poblaciones: 1) el sintético A, con 17 líneas provenientes de razas peruanas, variedades de México y Guatemala, adaptadas a las condiciones del Perú, seleccionadas por habilidad combinatoria general en condiciones de fuertes heladas en el estado de floración a madurez; 2) el sintético B formado con 22 líneas provenientes de cruces entre cultivares peruanos por germoplasma de CIMMYT, seleccionadas por habilidad de germinar en época muy fría y por vigor de plántula; 3) la población C, cruzando el material seleccionado en Cornell, con la variedad San Gerónimo y retrocruzándola nuevamente a esta variedad para mantener el tipo de grano, seleccionando a la vez por capacidad de germinación en ambientes fríos. De acuerdo a la literatura, la selección por porcentaje de emergencia es el mejor criterio de selección y está altamente correlacionada con otros caracteres, como porcentaje de germinación, rápida emergencia y vigor de plántula.**

**Actualmente se práctica selección en esas tres poblaciones además de**

*dos variedades mejoradas: PMS-636 y el Compuesto Choclero Precoz. En general la selección se practica en condiciones de campo, sembrando en épocas donde el daño al frío es casi seguro.*

*Los dos sintéticos A y B, se mejoran con selección recurrente basado en el comportamiento de la línea per se. La población C y las dos variedades mejoradas se seleccionan con el método mazorca-hilera modificado.*

*En la selección se toma en cuenta principalmente las características de la planta que condicionan algún mecanismo de evasión: color de la planta, pigmentación y cobertura de las brácteas de la mazorca; pubescencia; posición de la mazorca en el tallo. Así mismo, se evalúa la tolerancia al estado de plántula, y planta adulta, así como la calidad y aspecto de la mazorca. Se seleccionan aquellas familias con menores diferencias en el rendimiento de ambientes fríos Vs. el rendimiento en buenos ambientes, que permiten la máxima expresión de su potencialidad genética.*

## **SUMMARY**

Very heavy damage in corns is caused by temperatures below 0° C. Freezing damage is very frequent in the highlands of Latin America, where, for that reason, considerable losses are occurring every year.

Cold tolerant varieties will permit: application of appropriate technics minimizing loss risks; expand agricultural frontier, through cropping more cold lands; improve the production systems by rotation with other crops, with modification in planting time; and meet the market requirements, by producing in different times of the year.

To generate cold tolerant varieties, adapted to the peruvian highlands, a three step strategy is adopted: analysis, synthesis and selection.

In the first step, all the cold tolerant germplasm available was tested in the Instituto de Desarrollo Regional de Sierra (Development Institute of Highland) of the Universidad Nacional Agraria La Molina. This germplasm can be

divided in three groups: 1) Highland peruvian races, with floury and large kernels; some of them have been evaluated in New Zeland, and they were selected for the autotrophic growth ability; 2) CIMMYT highland germplasm, according to research conducted in Holland and New Zeland, has very good ability to germinate and develop in cold soils; 3) Germplasm selected at the Cornell University for ability to germinate at low temperatures (from 7 to 13° C) has ability to grow at those temperatures, and with stand 15 hours, below 0° C during the seedling stage.

The second step was the synthesis of that germplasm with in the populations having more possibilities to be selected for cold tolerance. The following populations were formed: 1) Synthetic A, with 17 lines from peruvian races, and mexican and guatemalan varieties, adapted to the highlands of Perú; these lines were selected for general combining ability under very heavy freezing damage from flowering to harvesting time; 2) Synthetic B, with 22 lines from peruvian varieties crossed with CIMMYT germplasm, that are selected for ability to germinate in cold weather and for seedling vigor; 3) Population C, crossing the material selected in Cornell with the San Geronimo variety, and backcrossing again with that local variety to maintain the type and texture of the grain, also selected for ability to germinate in cold environments. According to the literature, selection for emergency percentage is the best criterion of selection, and it is highly correlated with other characteristics as: germination percentage, fast emergency and seedling vigor.

At present, selection is practiced in those populations, besides two improved varieties: PMS-636 and Compuesto Choclero Precoz. Selection is practiced in field conditions, planting in a time when the freezing damage is highly probable.

Synthetics A and B are improved using recurrent selection based on the performance of lines per se. Population C and the two improved varieties are selected using a modified ear to row selection scheme.

The characteristics associated with avoidance mechanisms, that are considered in the selection: Plant color, pigmentation and quality of the husks, pubescens and position of the ear the stalk. The tolerance at the seedling and adult stages and also the quality and appearance of the ear are evaluated.

The families showing less differences in yielding ability under cold stress compared with the performance under best environmental conditions.

## INTRODUCCION

El incremento de la producción de maíz en Latinoamérica, y en especial en la Zona Andina, en los próximos años, es un gran imperativo. A partir del año 1960, cuando se dinamizó la difusión y aplicación en forma masiva de la tecnología agrícola que se generaba tanto en países desarrollados, como en países en vías de desarrollo, los incrementos de la producción de alimentos han sido espectaculares en los países desarrollados; y muy modestos en los países de bajos ingresos. El incremento de la población en los países con menor desarrollo, ha traído como consecuencia un aumento en la demanda y por consiguiente al no ser suficiente la producción, una dependencia alimenticia cada vez mayor. En el caso del maíz, la situación es cada vez más grave, como se ve en el Cuadro 1.

El incremento de la producción de maíz en la Zona Andina puede conseguirse usando dos estrategias distintas: aumentando la superficie cultivada, o aumentando la productividad.

El aumento de áreas parece ser una buena estrategia, a la luz de las estadísticas del uso de la tierra en la Zona Andina. Ninguno de los 5 países del área usa el 10% de su superficie: Bolivia, 3.1%; Colombia, 5.4%; Ecuador, 9.4%; Perú, 2.7%; y, Venezuela, 4.2% (Anuarios FAO de Producción, Vol. 34). Pero una serie de consideraciones económicas y ecológicas, que no es necesario precisar en detalle, limita el incremento de la producción por esa vía.

El incremento de la productividad, con el uso de la tecnología actual, se ve también limitada por el costo de capital y de energía que la aplicación de esa tecnología requiere, más aún si se tiene en cuenta que los precios de algunos productos agrícolas, entre ellos el maíz, tiende a bajar (Casas, 1986).

CUADRO 1. Productividad del maíz y crecimiento de la producción y población de la Zona Andina comparada con dos países de agricultura desarrollada.

	RENDIMIENTO (TON/HA)		CRECIMIENTO PRODUCCION 1961-1980	CRECIMIENTO POBLACION 1963-1978
	1961-65	1978-80		
ZONA ANDINA	1.1	1.4	1.4	2.8
ESTADOS UNIDOS	4.2	6.3	4.1	0.8
FRANCIA	3.0	5.3	7.9	0.6

La modificación del ambiente por medios químicos o físicos, para lograr una mayor productividad en el cultivo del maíz, en las áreas marginales de Latinoamérica, es casi imposible de alcanzar bajo las actuales condiciones, limitando en los países más necesitados, el uso de las tecnologías modernas de producción; el único camino es entonces modificar la planta para que tenga más posibilidades de adaptarse a los ambientes marginales que en el caso de Latinoamérica constituyen una considerable reserva que le asegurará su sustento en el futuro.

Casi toda la superficie de Latinoamérica limita la producción de cultivos por problemas de clima o de suelo. La región de las altas montañas es particularmente importante porque es una región densamente poblada, donde viven dedicados al cultivo de la tierra, básicamente con una economía de subsistencia, una gran proporción de la población más pobre de Latinoamérica para la cual su única riqueza es el producto que obtiene de la agricultura. Agrícolamente esa región está marginada por problemas de clima, básicamente sequía y bajas temperaturas. El maíz no solamente constituye el principal cultivo de esa región, sino que existe una gran variabilidad que ha sido muy poco utilizada en el desarrollo de variedades superiores, adaptadas a los ambientes limitantes.

## **EFFECTO DE LAS BAJAS TEMPERATURAS EN EL CULTIVO DEL MAIZ**

Bajas temperaturas no letales, generalmente sobre los 0 grados C, causan una serie de problemas fisiológicos en maíz que pueden disminuir su productividad. Sin embargo, estas pueden ser contrarrestadas, y de hecho se hace en Latinoamérica, con la práctica de la siembra en épocas bien definidas, y con el uso de variedades adaptadas a esas condiciones, variabilidad que es considerable en Latinoamérica.

Las temperaturas letales, o sea, menores de 0 grados C causan severos daños al maíz. Las "heladas", o descensos bruscos de temperatura de bajo de 0 grados C son muy frecuentes en las tierras altas de Latinoamérica, donde todos los años se pierden por esa causa considerables extensiones.

Una serie de efectos secundarios, como el acortamiento del período vegeta-

tivo, la reducción de la población de plantas y la pérdida de la calidad del producto, disminuyen la posibilidad de obtener una productividad suficiente para pagar los costos de la tecnificación.

El cultivo de variedades de maíz tolerantes al frío no solo produciría un aumento en la producción al aumentar la productividad del cultivo, sino que ampliaría la frontera agrícola, por lo menos en la Zona Andina, donde en regiones demasiado frías para el cultivo del maíz hay grandes extensiones de tierras con mejor topografía y fertilidad que las tierras que se usan actualmente.

En las tierras altas de la Zona Andina es casi imposible producir dos cosechas al año, o rotar con cultivos que como las leguminosas, mejoran la fertilidad del suelo. Por ejemplo, si se pudiera sembrar más temprano, podría sembrarse un cultivo posterior que puede cosecharse antes de los meses más fríos. Las fechas de siembra de maíz tan rígidas, propias de la región alto andina, no permiten adoptar un sistema de producción más variado que incluya maíz en rotación, o como cultivo continuado.

Una siembra temprana de maíz tiene también la ventaja de que puede reducir la erosión en regiones donde las lluvias se inician cuando el suelo está descubierto.

El daño por frío se evita generalmente sembrando en una época apropiada. Esto limita mucho las posibilidades del mercado de productos como el "choclo" o "elote" que se producen en una sola época del año. Las mayores pérdidas por heladas se producen cuando el agricultor adelanta o retrasa las siembras con la finalidad de obtener un mejor precio por su producto.

La principal ventaja del cultivo de variedades de maíz tolerantes al frío, sería la posibilidad de tecnificar el cultivo. En las condiciones actuales es casi imposible tecnificar el cultivo si es alta la probabilidad de perderlo.

## MECANISMOS DE TOLERANCIA Y EVASION

De acuerdo a Levitt (1980), una planta puede ser resistente a un "stress" (1), por dos mecanismos: por evasión (2) o por tolerancia. Los mecanismos de evasión hacen que la planta reduzca el stress usando algún mecanismo que evite el contacto entre el frío y la planta; o sea, una planta puede no ser tolerante, pero posee algún mecanismo morfológico o fisiológico que impide el daño causado por las bajas temperaturas. Si la planta es tolerante soporta el frío, pero este no le daña.

La planta puede evitar el "stress", o puede evitar el daño. Aún producido el daño, este puede ser reversible, que también es un mecanismo de tolerancia.

Greenblatt (1985), describe una serie de mecanismos de evasión, a partir de sus observaciones hechas en algunas localidades de la Sierra del Perú.

Hay 4 características muy notables en el germoplasma de maíz de las tierras altas del Perú, que de acuerdo a Greenblatt, son productos de la selección natural, para adaptar al maíz a las condiciones de las altas montañas de la región andina.

La más notable es la intensidad de pigmentación antocianidica. El pudo comprobar experimentalmente que las plantas con tallos y brácteas de las mazorcas, púrpuras, mostraban mayor temperatura que las plantas verdes adyacentes. Este es indudablemente un mecanismo de evasión, ya que la planta, aunque no tenga verdadera tolerancia al frío, no es dañada porque no permite que las bajas temperaturas entren en contacto con sus tejidos. Otro mecanismo de evasión se produce por la forma redondeada, gruesa y corta de las mazorcas, y la profundidad de los granos; las formas más redondeadas reducen la pérdida de calor producto del metabolismo de la planta. Si este calor se queda atrapado dentro

---

(1) *El término "stress" se usará para evitar cambios en el concepto original, si se traduce al Castellano. Stress puede ser traducido como "tensión", "o sometido a una tensión" que puede causar daño a la planta.*

(2) *Del inglés "avoidance".*

de las brácteas se da otro mecanismo de evasión. Las brácteas de la mazorca de las razas peruanas de altura están formadas de hojas gruesas, rugosas, que cubren muy bien la mazorca, evitando la pérdida de calor.

La posición de la mazorca cerca del suelo, típico de las razas peruanas de altura como San Gerónimo, Piscorunto y Confite Puneño, algunas de cuyas plantas muestran mazorcas casi al nivel del suelo, es otro mecanismo de evasión muy importante.

Otros investigadores han estudiado estos mecanismos de evasión. Rossman (1949) estudió la asociación entre la tolerancia al frío y la protección de las brácteas de la mazorca. El autor concluye que las brácteas juegan un papel muy importante, pero la tolerancia no estuvo asociada en su estudio, ni con la temperatura debajo de las brácteas, ni con el número de hojas de brácteas.

El mismo autor en la investigación citada, estudió la relación entre algunas características de la semilla y la tolerancia al frío. El concluyó que la diferencia en la distribución del contenido de humedad dentro del grano, podía explicar parcialmente la diferencia en tolerancia de las líneas. El contenido de humedad del endospermo decrece a un ritmo mayor que el contenido de humedad del embrión, y que el contenido de humedad del pericarpio. No encontró asociación entre el espesor del pericarpio y la tolerancia a pesar de que la tolerancia fue altamente significativa para los cruces recíprocos. La relación entre el tamaño de la semilla y la tolerancia no fue significativa, pero hubo una tendencia hacia un mayor daño, en semillas de tamaño pequeño.

Rostie en 1939, no encontró diferencias apreciables entre maíces dentados y duros, cuando expuso las semillas a 7 diferentes tratamientos de baja temperatura y 4 diferentes contenidos de humedad.

Gubbels (1974) encontró que el tiempo de emergencia estuvo significativamente correlacionado con el peso o tamaño de la semilla, y con la concentración de ácido linoleico; pero Eagles y Hardacre (1979) no encontraron ninguna correlación entre capacidad de germinación y emergencia, con el peso de la semilla.

Desde que muchas investigaciones han demostrado la existencia de efectos maternos, en la herencia a la tolerancia al frío, las características de la semilla deberían estar asociadas a la tolerancia, pero los resultados de las investigaciones son contradictorios. Mucho más concluyentes son las que asocian la tolerancia con la sanidad de la semilla (Mortinson, comunicación personal).

Menos concluyentes son las investigaciones que demuestran que la tolerancia al frío aumenta cuando mejoran las condiciones agronómicas.

Holbert en 1930, estudiando la asociación entre tolerancia al frío en primavera y otoño, concluyó que la tolerancia en la primavera y otoño, aumenta cuando la capacidad productiva del suelo aumenta y viceversa.

Tanto en primavera como en otoño, la resistencia fue menor en plantas en un suelo con alta humedad, a pocos días en que se expuso a bajas temperaturas.

Plantas dañadas por el frío al estado de plántula o en desarrollo, fueron nuevamente dañadas en floración y estado de maduración, y poseían un sistema radicular más débil que las plantas que no fueron dañadas en los primeros estados.

Hay tantos factores que influyen en la tolerancia al frío, que es imposible discutirlos todos. Cada uno de estos factores debe tener sus propios mecanismos de evasión y su propio sistema genético. Para visualizar la complejidad del tema, podemos citar los factores que afectan a la tolerancia al frío en papa (Mendoza y Estrada, 1979): temperatura de exposición; tiempo de exposición; velocidad de congelamiento y descongelamiento de los tejidos (congelamiento lento produce menos daños que un cambio y elevación rápida de temperatura); nutrición mineral; temperaturas de aclimatación (el daño depende de la temperatura a la cual la planta ha estado creciendo antes del congelamiento); humedad del suelo (las plantas son más tolerantes bajo condiciones secas que en condiciones de exceso de humedad); agua de reserva de la planta; reguladores de crecimiento; frecuencia de estomas en las hojas; espesor de la cutícula; edad de la planta.

Los mecanismos de evasión y tolerancia a nivel celular se podrán precisar

más, cuando se conozca exactamente que es lo que sucede en la célula cuando la temperatura baja a un nivel letal. Algunos hechos están bastante bien verificados, como: la congelación y formación del hielo extracelular; deshidratación causada por el crecimiento de los cristales de hielo extracelular; aumento de la concentración de solutos; desnaturalización de las proteínas del protoplasma, acompañado de cambio de los enlaces químicos y destrucción de las lipoproteínas de la membrana celular y cambios químicos irreversibles en las proteínas, sales, azúcares y ácidos orgánicos (Levitt, 1980).

El congelamiento intracelular es mucho menos frecuente y no hay ningún mecanismo de resistencia; ninguna planta puede sobrevivir a la formación de cristales de hielo dentro de las células.

La descongelación rápida, fenómeno que puede ser importante en la región andina, ya que a noches de mucho frío les pueden suceder días calurosos con mucha radiación solar, es muy grave, porque cuando hay una descongelación rápida, el plasmalema se rompe por los movimientos bruscos de la membrana.

Los cambios en la membrana celular son de capital importancia para comprender los mecanismos de evasión que desarrollan las plantas, (Steponkus, 1979). Lyons y Breidenbach (1979) consideran algunas estrategias para alterar la sensibilidad al frío en las plantas, basadas en cambios que puede sufrir la membrana celular. Cuando viene una baja brusca de temperatura ocurren cambios irreversibles en el estado físico de la membrana, se restringe la fluidez de la membrana la cual produce también una serie de cambios químicos.

En el control de la fluidez de la membrana, juega un rol importante la composición de ácidos grasos y el grado de saturación de los lípidos. Los lípidos de la membrana de plantas sensibles al frío tienden a tener una mayor proporción de ácidos grasos saturados.

Los ácidos grasos se solidifican con las bajas temperaturas. Cuando la membrana se satura con lípidos se impermeabiliza y la planta se hace susceptible.

El mecanismo de evasión al congelamiento intracelular depende de la permea-

bilidad de la membrana para permitir una rápida salida del agua de la célula. Si la membrana tiene una gran proporción de lípidos saturados se impermeabiliza y la célula se hace más sensible al frío.

En una investigación preliminar, Alexander (comunicación personal), analizó la distribución de ácidos grasos en cuatro muestras de hojas de maíces peruanos colectados a diferentes altitudes, desde 500 a 3200 msnm, para determinar la posible asociación del grado de saturación de ácidos grasos y adaptación a la altura. Los resultados no mostraron ninguna asociación entre el contenido de ácidos grasos saturados y la altura de la muestra, pero si hubo diferencias en la cantidad de los componentes de los ácidos grasos.

El futuro de la investigación sobre tolerancia al frío en Latinoamérica, debe estar orientado al estudio de esos mecanismos de evasión, su asociación con alguna característica morfológica fácilmente observable, cuya herencia puede ser determinada, para seleccionarla.

## FACTORES QUE CONDICIONAN LA TOLERANCIA AL FRÍO

La tolerancia al frío en los cereales es un carácter muy complejo. Muchos factores condicionan la diferencia entre genotipos para soportar bajas temperaturas. Muchos de esos factores han sido estudiados en países de climas templado o frío, donde la planta puede sufrir daños solo en dos etapas bien definidas de su desarrollo: la etapa inicial, desde la germinación hasta el establecimiento de la plántula (primavera) y la etapa final del cultivo, antes de la cosecha (otoño). En las tierras altas de los países tropicales, descensos de temperatura de bajo de 0 grados C pueden ocurrir en cualquier etapa del cultivo, complicándose por ello el estudio de este factor y limitando la aplicabilidad de las investigaciones realizadas en otras latitudes.

En las primeras décadas del siglo se llevaron a cabo en los EE.UU. muchas investigaciones sobre aspectos genéticos y fisiológicos de la tolerancia al frío. Aunque en general esos estudios tienen algunas limitaciones, como la reducida

diversidad genética porque casi todo se hizo con material de la faja maicera; y la dificultad de eliminar "escape" en los experimentos de campo, los resultados han permitido sentar las bases de los principales factores que afectan la tolerancia al frío de diferentes genotipos en diferentes condiciones ambientales, y condiciones inherentes de la semilla.

Las primeras investigaciones asociaron el contenido de humedad del grano con el daño producido por el frío. Kiesselbach y Ratclif (1918) estudiaron la relación entre el contenido de humedad del grano y el daño causado por el frío. Muestras de maíz de distinta humedad se expusieron durante 24 horas a temperaturas que variaron de 32 a 28 grados F. Granos con menos de 25% de humedad germinaron 100%; a medida que aumento el porcentaje de humedad disminuyó la germinación: de 25 a 45 por ciento de humedad, germinó más de 80%; de 45 a 55% de humedad, 33%; de 65 a 75% de humedad, 1%; y las semillas con más de 75% de humedad no germinaron.

Rostie en 1939, trató muestras de semillas de maíz con cuatro diferentes porcentajes de humedad: menos de 15%; de 15 a 19.9%; de 20 a 24% y más de 25%, con siete tratamientos de baja temperatura y un testigo. Cada 5 días se hizo una prueba de germinación.

En general cuando el tratamiento consistió de temperaturas continuas, el daño es mucho menor que a temperaturas alternas. El daño estuvo relacionado con el porcentaje de humedad del grano. Aún a 10 grados F, el porcentaje de germinación no disminuyó cuando el porcentaje de humedad fue menor de 15%. Cuando el porcentaje de humedad fue mayor de 25%, la habilidad de germinación decreció considerablemente en todas las condiciones de almacenamiento.

En un experimento desarrollado por Cooper y Mac Donald (1970), diseñado para estudiar la relativa contribución de la fuente de energía para el desarrollo de la planta: endosperma y fotosíntesis no jugó ningún papel (dos hojas emergidas). A partir de ahí el ritmo fotosintético aumenta y la energía para el desarrollo proviene solo de la fotosíntesis debido tanto a un aumento del área foliar, como a un aumento en la fijación del CO<sub>2</sub> por unidad de área; pero una adecuada capacidad fotosintética depende de una adecuada reserva en el endospermo. Cuando

se eliminó parcialmente el endospermo en semillas con embriones del mismo tamaño, decreció el ritmo de expansión del área fotosintética. Conclusión: las reservas de semillas son importantes no solo para suplir energía para desarrollo temprano, sino también para producir una adecuada área foliar para un crecimiento más rápido.

Blacklow (1972) estudió la influencia de la temperatura sobre la germinación y alargamiento de la radícula y el coleptilo en maíz. El alargamiento es una función lineal del tiempo y es mayor a 30 grados C y cesa a 9 grados C, y 40 grados C o más (o sea es lineal entre 10 y 30 grados C). El contenido de humedad de la semilla a 30 grados C fue de 57%, y aumenta a temperaturas menores (75% a 12 grados C) cuando se inicia el alargamiento de la radícula. El alargamiento del coleoptilo y mesocotilo, ocurrió a mayor humedad, más o menos 10% más que el contenido de humedad de la semilla cuando se inició el alargamiento de la radícula.

Rossmann (1949) probó la tolerancia al frío en 25 líneas de maíz, asociándola con la capacidad de germinación y el vigor de la plántula. Se cosecharon mazorcas con 50, 40 y 30 por ciento de humedad del grano. Esas se llevaron a cuarto frío a 35 grados F, para luego helarlas a 20 grados F y deshielarlas a 45 grados F. Después de 24 horas del tratamiento frío, se secaron a 95 grados F.

El vigor de las plántulas se probó, pesando la parte verde de las plántulas, 16 días después de la siembra. El vigor de la semilla se redujo como resultado del tratamiento del frío a la semilla, y, la variación fue cuantitativa: más daño a la semilla - menor vigor de la plántula.

El porcentaje de reducción de la germinación con la madurez de la semilla fue altamente significativa (independiente de la humedad de la semilla), lo cual sugiere que la asociación entre tolerancias al frío con madurez de la semilla, se debe a que la acumulación de materia seca o cambios en la madurez fisiológica están condicionando la resistencia (no solo el contenido de humedad).

Carl y Obendorf (1972) estudiaron el desarrollo de 4 híbridos en cuatro diferentes temperaturas de la zona radicular del suelo. Las temperaturas menores

a 12 grados C, no redujeron el porcentaje de sobrevivientes pero retrazaron la germinación. El número de hojas de la plántula se incrementó con un aumento secuencial en la temperatura de la zona de la raíz.

Las diferencias más grandes se aprecian en el crecimiento del tallo. La altura de la planta era solo de 13 a 37% de la del control (20 grados C), cuando la planta creció a 12 grados C, después de once semanas de la siembra; el peso también se redujo de 14 a 50% del control. Hay diferencia entre híbridos. Aquellos que crecieron a 12 grados C no florecían aún cuando los que crecieron a 20 grados C estaban floreciendo. La panoja era también más pequeña. La conclusión es que cada híbrido tiene un rango de tolerancia a los suelos fríos.

La temperatura del suelo es más crítica durante el período de plántula. El ritmo de extensión foliar se dobla a cada aumento de 10 grados C de la temperatura del meristema, desde 0 a 30 grados C. El crecimiento de la radícula fue diferente en dos híbridos, germinando a 5 grados C.

Si, como indica la literatura, la tolerancia al frío en estados avanzados de desarrollo, depende del daño en plántula, las investigaciones hechas en climas templados deben ser útiles también para la zona andina, desde que los procesos fisiológicos en ambas latitudes deben ser los mismos.

## HERENCIA DE LA TOLERANCIA AL FRÍO

Cada uno de los factores que condicionan la tolerancia al frío debe tener un sistema genético independiente; por lo tanto, el estudio de la herencia de esta característica se hace sumamente complejo. Esa misma complejidad puede ser la causa de que poblaciones que se están cultivando año tras año en zonas frías, como es el caso de la mayoría de las razas de la zona andina, no han desarrollado niveles aceptables de tolerancia por selección natural.

Esto no quiere decir que no exista variabilidad para esa característica. Lo más probable es que existan genes que gobiernan algunos de los factores que condicionan la tolerancia al frío, aunque estos genes estén en frecuencias muy bajas, debido a que al no presentarse todos los años las condiciones de frío en

una determinada etapa de desarrollo, la presión de selección se ejerce muy débilmente en la población.

Lo más probable es que el germoplasma de la región andina sea tolerante al frío en algunos estados del desarrollo de la planta. Esta tolerancia solo podrá ser detectada cuando las evaluaciones se hagan en estos estados específicos de desarrollo.

De acuerdo a los reportes de la literatura sobre el efecto del frío en diferentes genotipos, es común encontrar diferencias entre ellos, principalmente en pruebas bajo condiciones controladas. Así, Holbert y Burlison en 1929, encontraron una amplia variación en resistencia al daño producido por las heladas en el otoño (planta adulta), en líneas, híbridos simples y variedades comerciales de maíz. Algunas líneas murieron cuando se expusieron por pocas horas a temperaturas que variaban de 45 a 50 grados F. Muchas fueron dañadas o murieron con una sucesión de noches frías con temperaturas que variaban de 45 a 33 grados F. Otras soportaron 6 horas de 32 a 30 grados F, y unas cuantas soportaron hasta 28 grados F, durante cuatro horas.

En la primavera de 1925, la temperatura bajo más de 32 grados F durante varias horas hasta 25 grados F, y unas pocas líneas y simples de 4 a 6 pulgadas de alto, escaparon sin aparente daño. Bajo las mismas condiciones muchas otras fueron dañadas y algunas nunca se recobraron.

Rossmann (1949) probó 25 líneas para tolerancia al frío en el estado de semilla (frío en la semilla en la planta madre). Las líneas más tolerantes fueron "dulces" y las "pop" las más susceptibles. Semillas con alto contenido de proteínas fueron tolerantes. La línea WF9 fue una de las más tolerantes de todas las líneas estudiadas.

El mismo autor estudió la importancia relativa de los efectos maternos Vs. el embrión en la tolerancia al frío de las semillas. Él hizo todas las cruces posibles entre cuatro líneas, las autofecundó y además hizo los cruces recíprocos. Las líneas fueron menos dañadas por el frío que los híbridos, sobre todo cuando el frío ocurre cuando la semilla tiene 50 y 40% de humedad; esto es, debido quizá

a que las líneas alcanzan la madurez antes que los híbridos (porcentaje del total de materia seca acumulada) a la misma humedad del grano.

Se tuvo diferencias significativas entre cruces recíprocos, indicando efectos maternos; el progenitor materno tuvo un mayor efecto en el daño que el paterno. Los efectos maternos pueden ser debidos al pericarpio o al endospermo.

Hubo diferencias entre progenitores femeninos. También hay influencia del progenitor paterno. Los híbridos resistentes (R) x resistente fueron menos dañados que susceptible (S) x susceptible; R x S fue intermedio; pero depende del genotipo; cuando se uso WF9 o OS420 como hembra, el híbrido fue cercano a la media de R x R y cuando se usó W22 y M14 como hembra, el híbrido fue cercano a la media de S x S.

El vigor híbrido de los cruces no aumentó la tolerancia al frío. El aumento el vigor de las plántulas a través de la hibridación, decrece la tolerancia al frío de la semilla.

También hay efectos maternos para vigor de la plántula. Mock y Eberhart, en 1972, revisaron la literatura sobre la herencia de la tolerancia al frío:

Tatum y Zuber (1843) concluyeron que daños del pericarpio en la región del embrión fue la causa principal de bajo número de plantas en condiciones ambientales adversas.

Hooker y Dickson (1952) y Helgason (1953) encontraron que acción génica en el embrión contribuía a la tolerancia al frío.

Pinnell (1949), Helgason (1953) y Grogan (1970) encontraron efectos maternos y citoplasmáticos, asociados con la herencia a la tolerancia al frío.

Pinnell (1949) sugirió que los efectos maternos se debían al doble complemento de genes del endospermo.

Grogan (1970) concluyó que un sistema genético aditivo multifactorial

condiciona tolerancia al frío en maíz.

Mock y Eberhart (1972) concluyeron que, debido a que la herencia era aditiva y de baja heredabilidad, el método más eficiente para mejorar esa característica era el de Selección Recurrente. El mismo autor estuvo en el Perú en 1977, y después de visitar varias regiones de la Sierra del Perú, donde el excesivo frío es limitante para el cultivo de maíz, sugirió un programa de Selección Recurrente basado en la selección de medios hermanos, para aumentar la tolerancia al frío y el rendimiento. Las características que podrían ser empleadas como criterio para la tolerancia al frío serían: 1) el porcentaje de semillas germinadas (ver definición de Índice de emergencia en el capítulo siguiente); 2) vigor o desarrollo de la planta durante la etapa de desarrollo vegetativo; 3) porcentaje de plantas que han producido panojas y pistilos viables; y, 4) Índice de llenado de grano, que se obtiene al dividir el número de mazorcas bien formadas, entre el número total de mazorcas producidas.

Eagles y Hardacre, en Nueva Zelanda (1979) analizaron la variancia genética de la capacidad de germinación y emergencia a 10 grados C, utilizando el Diseño I. Como la variancia debida a machos contiene solo variancia genética aditiva, y en dos caracteres: porcentaje de germinación y peso de semilla, la variancia de machos no fue significativa, los autores concluyeron que esos dos caracteres fueron predominantemente de herencia materna. Otro hecho que sugiere que herencia materna es importante es que no hay depresión de endocria para esos dos caracteres.

Para tiempo de emergencia, los estimados de variancia de dominancia fueron mucho mayores que los de variancia aditiva: 6.6/2.7, lo que indica acción genética de parcial dominancia a sobredominancia en muchos genes segregantes; pero las asunciones, como no existencia de herencia extracromosómica, pueden invalidar esos estimados.

Correlaciones fenotípicas entre porcentaje de germinación, % de emergencia y tiempo de emergencia, fueron altamente significativas en S1 y FS (hermanos-completos). Las correlaciones fueron muy bajas, casi 0 entre peso de semilla y los otros caracteres.

Ellos concluyeron que existe variancia de dominancia de considerable magnitud para una rápida emergencia a 10 grados C (tiempo de emergencia y porcentaje de emergencia).

La herencia materna parece ser muy importante para peso de semilla.

## METODOLOGIAS DE EVALUACION

En general la evaluación para tolerancia al frío se hace al estado de plántula, en los países de clima templado. Los resultados obtenidos seleccionando en ese estado pueden tener vigencia en América Latina, siempre que exista una alta asociación entre la tolerancia entre los primeros estados de desarrollo y la tolerancia en estados más avanzados de desarrollo.

La literatura al respecto es muy contradictoria. Holbert, en 1930, encontró que en algunas líneas y cruza de maíz hay una alta correlación entre resistencia al frío en la primavera (plántula) y en el otoño (planta adulta); pero en otras líneas esa correlación no es significativa. Muchas de las investigaciones posteriores, dan resultados igualmente contradictorios.

No importa lo contradictorio que sean esos resultados con relación a la tolerancia al frío; se debería tener la seguridad de que la selección al estado de plántula puede servir, si no para seleccionar materiales tolerantes al estado de planta adulta, pero por lo menos genotipos más estables y de mayor capacidad de rendimiento.

Hoard y Crosbie (1985) revisaron la literatura, concluyendo que hay una correlación positiva entre el rendimiento y características de planta que expresan vigor, pero la correlación entre rendimiento y la habilidad para germinar en suelos fríos es menos concluyente.

Para estudiar esa asociación, ellos usaron el material genético sugerido por Smith en 1979 para evaluar el progreso de la selección recurrente para tolerancia al frío: poblaciones parentales: C.O y todos los ciclos de selección: C1

hasta C5; y los 6 posibles cruces entre poblaciones: C0 x C0, C1 x C1 ..... C5 x C5; además de líneas endocriadas de cada ciclo de selección y líneas extrafadas de cada una de las cruces.

Los resultados mostraron que la selección para tolerancia al frío resultó en un aumento de la resistencia al acame en una población, pero una disminución de esa característica en otra población. Los investigadores concluyeron de que la selección de líneas per se no solo mejora la tolerancia al frío sino que mejora otras características asociadas con un alto rendimiento.

Hay una serie de ventajas en la selección en base a la tolerancia en los primeros estados de crecimiento, siendo la más evidente, el hecho de poder seleccionar rápidamente genotipos en el laboratorio, que se cultivan en el campo en condiciones normales. Esa ventaja es mucho más importante si se adopta cualquier método de selección recurrente.

El criterio de selección basado en el 1% de plantas emergidas 30 días después de la siembra se adoptó en base a los resultados de Mock y Eberhart (1972). Ellos usaron tres criterios: 1) % de emergencia; 2) Índice de emergencia = (plantas emergidas en 1 día) (días después de la siembra)/total de plantas emergidas 30 días después de la siembra; 3) peso seco de las plántulas.

En ambas poblaciones donde se estimaron variancias, la heredabilidad de los experimentos en el campo fueron relativamente altos y los calculados en base a los resultados en la cámara de crecimiento fueron bajos. Cuando se combinaron los datos a través de localidades la heredabilidad fue baja a causa de la interacción genotipo x ambiente.

La variancia genotípica de los 3 caracteres fue alta, excepto "peso seco" para una población, medido en la cámara de crecimiento.

Las 3 características están correlacionadas, pero la correlación depende de la población. Ellos encontraron que la ganancia de selección usando selección en el campo puede ser alta.

Del 85 al 90% del avance de selección fue debido a la ganancia basado en el porcentaje de emergencia.

Mock y Bakri, en 1976, presentaron información sobre ganancia obtenida en esas 2 poblaciones seleccionadas para tolerancia. La única ganancia después de 3 ciclos de selección usando Selección recurrente para líneas S1 per se fue la de % de emergencia. Esa ganancia estuvo asociada a un mayor vigor de plántula.

En el Centro de Investigaciones Agrícolas de Ontario, en Canadá, (Smith, 1985) también están usando una metodología basada en la evaluación al estado de plántulas.

Las investigaciones en esta estación consisten en la evaluación de:

- a) la capacidad de la semilla, de germinar en suelos fríos y
- b) crecimiento temprano de la plántula.

La metodología consiste en hacer germinar las semillas en la oscuridad y contar el número de días requeridos para: 1) emergencia de la radícula; 2) emergencia del coleóptilo; 3) alargamiento del coleóptilo hasta 1 cm y 4) 1ª hoja emergiendo del coleóptilo.

Se hacen germinar las semillas a 30 grados C hasta que el coleóptilo tenga 1 cm de longitud y luego las semillas se transfieren a una cámara con ambiente controlado para que desarrollen a 10 grados C. Las tolerantes crecen normalmente; las susceptibles muestran dificultades para desarrollar: incapacidad de la primera hoja para romper el coleóptilo; incapacidad de desarrollar clorofila, etc.

Muñoz (1978) ha discutido la dificultad de evaluar al estado de plántula, en condiciones controladas en cámaras frías, y propone una metodología que puede ayudar a detectar con más precisión una plántula tolerante, evitando el escape. La metodología consiste en sembrar varias semillas en una mata o golpe y seleccionar solo las plantas tolerantes que tengan vecinas susceptibles, después de una helada.

## GERMOPLASMA TOLERANTE AL FRIO

Podemos definir como tolerancia al frío, la habilidad de la semilla para germinar bien en suelos fríos; desarrollar bien en condiciones de bajas temperaturas; producir flores viables, suficiente polen y un gametofito femenino bien desarrollado; producir un rendimiento normal, o sea, granos bien formados y viables; es también la capacidad de las plantas para recuperarse del daño producido por las bajas temperaturas y seguir desarrollando hasta dar una producción satisfactoria.

En los últimos 10 años se han realizado algunas investigaciones para detectar germoplasma tolerante al frío. En 1979, Miedema, en Holanda, estudió el efecto de bajas temperaturas en el desarrollo de las plántulas en 21 poblaciones de México, EE.UU., Portugal, Suiza, Holanda, Rusia y 8 poblaciones de CIMMYT. Él usó la proporción: peso seco de la plántula en la época fría/peso seco de la plántula en la época normal, como una indicación de la adaptación a bajas temperaturas, independiente del vigor. Los mayores valores fueron: 0.91 y 0.90, correspondientes a los Pooles 4 y 5 de CIMMYT, y 0.73 de México Grupo 17 (raza Chalqueño). Además, los pooles 4 y 5 fueron los que emergieron más temprano en la época más fría.

Mock y Skrdle, en 1978, en los EE.UU., probaron mucho germoplasma de diferente origen, concluyendo que Gaspé Flint y Cónico, tienen una capacidad de emergencia a bajas temperaturas mayor que otras razas. Ellos encontraron que la emergencia rápida y el porcentaje de emergencia estuvieron asociados. La mayoría de las plántulas que no germinaron, mostraron signos de infección fungal.

Hardacre y Eagles, en Nueva Zelandia (1979), estudiaron la habilidad para crecimiento autotrópico a 13 grados C (se considera que esta temperatura está por debajo del límite para el crecimiento autotrópico en las condiciones de los Estados Unidos ).

Tres razas peruanas de altura: Huancavelicano, San Gerónimo y Confite Puneño; la variedad Criollo de Toluca de México, Northern Flint de Austria,

y 2 líneas de la Población 5 de CIMMYT, se cruzaron con líneas norteamericanas.

Las cruzas por Huancavelicano: Huancavelica x W153R y Huancavelica x A619, así como Huancavelicano per se mostraron un porcentaje de sobrevivencia mayor de 75%, o sea que esta raza tiene genes para crecer a 13 grados C. También, la raza San Gerónimo, per se y en cruzas por W153R; y también Confite Puneño x A619. En general, las tres razas peruanas tienen mayor capacidad autotrófica que las otras razas; y esta característica se transmite a la descendencia.

Las mayores ganancias en peso seco a 104 días después de la siembra, fueron de las 3 poblaciones peruanas, y de una línea del Pool 5 de CIMMYT: 5-379. La población Criollo de Toluca no difiere de la línea norteamericana per se, pero las cruzas si son buenas.

En Nueva Zelandia, Eagles y Brooking (1981) identificaron poblaciones que germinaron más rápidamente que los maíces dentados de los EE.UU., en experimentos conducidos en cámaras de crecimiento con temperaturas que variaron de 10 a 12 grados C.

Las variedades que germinaron más rápidamente que el híbrido norteamericano usado en la prueba, fueron: Criollo de Toluca de México, y dos líneas seleccionadas del Pool 5; todas ellas más el Confite Puneño del Perú, mostraron un porcentaje de emergencia mayor que el híbrido norteamericano. La variedad San Gerónimo de Perú, que es la más cultivada en la Sierra Central del Perú, y debido a sus características de grano y su precocidad, es progenitor insustituible en los programas de mejoramiento para zonas altas, fue una de las más lentas en germinar (49.9 días) y una de las que menos porcentaje de emergencia tuvo (38%).

En otro experimento se probaron cruzas, entre ellas las que tenían como progenitores al Confite Peruano, Criollo de Toluca, y una variedad proveniente de Austria, emergieron más rápidamente que el híbrido norteamericano. La que más rápido germinó fue la crusa entre las dos líneas del Pool 5. También germinaron rápido: Gaspé Flint del Canadá, Amarillo tipo Cónico de México y Criollo

de Toluca; todas germinaron totalmente, casi 100%.

Las poblaciones que tienen germoplasma de la raza Cónico: Amarillo tipo Cónico, Grupo E-Blanco Sabanero y Chihuahua-Grupo E, y Chihuahua x Titicaca emergieron más rápidamente.

Los resultados de esas investigaciones se tomaron en cuenta para planear el proyecto de Selección para tolerancia al frío en la Sierra del Perú. Este proyecto se inició en 1977, para solucionar el principal factor limitante de la Sierra del Perú, que es el daño producido por las heladas, o descensos bruscos de temperatura que pueden suceder en cualquier estado de la vida de la planta. El proyecto se localizó en el Instituto de Sierra de la Universidad Nacional Agraria La Molina, en la provincia de Jauja, departamento de Junín, a 3.400 m s.n.m.

En el primer año del proyecto del Dr. Mock y el Dr. Mortison, fitomejorador especialista en selección para tolerancia al frío, y fitopatólogo con amplia experiencia en patógenos que afectan a la semilla en suelos fríos, respectivamente; visitaron la Universidad Nacional Agraria La Molina (1) y los campos de la Sierra donde se llevaba a cabo el mejoramiento genético de maíz para las zonas altas del Perú.

El germoplasma con el que se inició el proyecto puede agruparse en cinco grupos:

- 1) Germoplasma nativo del Perú, adaptado a las regiones altas, precoces y con alta frecuencia de genes para tamaño grande del grano y textura harinosa. En ese grupo se incluyó dos variedades que aunque no eran peruanas, tenían probada adaptación a las condiciones de altura del Perú, y tienen un aceptable tipo de grano: La raza mexicana, Cacahuacintle, y la variedad guatemalteca Huatayán Xela.

---

(1) *La visita de los Drs. Mock y Mortison fue un aporte de USAID al Proyecto de Desarrollo de Maíz Amiláceo, que conducía cooperativamente el Programa de Maíz de la Universidad Nacional Agraria La Molina, el Ministerio de Agricultura y el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA).*

Esas variedades se sembraron en Jauja en 1977. Dentro de cada una se embolsaron las plantas más precoces, bien conformadas y exentas de daño producido por heladas. Con el polen de esa planta se polinizaron 5 plantas de la misma variedad y de las mismas características. Se descartaron a la cosecha las mazorcas mal formadas.

En 1978 se sembraron 2 experimentos de familias de medios hermanos (se juntó en una misma familia la progenie de todas las mazorcas cruzadas por un mismo macho). Se usó el diseño de látice 6 x 7 con 2 repeticiones sembradas en Jauja y 2 en Huancayo.

Además de rendimiento se midió la precocidad, la altura de planta y mazorca, el aspecto y sanidad de la mazorca (5=muy buena o muy sana; 1=muy mala o muy podrida), y se contó el número de mazorcas por planta, el % de plantas tumbadas y quebradas y el % de mazorcas heladas y podridas.

En el primer experimento se probaron 8 familias del Compuesto Cacahuacintle, 9 de Cacahuacintle x San Gerónimo, 9 del Compuesto racial San Gerónimo I, 6 del Compuesto racial Piscorunto I y 4 del Compuesto racial San Gerónimo Huancavelicano II. Además se incluyó en el ensayo las 5 poblaciones parentales más el Compuesto racial San Gerónimo II.

Las familias de mayor rendimiento fueron las del Compuesto Cacahuacintle. En general, son también bien precoces. Sin embargo presentan más % de plantas tumbadas y quebradas. El % de mazorcas heladas es mayor en las familias del Compuesto Cacahuacintle y en el San Gerónimo que en las familias del Compuesto Cacahuacintle x San Gerónimo.

En el segundo ensayo se probaron 12 familias del Blanco Amiláceo Precoz, 8 del Sintético B.U. x S.G., 2 de Huatayán Xela, 10 del Sintético Pardo x S.G., 6 del Sintético B.U. x Cabana. Además, se incluyó en el experimento 4 poblaciones parentales. Todas las familias del Blanco Amiláceo Precoz ocuparon los primeros lugares; todas ellas son más rendidoras y más precoces que la población parental. Presentan también un bajo porcentaje de mazorcas dañadas por el frío.

El sintético se formó en 1980, polinizando plantas provenientes de la semilla

de las autofecundaciones de las plantas cuyas progenies de medios hermanos se probaron en el experimento.

En total se seleccionaron, por habilidad combinatoria general, 19 líneas de un total de 74 familias probadas.

En 1980 se completó la primera recombinación del sintético denominado Sintético A, el mismo que está formado con 2 líneas del Compuesto Cacahuacintle, 3 del Compuesto Cacahuacintle x San Gerónimo; 2 del Compuesto Racial San Gerónimo; 1 del Compuesto Racial San Gerónimo Huancavelicano; 7 del Compuesto Blanco Amiláceo Precoz; 2 del Sintético Blanco Urubamba x San Gerónimo; 1 del Sintético Pardo x San Gerónimo y 1 de la variedad Huatayán Xela.

El sintético fue recombinado durante varios años. Las características de mazorca y grano distan mucho de ser deseables; a pesar de que su formación se planeó para tener una reserva de genes responsables del tipo de grano andino, la incorporación de germoplasma foráneo le ha quitado mucha calidad.

- 2) Para utilizar la tolerancia al frío en la etapa de germinación y plántula se formó otra población, combinando la capacidad de rápida emergencia en bajas temperaturas, propia del germoplasma mexicano, y otros de regiones templadas, con la capacidad de crecimiento autotrópico propio del peruano. Esta población se formó cruzando 11 cultivares peruanos y el Compuesto Cacahuacintle, por 19 poblaciones precoces de altura, provenientes del CIMMYT. Las cruces se autofecundaron en 1978 y se sembraron en 1979. En 1980 se evaluó la capacidad de germinación de 752 líneas.

Los resultados del comportamiento de las líneas provenientes de 12 de las cruces muestran notables diferencias entre grupos de líneas. Las que mejor germinan son las que provienen de cruces que tienen como hembras a (Morado x UNCEF 242 x Pool 4). Líneas provenientes de cruces en las que Chihuahua x Titicaca fue el progenitor masculino, no germinaron; ninguna de las 18 líneas provenientes de esos cruces germinaron. En gene-

ral, las cruzas por Puebla Opaco x Barraza, germinan relativamente bien, pero hay diferencias muy grandes entre líneas de la misma craza. Por ejemplo, el promedio de la craza (Puebla Opaco x Barraza) por el Sintético Blanco Urubamba x San Gerónimo es de 53%; pero su desviación standard es 29, lo cual significa que las dos terceras partes de esa población de líneas germina entre 24 y 82%.

Los resultados mostraron diferencias notables entre líneas provenientes de cruzas diferentes, pero muy pocas poblaciones tienen la capacidad de transmitir a su descendencia la habilidad de germinar bien en esas condiciones. Solo las líneas de las cruzas que tenían a (Morado x UNCEF 242 x Pool 4), mostraron porcentajes de germinación de más de 50%, cuando se usó como hembra (53.9 14.8) en promedio de las líneas de 5 cruzas; y (54.3 0) cuando se usó como macho (una craza). El otro progenitor que incluye germoplasma francés (Francia x Precoz de México), mostró un porcentaje de germinación promedio de 7 líneas, de 33.4%, cuando se usó como hembra, y de solo 17.0% cuando se usó como macho.

También hay diferencias muy evidentes entre los cruces recíprocos. Estas deben ser consecuencia de efectos citoplasmáticos, más que de simples efectos maternos, ya que los que se evaluó son progenies de autofecundaciones de las cruzas, o sea, que una misma planta es el progenitor masculino y femenino a la vez.

En el Cuadro 2 se muestran diferencias muy notables: Cacahuacintle x (Chihuahua x Titicaca) tiene un valor de 0% en promedio de 6 líneas, y la craza recíproca, un valor de 26.8% en promedio de 5 líneas. Las diferencias entre cruces recíprocos de (Sintético BU x SG) por (Pueblo Opaco x Barraza) también son notables.

No es posible sacar ninguna conclusión de estos resultados; sin embargo, se observan algunas tendencias que podrían concretarse en los siguientes puntos:

- Existen notables diferencias entre cruzas. Algunos genotipos, como por

CUADRO 2. Porcentaje de germinación en campo de líneas S<sub>1</sub> obtenidas de híbridos: foráneos x peruanos

HEMBRA	MACHO	Nº de líneas probadas	% germinación	
			x	1 s
C. Cacahuacintle	x C. Cacahuacintle	7	41.7	17.5
C. Cacahuacintle (Chihuahua x Titicaca)	x (Chihuahua x Titicaca)	6	0	0
C.R. Píscorunto	x C. Cacahuacintle	5	26.8	10.5
C.R. Píscorunto	x (Chihuahua x Titicaca)	12	0	0
C.R. SG I	x (Puebla Opaco x Barraza)	20	46.4	14.1
(Puebla Op. x Barraza)	x (Puebla Opaco x Barraza)	3	44.0	17.4
(Sintético BU x SG)	x C. Cacahuacintle	26	54.4	32.5
(Sintético BU x SG)	x C. Cacahuacintle	8	1.0	1.85
(Puebla Opaco x Barraza)	x (Puebla Opaco x Barraza)	8	10.5	21.2
(Morado x UNCEF 242 x Pool 4)	x (Sintético BU x SG)	25	53.0	29.1
(Morado x UNCEF 242 x Pool 4)	x (C.R. SG I)	4	70.0	2.8
(Morado x UNCEF 242 x Pool 4)	x Bco. Am. Precoz	8	65.8	18.2

ejemplo, Chihuahua x Titicaca, produce híbridos que germinan muy mal en todos los casos. El C.R. Piscorunto produce híbridos muy malos con algunos progenitores, y relativamente buenos con otros. Otros progenitores que producen híbridos que germinan mal son el Sintético BU x SG y el Compuesto Grano grande - Mazorca larga.

- El único progenitor que parece conferir a sus híbridos buena capacidad para esta característica es (Morado x UNCEF 242 x Pool 4). En cruzas con C.R. San Gerónimo I, fue el que mejor germinó, en las cuatro familias probadas. También combina bien con Blanco Amiláceo Precoz.

- Desde que la semilla fue progenie de la autofecundación y no semilla proveniente de la crusa, la diferencia en cruzas recíprocas, indica existencia de efectos citoplasmáticos, más que simples efectos maternos. No hay diferencias muy notables, pero si lo suficientemente grandes para profundizar en este fenómeno en futuros estudios. El C. Cacahuacintle, por ejemplo, en todos los casos analizados da mejor respuesta, si se usa como macho.

En la última semana de diciembre se evaluó el daño causado por una fuerte helada, que ocurrió una semana antes. La evaluación se debe tomar con reserva, debido a que la helada no afectó a todo el campo por igual, de modo que puede haber habido mucho "escape", y, por lo tanto, las líneas que no fueron afectadas no necesariamente son tolerantes.

Muy pocas líneas fueron calificadas como tolerantes. Los progenitores cuyas cruzas dieron los mayores porcentajes de líneas tolerantes son: C.R. Piscorunto I, Compuesto Cacahuacintle, Chihuahua x Titicaca, Amarillo Harinoso Precoz, Harinoso Precoz Chico y Puebla Opaco x Barraza.

En 1982 se sembraron 103 líneas seleccionadas por su capacidad de germinar en ambientes fríos. Posteriormente se evaluaron las líneas por su aspecto de plántula, a los 25 y 50 días después de la siembra; y antes de la cosecha se evaluó el aspecto de planta y después el aspecto de la mazorca. Con 22 líneas seleccionadas se hizo un sintético denominado Sintético B.

CUADRO 3. Comportamiento de cuatro poblaciones de CIMMYT, comparados con el San Gerónimo Mejorado y el local.  
Jauja, 1978

POBLACION	Días Floración		Nº mazorcas por planta	Rendimiento kg/ha
	Masculino	Femenino		
Pool 2: Blanco Dentado Precoz de Altura	86	91	0.92	3,430
Pool 4: Amarillo Cristalino Precoz Altura	84	89	0.97	3,430
Pool 1: Blanco Harinoso Precoz de Altura	92	100	0.83	2,627
Pool 5: Amarillo Dentado Precoz de Altura	86	91	0.79	2,309
PMV-662: (San Gerónimo Mejorado)	88	93	1.06	2,930
San Gerónimo Local	80	84	0.91	2,102

El sintético supuestamente ha concentrado todo el germoplasma disponible para aumentar la frecuencia de genes favorables para tolerancia al frío en los primeros estados de desarrollo.

El germoplasma que intervino en la formación del Sintético B es muy variable y de muy diverso origen, principalmente de México. Ese era todo el germoplasma que CIMMYT concentró para iniciar un proyecto cooperativo de mejoramiento de maíz para las partes altas de la zona andina. Además, CIMMYT tenía disponible poblaciones heterogéneas definidas por el color, la textura de grano, el período vegetativo y la altura de adaptación. Cuatro de esos pools son particularmente importantes, en razón de los resultados experimentales de Miedema, 1979, y Hardacre y Eagles en 1979, presentados en este mismo capítulo.

Esas poblaciones se probaron en 1978 en Jauja, junto con dos testigos peruanos: PMV-662 (San Gerónimo Mejorado), y el San Gerónimo Local. Los resultados se muestran en el cuadro 3. En general, las poblaciones de CIMMYT se comportan en forma similar que los testigos, excepto el Blanco Harinoso Precoz de altura, que es más tardío, y el Amarillo Dentado Precoz de altura cuyo bajo índice de mazorcas por planta pueden ser una evidencia de su falta de adaptación. Esas poblaciones de CIMMYT han sido probadas también en el Centro de Investigaciones Agrícolas de Ontario, en Canadá. Los pools 4 y 5 germinaron bastante bien y las plántulas soportaron temperaturas muy frías, no así el Pool 2, cuyas plántulas fueron seriamente dañadas (Dr. Hope, comunicación personal). El Pool 4 se integró al proyecto de tolerancia al frío del Perú, no individualmente, sino en una cruce incluida en el material de CIMMYT, con el nombre de (Morado x UNCEF 242 x Pool 4); ella, como se ha mostrado en este capítulo, resultó siendo la población cuyas líneas provenientes de las cruces en que intervino como progenitor, muestran mejor capacidad de germinación y vigor de plántula en evaluaciones en condiciones de campo.

- 3) En el año 1967, se inició en la Universidad de Cornell, un proyecto para seleccionar genotipos tolerantes al frío. Las evaluaciones se hicieron para detectar materiales con habilidad para germinar en bajas temperaturas

(7 a 13 grados C); habilidad para crecer y desarrollar a bajas temperaturas y habilidad para resistir durante 15 horas al estado de plántula, temperaturas debajo de 0 (-2 grados C).

En la década del 70, se organizaron y enviaron a varios países, experimentos para probar localmente los materiales evaluados. El experimento que llegó al Perú, se sembró en el Valle del Mantaro, a 3200 msnm. Todas las 16 poblaciones de México pasaron la primera prueba de adaptación; además, se seleccionaron, una entrada de Pakistán, una de Rusia, una del Canadá y una de los Estados Unidos. Todas esas poblaciones se cruzaron con la variedad peruana San Gerónimo, que también había sido seleccionada en Cornell. A este germoplasma se le denomina en adelante material Grogan, en referencia al científico del mismo nombre que coordinó el proyecto internacional de tolerancia al frío.

En general, en toda la región andina hay una marcada preferencia por maíces de granos grandes y harinosos. Las variedades que se cultivan en el Perú y en las tierras altas de Ecuador y Bolivia son únicas en el mundo para esta característica. El germoplasma que se dispone para mejorar la tolerancia tiene un tipo de grano que no puede ser utilizado en las variedades mejoradas. Por esa razón, la F1 de los híbridos del material Grogan por San Gerónimo se retrocruzó a la variedad San Gerónimo.

En el campo de retrocruzamiento se evaluaron 158 familias de hermanos completos (progenies de mazorcas de variedades tolerantes por PMV-662). En general, el germoplasma foráneo tiene plantas más grandes, excepto el proveniente de Rusia (PI-267169) y el de Pakistán (Madja 5500); el material proveniente de México es algo más tardío que el San Gerónimo, pero el grano que es más pequeño, seca más rápido. Típico del germoplasma mexicano es su largo pedúnculo de la mazorca y alto número de macollos, pero es el germoplasma que más posibilidades tiene para conferir a las variedades peruanas resistencia a la roya, y cierta tolerancia al daño causado por las heladas. Las características de germoplasma de diferente origen se muestran en el cuadro 4.

CUADRO 4. Características de familias de hermanos completos de cruzas de germoplasma tolerante al frío por San Gerónimo (SG), JAUJA - IRIS (1978 - 1979)

CRUZA	ORIGEN	CARACTERISTICAS EN RELACION AL SAN GERONIMO					Susceptible Heladas
		Planta	Altura Mazorca	Período Vegetat.	Nº de Macollos	Roya	
Amarillo Ancash x SG	Perú	mayor	mayor	mayor	igual	más	igual
PI-267169 x SG	URSS	menor	menor	mayor	igual	mucho más	mayor
Mexicano x SG	México	mayor	mucho mayor	mayor	mucho mayor	mucho menos	menor
Madja 5500 x SG	Pakistán	igual	igual	mayor	igual	mucho más	mayor
(W59E x w10) x SG	USA	mayor	mayor	mayor	igual	más	igual

Se seleccionaron las siguientes cruzas por aspecto de planta, mazorca y precocidad:

<u>Nº de cruzas</u>	<u>Pedigree</u>
14	Amarillo de Ancash x SG
10	México Grupo 7A x SG
18	México 207 x SG
2	Michoacán 216 x SG
5	Tlaxcala 1 x SG
3	Querétaro Grupo 17 x SG
2	México Grupo 7 x SG
1	México Grupo 17 x SG
2	Hidalgo Grupo 3 x SG
1	PI-267169 x SG
2	Guanajuato 37 x SG
1	W59 - W10 x SG
1	Madja 5500 x SG

Los 62 híbridos con una retrocruza al S.G. se sembraron en 1979, en un látice simple 8 x 8, junto con el PMV-662 y el Compuesto Tolerante al frío x S.G. Los mismos híbridos se han sembrado en 1979, para obtener líneas y seleccionar las mejores recombinaciones en base a pruebas de líneas per se.

Una cruce entre México 207 x S.G., retrocruzado al S.G., ocupa el primer lugar. Es, además, el que presenta el mejor aspecto de la mazorca. Otros híbridos como los que incluyen como progenitores a México Grupo 7A y Michoacán 216, deben ser considerados por su precocidad. PMV-662 ocupó el 63º lugar con 1,264 kg/ha, 12% de humedad en el grano y bajos valores de aspecto y sanidad. En general, el germoplasma mexicano combina bien con el San Gerónimo, aumentando notablemente el rendimiento y mejorando la sanidad de la mazorca, aunque resultan más tardíos; en general, todos resultaron más tardíos que el San Gerónimo, siendo las entradas de origen norteamericano (W59E x W10) y de origen ruso (PI-267169) las más precoces

entre las foráneas. La entrada proveniente de Pakistán (Madja 5500) fue la más prolífica.

En 1980 se sembraron los 62 híbridos seleccionados en 1979, y se obtuvieron 683 líneas que se sembraron en 1981. Se observó su comportamiento, capacidad de rendimiento, precocidad y aspecto.

A la cosecha, se seleccionaron 104 líneas, y 5 mazorcas por línea, que como no fueron polinizadas por la misma línea, se les considera como familias de medios hermanos (Cuadro 5). Las 520 familias de medios hermanos se sembraron en 1982 en Jauja, para iniciar en esa población selección mazorca-hilera. En el primer ciclo, el rendimiento promedio por parcela de 5 metros cuadrados fue de 4.93 kg/parcela. Se seleccionó por rendimiento y aspecto de mazorca el 20% superior, y dentro de cada familia, las 5 mejores mazorcas para tener una población similar en el siguiente ciclo de selección. Las 107 familias seleccionadas tuvieron un promedio de 6.125 kg/parcela.

En el segundo ciclo de selección se retrocruzó nuevamente al San Gerónimo, que polinizó a todas las familias de medios hermanos.

La población sigue seleccionándose en base a familias de medios hermanos. El sistema permite la incorporación de germoplasma de otras poblaciones, previamente probadas. Es así como en el segundo ciclo de selección se incorporó a un total de 78 familias, 4 familias de la F1 de poblaciones mexicanas (material de Grogan) x SG; 2 familias de compuestos raciales peruanos y 1 familia de PI-267169 (URSS) x SG. En el tercer ciclo se incorporaron 10 familias de Cacahuacintle x SG.

- 4) La cuarta fuente germoplásmica la constituyen variedades peruanas de granos muy grandes y harinosos, que se usan en el Perú, principalmente para consumo en "choclo". La variedad San Gerónimo se cruzó en 1975 por la variedad Blanco Urubamba, de la raza Cuzco Gigante. Se recombinó durante varios años.

**CUADRO 5. Número de líneas probadas y seleccionadas de las retrocruzas de germoplasma tolerante al frío por San Gerónimo**

RETROCRUZA	Nº DE LINEAS		Nº FAMILIAS DE MEDIOS HERMANOS
	PROBADAS	SELECCIONADAS	
(México 207 x SG) x SG	203	38	190
(México Grupo 7A x SG) x SG	137	21	105
(Am. Ancash x SG) x SG	157	24	120
(Michoacán 216 x SG) x SG	11	3	15
(Hidalgo Grupo 3 x SG) x SG	17	1	5
(Guanajuato 37 x SG) x SG	14	0	0
(Querétaro Grupo 17 x SG) x SG	34	7	35
(W59E x W10) x SG) x SG	23	3	15
(Tlaxcala I x SG) x SG	20	2	10
(Madja 5500 x SG) x SG	30	5	25
(PI-267169 x SG) x SG	10	0	0
<b>TOTAL:</b>	<b>656</b>	<b>104</b>	<b>520</b>

En 1978 y 1979 se evaluaron per se, 46 líneas obtenidas del Sintético Blanco Urubamba x San Gerónimo (BU x SG, Sint. I), en el IRS, Jauja. En la campaña 78-79 casi todas las líneas mostraron severos ataques de roya, y fueron dañadas fuertemente por una granizada; además, algunas mostraron síntomas del virus del Rayado Fino. Las líneas más afectadas se descartaron y se seleccionaron las 11 mejores líneas por rendimiento.

En la campaña 1979-1980 se cruzaron las 11 líneas entre sí con cruzamientos fraternales planta a planta, formándose el BU x SG Sint. II.

En la campaña 1980-1981 se sembró el sintético para recombinación y una fuerte helada destruyó casi totalmente el cultivo. A la cosecha se seleccionaron las 235 mejores mazorcas, entre las pocas plantas que se habían salvado de la helada. Lo más probable es que las plantas se salvaron por "escape", pero si algunos genes para tolerancia al frío existen en esa población, la frecuencia de ellos debe ser mayor en la población que se origina de las 235 mazorcas seleccionadas.

En la campaña 1982-1983, se sembraron las 235 progenies de mazorcas, que realmente son familias de medios hermanos, en un campo aislado, donde las parcelas se intercalaron con plantas provenientes de una mezcla de una misma cantidad de semilla de las 235 mazorcas. Esta población funcionó como macho, que polinizó a las plantas de las 235 familias que se despanojaron.

Se seleccionaron por rendimiento las 50 mejores familias que pesaron en promedio 6.104 kilos por parcela de 5 metros cuadrados; el rendimiento promedio de las 235 familias fue de 4.80 kilos por parcela.

la población se sigue seleccionando con el método de selección mazorca-hilera modificada.

- 5) El Compuesto Choclero Precoz es la otra población utilizada en el Proyecto de selección para tolerancia al frío. Se formó en el año 1978 con todas las poblaciones precoces de granos grandes harinosos, disponibles para las

zonas altas de Latinoamérica. Ellas fueron: Sintético Choclero I, Sintético Pardo x San Gerónimo; Sintético Blanco Urubamba x Cabana, Sintético Blanco Urubamba x San Gerónimo, Olmos, PMC-568, Compuesto Choclero Amiláceo y Blanco Amiláceo Precoz, todas del Proyecto Sierra del Programa Cooperativo de Investigaciones en Maíz, de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Además, se incluyó el Cacahuacintle x San Gerónimo y 3 poblaciones con germoplasma mexicano y otras adaptadas al frío: Blanco Harinoso, Blanco Precoz y Blanco Normal.

En 1979 y 1980 se recombino el compuesto. Paralelamente se comparó con todas las variedades chocleras precoces de grano blanco en muchas localidades de la Sierra del Perú, y casi en todos los casos ocupó el primer lugar. Sin embargo, el tipo de grano debió ser mejorado, así como la morfología de la planta, caracteres que fueron desmejorados con la incorporación de germoplasma foráneo.

En 1980 se inicio la selección mazorca-hilera en condiciones de siembras tardías de la Sierra del Perú.

### **MEJORAMIENTO PARA TOLERANCIA AL FRIO**

A continuación, se presenta las actividades desde el año 1978 en adelante, que se han desarrollado, en el mejoramiento de las 5 poblaciones descritas en el capítulo anterior.

La selección del Sintético A (Cuadro 6) se paralizó en 1982, debido a que el tipo de grano es muy difícil de mejorar; se realizó en 1983 una selección fenotípica por tipo de mazorcas, y las mejores 31 se incorporaron a la población C.

El Sintético B (Cuadro 7) se formó con 22 líneas S1. El Sintético I, las 22 líneas que lo formaron, y 287 líneas S2 se probaron en condiciones de siembras muy tempranas en Jauja, en el año 1985, en un experimento con 2 repeticiones. Además, se sembraron 20 líneas provenientes de las cruces del material Grogan

CUADRO 6. Formación del Sintético A

<u>AÑO</u>	<u>ACTIVIDAD</u>	<u>SELECCION</u>
1978	Generación de familias de H.S. <sup>(1)</sup>	Fenotípica, selección del macho: 0, y polinización con mejores 5 hembras
1979	Prueba de 75 familias H.S.:	Selección por precocidad, rendimiento, aspecto de mazorca y efecto de helada en la mazorca
	Cacahuacintle-8 - (2)	
	Cacahuacintle x SG - 9 - (3)	
	CR SG I - 9 - (2)	
	CR Piscorunto I - 6 - (0)	
	SC Huanc. II - 4 - (1)	Selección de 19 líneas
	Bco.Amilác. Precoz- 12 - (7)	
	Sint. BU x SG - 9 - (2)	
	Huatayán Xela - 2 - (1)	
	Sint. Pardo x SG - 10 - (1)	
	Sint. BU x Cabana - 6 - (0)	
1980	Población A (Sint. I) #	
1981	Recombinación	
1982	Recombinación	

(1) H.S. = Hermanos Completos

0 = Autofecundación

CUADRO .7. Formación del Sintético B

<u>AÑO</u>	<u>ACTIVIDAD</u>	<u>SELECCION</u>
1978	Cruzas recíprocas entre 11 cultivares peruanos, y el C. Cacahuacintle de México x 19 poblaciones de altura de CIMMYT	Selección fenotípica polinización mejores plantas
1979	Autofecundaciones de todos los híbridos	
1980	Evaluación de líneas per se Total evaluadas = 752	Selección por habilidad germinar, y tolerancia helada época de floración
1981	Selección de 103 líneas	Habilidad germinar Vigor plántula. Aspecto de planta y mazorca
1983	Selección de 22 líneas	
1984	Recombinación	

x SG; y 24 compuestos raciales.

Las heladas fuertes, comunes en esa época del año destruyó todo el cultivo, pero pudo ser evaluada la capacidad de germinación y el aspecto de la planta. El porcentaje de germinación promedio de los 5 grupos y el valor del vigor de plántulas se presenta en el cuadro 8.

Las líneas S1 con las que se formó el sintético muestran en promedio 87% de germinación, mientras sus líneas S2, tienen un valor de 79%, diferencia que puede ser debida a la endocria. Las variedades peruanas germinan en menor porcentaje y son menos vigorosas.

Entre las líneas del sintético B, las que tienen como progenitores al Compuesto Cacahuacintle x SG, son las que mejor germinan: 88,5% en promedio.

Evaluaciones como estas, se hacen rutinariamente en condiciones de campo, pero no siempre se presentan las condiciones de stress, tan fuertes como en el año 1985.

La población C (Cuadro 9) se ha estado mejorando con selección en base al comportamiento de familias de medios hermanos; y además, se ha estado enriqueciendo con germoplasma seleccionado en las otras poblaciones que intervienen en el compuesto en forma de progenies de mazorcas (familias de medios hermanos).

En el año 1986 se mezcló con el Sintético Blanco Urubamba x San Gerónimo (Cuadro 10), para formar una sola población denominada población D. Esa sigue seleccionándose con el método de selección mazorca-hilera modificada. El sintético en mención, antes de mezclarlo con la Población C tenía 4 ciclos de selección con esa metodología.

El Compuesto Choclero Precoz (Cuadro 11) tiene ya siete ciclos de selección. En general, se trata de que las siembras sean tardías, en la localidad de Jauja, para producir "stress" en estado de formación de la mazorca; y el campo de generación de progenies se hace en una localidad de altura, pero sembrando en la época oportuna.

**CUADRO 8. Porcentaje de germinación y vigor de plántula del Sintético B, sus líneas S<sub>1</sub> y S<sub>2</sub>, líneas S<sub>1</sub> del material Grogan x SG, y variedades peruanas de altura**

<b>POBLACION</b>	<b>Nº Ent.</b>	<b>% Germinación</b>	<b>Vigor de plántula: 1 muy malo 5 muy bueno</b>
Sintético B	1	77	1.75
Sintético B - S <sub>1</sub>	22	87	2.08
Sintético B - S <sub>2</sub>	287	79	1.73
(Grogan x SG) - S <sub>1</sub>	20	84	2.06
Peruanas	24	64	1.52

CUADRO 9. Formación de la Población C

<u>AÑO</u>	<u>ACTIVIDAD</u>	<u>SELECCION</u>
1978	Se cruzó PMV-662 (San Gerónimo Mejorado) por 21 poblaciones del Programa Dr. Grogan	Tolerancia al estado de plántula
1979	Se retrocruzó x SG (Pob. C)	Selección de los mejores 62 híbridos por aspecto de planta, de mazorca y precocidad
1980	Obtención de líneas de la 1ª retrocruza al SG	Selección por capacidad de rendimiento, aspecto y sanidad
1982	Prueba de 656 líneas	Selección de 104 líneas x 5 mazorcas = 520 familias (H.S.)
1983	Selección de H.S. y 2ª retrocruza x SG	Tolerancia al estado de plántula y rendimiento
1984	Selección Mazorca-Hilera: 535 familias de la Pob. C Incorporación de 4 familias de la F1 de Mexicano x SG, 2 familias de Compuestos raciales peruanos y una familia de PI 267169 (Rusia) x SG	
1985	Selección Mazorca-Hilera: 234 familias de la Pob. C Incorporación de 10 familias de Cacahuacintle x SG	Tolerancia al estado de plántula y rendimiento
1986	4ª Ciclo de la Selección Mazorca-Hilera	Tolerancia al estado de plántula (daño muy severo)
1987	Formación de la Población D PMS-636 + Pob. C	

**CUADRO 10. Formación y selección del Sintético Blanco Urubamba x San Gerónimo**

<u>AÑO</u>	<u>ACTIVIDAD</u>	<u>SELECCION</u>
1976	1º Ciclo Selección líneas Per se de la cruza BU x SG	
1977	Formación del Sintético I	
1978 y 1979	Evaluación de 46 líneas Per se del Sintético I	Fuerte daño de granizada y roya. Selección de las mejores 11 líneas
1980	Formación Sintético II	
1981	Recombinación del Sintético	Fuerte helada destruyó el cultivo. Selección de los maíces sobrevivientes: 240 mazorcas
1983	1º Ciclo de SMH - 240 hembras	
1984	2º Ciclo (PMS-636 (H). C2	Selección rendimiento y aspecto
1985	3º Ciclo C3	
1986	4º Ciclo C4	
1987	Formación de la Población D: PMS-636 + Pob. C	

**CUADRO 11. Formación y selección del Compuesto Choclero Precoz**

<u>AÑO</u>	<u>ACTIVIDAD</u>	<u>SELECCION</u>
1978	Cruzas posibles entre 12 cultivares chocleros precoces: Sintético Choclero I Sintético Pardo x SG Sintético BU x Cabana Sintético BU x SG Olmos PMC-568 Compuesto Choclero Amiláceo Blanco Amiláceo Precoz Cacahuacintle x SG Blanco Harinoso Blanco Precoz Blanco Normal	
1979	Recombinación	
1980	Selección Masal	Rendimiento y aspecto de mazorca
1981 a 1987	Siete Ciclos de Selección Mazorca-Hilera	Se siembra tarde para seleccionar por tolerancia en planta y mazorca

Los resultados de la selección practicada en el cuarto ciclo de selección mazorca-hilera, pueden servir para demostrar una serie de problemas que se presentan cuando se desea mejorar para varias características a la vez, siendo una de ellas, la tolerancia al frío, que en esa oportunidad se evaluó tomando como criterio el Índice de daño en la mazorca, o sea el valor obtenido de dividir el número de mazorcas dañadas por el frío, sobre el total de mazorcas cosechadas.

El número de familias probadas fue de 256, de las que se seleccionaron 50 para pasar al siguiente ciclo. Doscientas dieciocho de esas familias tuvieron un Índice mayor de 0.9. Fue inevitable entonces, para mantener la población, seleccionar familias que mostraban mucho daño en una localidad, pero fueron seleccionadas por el buen comportamiento en la otra. Algunas de las familias que mostraron buen comportamiento en relación al Índice de daño, resultaron con muy mal rendimiento en la otra localidad, y por eso no pudieron ser seleccionadas. Como éste, muchos son los problemas que se presentan en la selección, que impiden un mejoramiento sostenido en todos los ciclos, para las características agronómicas más importantes y para la tolerancia al frío.

Antes de definir metodologías más eficientes, es necesario responder a muchas interrogantes. Algunas de las líneas de investigación que deben realizarse prioritariamente en la zona andina, se sugieren a continuación:

- Asociación entre tolerancia al frío al estado de plántula, y tolerancia al estado adulto.
- Efecto de la heterosis y la heterogeneidad, en la tolerancia al frío.
- Relación entre textura del grano, volumen del grano, y contenido de humedad de la semilla, con la tolerancia al frío.
- Caracterización del clima de la zona andina; similitudes y diferencias con el clima de las regiones templadas, para usar las experiencias en esas regiones y aplicarlas a la zona andina.
- Estudio de los patógenos del suelo que producen pudriciones en la semilla

y plántulas, en suelos fríos.

- Efecto de la fertilización y la humedad del suelo, en la tolerancia y la recuperación de plantas de maíz afectadas por el frío.
- Estudio de los factores que contribuyen a la evasión de las plantas a las heladas. Posibilidades de acondicionar a las plantas para hacer uso de esos mecanismos de evasión.
- Uso de cultivo de tejidos para seleccionar plántulas tolerantes.
- Uso de mutaciones, para ampliar o inducir tolerancia al frío.

## **GRANIZO**

El granizo se presenta en regiones donde también hay problemas de heladas, ya que ambos tienen la misma causa. Pero a diferencia de las heladas, que se presentan con cierta regularidad, las granizadas son muy irregulares, y por lo tanto, la posibilidad de reducir el daño por escape sembrando en la época oportuna, que si es una práctica importante para escapar de las heladas, no se puede usar para el daño del granizo. Sin embargo, los agricultores pueden reconocer por el aspecto de los meses, la posibilidad de una granizada, de manera que pueden inducir situaciones de escape que pueden ser efectivos, como por ejemplo, el uso de explosiones debajo de la misma, para disiparla.

El granizo produce muchos daños en la planta: reduce el área foliar; daña la parroja, reduciendo considerablemente, cuando ocurre en la época de floración o pre-floración, la cantidad de polen en el campo; daña la inflorescencia, los estigmas o la mazorca, dependiendo de la época en que ocurre. Produce heridas en la planta, por donde ingresan esporas de patógenos que causan enfermedades.

Los mecanismos de tolerancia son poco conocidos; se conocen algunos mecanismos de erosión como, la disposición de las hojas: plantas con hojas dispuestas horizontalmente son más dañadas que plantas con hojas más erectas o tendidas.

Otro aspecto morfológico importante es el tamaño del pedúnculo de la panoja y la forma de la panoja: pedúnculos más largos, son más expuestos, y panojas grandes son más dañadas, pero las chicas pueden perderse completamente con pocos impactos. El espesor de la cutícula debe tener importancia, pero este mecanismo es poco conocido y no se ha probado experimentalmente.

No se conocen métodos para producir daño en condiciones de laboratorio. La selección en condiciones de campo es muy errática porque el granizo afecta al campo en una forma muy irregular.

No se conoce la forma de herencia de los mecanismos de resistencia. Aún si existen genes de resistencia, la heredabilidad debe ser muy baja, y completamente independiente de los genes que gobiernan la tolerancia al frío.

## BIBLIOGRAFIA

1. **BLACKLOW, W.** 1972. *Influence of Temperature on Germination and Elongation of the Radicle and shoot of Corn (Zea mays L.). Crop Sci., Vol. 12: 647-650.*
2. **CAL, J. y OBENDORF, R.** 1972. *Differential growth of Corn (Zea mays L.). Hybrids seeded at Cold Root Zone Temperatures. Crop Sci., Vol. 12: 572-575.*
3. **CASAS, E.** 1986. *Logros, necesidades y oportunidades del Mejoramiento en América Latina. En: Foro Latinoamericano sobre Investigación en Fitomejoramiento. Caracas - Venezuela.*
4. **COOPER, C. y MAC DONALD, P.** 1970. *Energetics of early seedling growth in Corn (Zea mays L.). Crop Sci., Vol. 10: 136-139.*
5. **EAGLES, H. y BROOKING, R.** 1980. *Populations of Maize with more rapid and reliable seedling emergence than cornbelt dents at low temperatures. Euphytica, Vol. 30: 755-763.*
6. **EAGLES, H. y HARDACRE, A.** 1979. *Genetic variation in mays (Zea mays L.) for germination and emergence at 10 grados C. Euphytica 28: 287-295.*
7. **GREENBLATT, I.** 1985. *The ear of maize as a heat conserving device. En: Northeastern Corn Improvement Conference. Un. of Mass.*
8. **GROGAN, C.** 1970. *Genetic variability in maize for germination and seedling growth at low temperatures. Proc. Ann. Corn Sorghum Res. Conf. 25: 90-98.*
9. **GUBBELS, G.** 1974. *Growth of corn seedlings under low temperatures as affected by genotype seed size, total oil, and fatty acid content*

of the seed. *Can. J. Plant Sci.* 54: 425-426.

10. **HARDACRE, A. y EAGLES, H.** 1979. *Comparisons among Populations of Maize Growth at 13 grados C.* *Crop Sci.* Vol. 20: 780-784.
11. **HOARD, K. y CROSBIE, T.** 1985. *Correlated changes in Agronomic Traits from S1-line Recurrent Selection for Cold Tolerance in Two Maize Populations* *Crop Sci.* Vol. 26: 519-522.
12. **HOLBERT, J. y BURLISON, W.** 1929. *Studies of cold resistance and susceptibility in corn.* *Phytopath.* 19: 105-106.
13. **HOLBERT, J.** 1930. *Studies of corn resistance and susceptibility in corn.* *Phytopath.* 20: 117-118.
14. **KIESSELBACH, T. y RATCLIFF, J.** 1918. *Freezing injury of seed corn.* *Nebraska Ag. Exp. Sta. Bull* 163: 1-16.
15. **LEVITT, J.** 1980. *Responses of Plants to environmental stresses. Vol. I. Chilling, Freezing and High temperature stresses.* Academic Press.
16. **MORTINSON, CH., MOCK, J. y WALKER, W.** 1977. *Factores que limitan la producción de maíz amiláceo en los Andes del Perú. Informe de la Misión Asesora de la Universidad de Iowa, USA. Inf. de maíz N° 20. Univ. Nac. Agraria La Molina, Perú.*
17. **LYONS, J. y BREIDENBACK, R.** 1979. *Strategies for altering chilling sensitivity as a limiting factor in crop production.* En: H. Mussell y R. Staples. *Stress Physiology in Crop Plants.* J. Wiley & Sons.
18. **MC ROSTIE, G.** 1939. *The thermal death point of corn from low temperatures.* *Sic. Agriculture* 19: 687-699.
19. **MENDOZA, H. y ESTRADA, R.** 1979. *Breeding Potatoes for tolerance*

to stress. *Heat and Frost*. En: *Stress Physiology in Crop Plants* Willey Intersciences.

20. MIEDEMA, P. 1974. *Potential Use of CIMMYT Gene Pool Material for Improving Low-temperature Adaptation in Zea mays*. *Euphytica* 28: 661-664.
21. MOCK, J. y EBERHART, S. 1972. *Cold Tolerance in Adapted Maize Populations*. *Crop. Sci.*, Vol. 12: 466-469.
22. MOCK, J. y BAKRI, A. 1976. *Recurrent Selection for Cold Tolerance in Maize*. *Crop. Sci.*, Vol. 16: 230-233.
23. MOCK, J. y SKRDLA, W. 1978. *Evaluation of maize plant introductions for cold tolerance*. *Euphytica* 27: 27-32.
24. MUÑOZ, A. 1978. *Técnicas de investigación para resistencia a sequía y heladas en maíz*. *Inf. de maíz, especial de Inv. Nº 3, PCIM*. Lima, Perú.
25. ROSSMAN, E. 1949. *Freezing Injury of Inbred and Hybrid Maize Seed*. *Ag. Journal*, Vol. 41: 574-583.
26. SMITH, D. 1985. *Research on low temperature tolerance in corn at the Ottawa Research Station*. En: *Northeastern Corn Improvement Conference*. Un. of Mass.
27. STEPONKUS, P. 1979. *Effects of freezing and cold acclimatation on membrane structure and function*. En: H. Mussell y R. Staples. *Stress Physiology in Crop Plants*. J. Wiley & Sons.

**MEJORAMIENTO DE MAIZ PARA ADAPTACION A LOS SUELOS  
DEL "CERRADO" BRASILEÑO \***

**Mauricio Antonio Lopes, Ricardo Magnavaca,  
Elto Eugenio Gomes e Gama, Sidney Netto Parentoni,  
Manoel Xavier dos Santos y Antonio de Castro Bahia Filho \*\***

**RESUMEN**

La región de los "Cerrados" del Brasil, estimada en cerca de 180 millones de hectáreas, totalmente incluida en los trópicos y distribuida en diversos Estados del país, representa uno de los más importantes componentes en la expansión de la frontera agrícola brasileña. A pesar de las severas limitaciones químicas existentes en la mayoría de sus suelos, el "Cerrado" presenta ventajas importantes en lo que se refiere a topografía, propiedades físicas del suelo, luminosidad y temperatura. Cultivos de gran expresión en la economía brasileña, como el maíz y la soya, ya pueden ser explotados en estas áreas dentro de un modelo más tecnificado de actividad agrícola. La toxicidad del aluminio en suelos no

---

\* *Se agradece al Dr. Víctor Palma por la traducción del presente texto, de Portugués a Español.*

\*\* *Investigadores del Centro Nacional de Investigación de Maíz y Sorgo de la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (CNPMS/EMBRAPA), Caixa Postal 151, CEP 35700, Sete Lagoas, MG, Brasil.*

corregidos y la toxicidad de aluminio subsuperficial en suelos corregidos con cal representan serios factores de riesgo para el maíz en el "Cerrado", principalmente cuando se asocian a períodos secos llamados "veranicos", durante las fases normales del cultivo. La obtención de cultivares de maíz de mayor productividad, mayor tolerancia a la toxicidad de aluminio y eficiencia en absorción de fósforo, es en este caso un avance tecnológico bastante deseable. El Centro Nacional de Investigación de Maíz y Sorgo de la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (CNPMS/EMBRAPA) ha desarrollado un amplio trabajo de mejoramiento de poblaciones, obtención de variedades, líneas e híbridos adaptados a las condiciones del "Cerrado". A través de intensa actividad desarrollada a nivel de campo en diversos locales del país y en laboratorio bajo condiciones controladas, ha sido posible realizar un trabajo que hoy puede ser considerado pionero para regiones tropicales. Estos estudios hicieron posible el desarrollo del híbrido doble de maíz BR 201, con excelente adaptación a las condiciones del "Cerrado", alta productividad en suelos fértiles, eficiente en el aprovechamiento de fósforo y más tolerante a eventuales períodos secos. Evaluado en diversas localidades de la región Centro-Sur de Brasil, el híbrido BR 201 presentó excelente performance, tanto en suelos del "Cerrado" como en suelos fértiles donde compitió con los mejores híbridos comerciales brasileños. El BR 201 es un híbrido precoz de excelente arquitectura y características agronómicas superiores al promedio. Se considera que el amplio y consistente programa de mejoramiento de poblaciones desarrollado por el CNPMS/EMBRAPA fue la base para la obtención de los buenos resultados alcanzados.

## INTRODUCCION

Brasil es conocido en el mundo como el país que dispone de una de las mayores reservas de tierra con posibilidades de futuro aprovechamiento para fines agrícolas o ganaderos. Las más extensas áreas con potencial de utilización se encuentran en la Amazonia (forests) y en el Planalto Central ("Cerrados"), regiones que en conjunto tienen cerca de 6 millones de kilómetros cuadrados, lo que representa más de dos tercios del territorio nacional (Alvin e Silva, 1980).

El área de los "Cerrados" presenta una serie de características favorables

lo que hace que la región tenga gran potencial para la explotación agrícola y ganadera. Por sus condiciones de temperatura y humedad, la región presenta ventajas sobre la Amazonia para algunos cultivos de gran consumo, tradicionalmente producidos en el Centro-Sur del país, como el maíz, soya, fréjol, sorgo, café, trigo, etc. Para la Amazonia los cultivos perennes son generalmente más indicados como el cacao, palma africana de aceite, banano, coco, caucho, pimienta, etc.

La topografía y las propiedades físicas de los suelos dominantes en la región del "Cerrado" favorecen la mecanización en cualquier época del año. La cantidad de luz es elevada y la temperatura es bastante satisfactoria para la gran mayoría de cultivos. Aunque mal distribuida la cantidad de lluvia es razonable (Tabla 1).

La potencialidad representada por la incorporación de las inmensas áreas del "Cerrado" al proceso productivo está estrechamente relacionada a la posibilidad de producir cultivos de gran expresión en la economía brasileña como el maíz y la soya. El maíz representa en Brasil el tercer lugar en el valor de la producción agropecuaria (después de la ganadería de carne y de la soya), ocupa la mayor extensión de área cultivada entre todos los productos agrícolas y, posiblemente, emplea la mayor cantidad de mano de obra rural en su proceso productivo (Vencovsky, 1984).

Considerando todos estos aspectos, el CNPMS/EMBRAPA, a través de una efectiva actuación interdisciplinaria, viene tratando de realizar un trabajo eficiente dirigido al perfeccionamiento de variedades y al control de las condiciones ambientales para el cultivo del maíz en la región del "Cerrado" brasileño.

A continuación se presenta una rápida caracterización del "Cerrado" en términos de su potencial y limitaciones y, posteriormente, se describe brevemente el trabajo desarrollado por el CNPMS/EMBRAPA para el mejoramiento del cultivo del maíz y su adaptación a las condiciones de esta inmensa reserva de suelos brasileños.

TABLA 1. Características de relevo, solo, clima e vegetação dominantes na região do cerrado.

---

- . Relevo Plano
  - . Superfícies Tabulares e Aplainadas
  - . Cristas Estruturais e Depressões
  - . Formas de Dissecção Fluvial
  
  - . Latossolos Vermelho-Amarelos 41%
  - . Areias Quartzosas. 20%
  - . Latossolos Vermelho-Escuros 11%
  - . Lateritas Hidromórficas - 10%
  - . Litossolos 9%
  - . Latossolos Roxos 4%
  - . Outros 5%
  
  - . Tropical - Aw, Bsw ou Temperado - Cw
  - . Temperatura Média - 20 a 30%
  - . Alta Evapotranspiração
  - . Pluviometria Variável: 800 a 2000
  - . Ocorrência de Veranicos
  
  - . Matas
  - . Cerradao, Cerrado, Campo Cerrado
  - . Campo Limpo
  - . Modificações Antrópicas
- 

FONTE: Adaptado de Cruz et al., 1980

## **"Cerrado" brasileño: Potencial y limitaciones**

Gran parte de los catorce mil millones de hectáreas existentes en el planeta ofrecen algún tipo de limitación agrícola (Tabla 2). Para atender la necesidad de producción de alimentos, dado el crecimiento de la producción mundial, se estima que la producción agrícola necesita ser aumentada en cerca de 60% hasta el año 2000 (Dudal, 1980). La mayor participación en este desafío se espera que venga por la intensificación de la agricultura en grandes áreas disponibles, especialmente en los países en desarrollo.

La región de los "Cerrados" del Brasil, estimada en cerca de 180 millones de hectáreas localizadas en los trópicos (Figura 1), distribuidas en diversos Estados del país (Tabla 3) y en por lo menos tres secuencias geomorfológicas distintas (Figura 2), ha sido uno de los más importantes componentes en la expansión de la frontera agrícola brasileña.

Sin embargo, en condiciones naturales, los suelos del "Cerrado" presentan baja productividad, debido a la elevada saturación de aluminio y a la baja disponibilidad de la casi totalidad de los nutrientes esenciales para las plantas, principalmente P, Ca, Mg, K e Zn (Tablas 4, 5 y 6).

La toxicidad de aluminio es un factor limitante al crecimiento de las plantas en muchos suelos del mundo. Asociada a la no disponibilidad de fósforo, la toxicidad de aluminio ha sido detectada en grandes áreas de suelos ácidos de América del Sur (Brasil y Colombia) y también en la subsuperficie de los suelos del Sudoeste de los Estados Unidos (Fageria, 1980). Hasta el presente, la gran mayoría de las investigaciones referentes al aluminio en el suelo se ha limitado a la capa arable, mientras los posibles efectos perjudiciales del aluminio en los horizontes subsuperficiales han sido descuidados casi por completo; estos horizontes se hacen prácticamente impenetrables a las plantas sensibles cuando presentan elevados tenores de este elemento (Olmos y Camargo, 1976).

La corrección de la acidez provocada por el aluminio tóxico se hace hoy solamente en la parte del suelo donde los equipos disponibles son capaces de incorporar correctivos. Las raíces de las plantas sensibles quedan de esta manera

TABELA 2. Condições de stress no solo em diferentes regiões do planeta.

---

- 14 BILHOES DE ha NO PLANETA	
- STRESS MINERAL	- 2,96 BILHOES ha (22,47%)
- STRESS DE SECA	- 3,66 BILHOES ha (27,85%)
- EXCESO DE AGUA	- 1,61 BILHOES ha (12,22%)
- STRESS NAO EVIDENTE	- 1,13 BILHOES ha (10,08%)
- SOLOS POUCO PROFUNDOS	- 3,18 BILHOES ha (24,19%)
- SEM SOLOS FORMADOS	- 0,42 BILHOES ha ( 3,19%)
- COBERTO DE GELO	- 1,95 BILHOES ha (14,50%)

---

FONTE: Duda1 (1976)

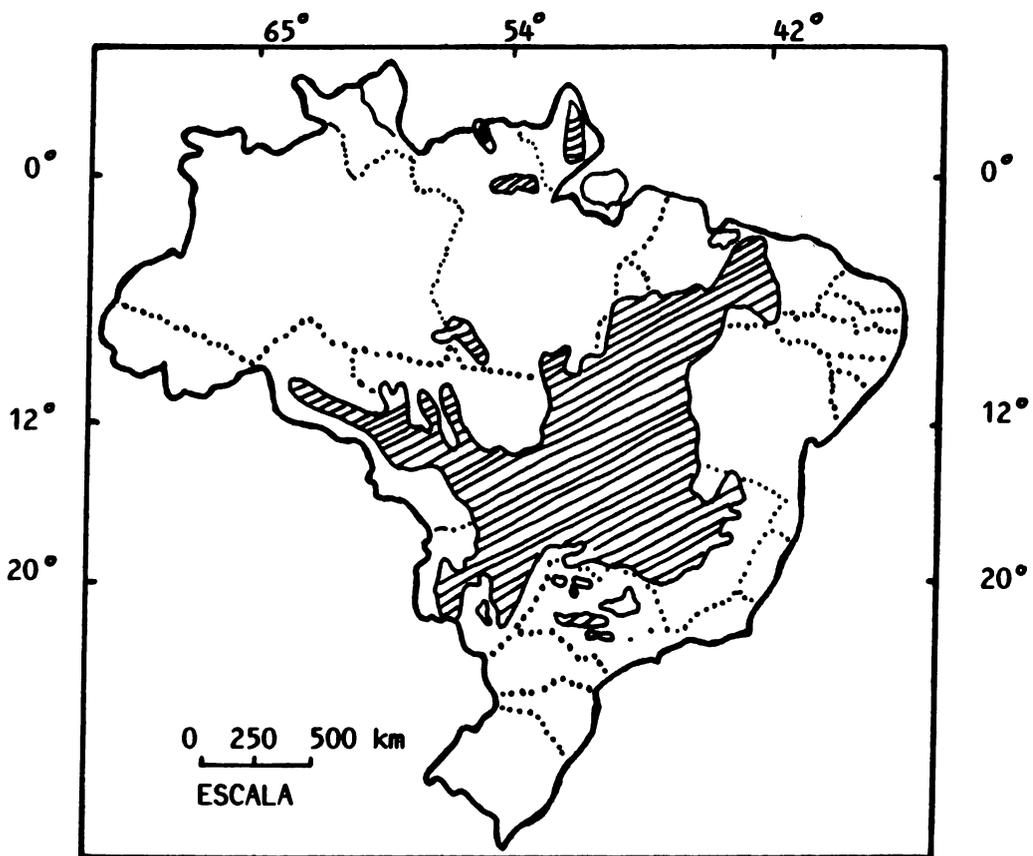


FIGURA 1. Estadio actual do conhecimento sobre a distribuicao dos "cerrados", incluidas as áreas de transicao com outras formacoes.

---

FONTE: EMBRAPA (1978)

TABELA 3. Distribuicao de área de cerrados no Brasil.

Estado	Area de Cerrados Milhoes de Hectares	Percentagem No Estado	Percentagem No Brasil
Goias	55,5	88	30
Mato Gross	47,9	39	26
Minas Gerais	30,8	53	17
Piaui	11,5	46	6
Bahia	10,5	19	6
Maranhao	9,8	30	5
Roraima	4,4	19	2
Sao Paulo	4,1	17	2
Pará	3,9	3	2
Amazonas	2,0	1	1
Distro Federal	0,6	100	1
Outros	--	--	--
TOTAL	181,0	--	100

FONTE: Quarto Simpósio Sobre o Cerrado. Bases Para a Utilizacao Agropecuária, 1976.



TABELA 4. Interpretacao das características químicas de solos brasileiros e situacao no cerrado.

ELEMENTO	BAIXO	MEDIO	ALTO OU ADEQUADO <sup>1</sup>	CERRADO
N%	< 0,08	<u>0,09 - 0,14</u>	> 0,14	<u>0,09</u>
pH	< 5,0	<u>5,0 - 6,0</u>	> 6,0-6,5	<u>5,0</u>
p DISPONIVEL (ppm)	<u>&lt; 5</u>	5 - 10	> 10	0,4
-----				
TROCAVEIS				
K e.mg/100 ml	<u>&lt; 0,10</u>	0,10 - 0,20	> 0,20	<u>0,8</u>
% T	< 3	3 - 5	> 5	4
Ca e.mg/100 ml	<u>&lt; 1,5</u>	1,5 - 4	> 4	<u>0,25</u>
% T	< 30	30 - 50	> 50	10
Mg e.mg/100 ml	< 0,5	<u>0,5 - 1</u>	> 1	<u>0,9</u>
% T	< 5	5 - 10	> 15	4
Al e.mg/100 ml	< 0,4	<u>0,4 - 0,6</u>	> 0,6	<u>0,56</u>
SATURACAO (m)	< 0-15	16 - 35	<u>&gt; 35</u>	<u>59</u>
-----				
S-So <sub>4</sub> <sup>2</sup> disponível (ppm)	< 5	<u>5 - 10</u>	> 10	<u>7</u>
B ppm	< 0,10	<u>0,10 - 0,30</u>	> 0,30	0,10
Cu	< 0,4	<u>0,04 - 0,8</u>	> 0,8	0,6
Fe	< 20	20 - 30	<u>&gt; 30</u>	<u>32</u>
Mn	< 3	3 - 5	<u>&gt; 5</u>	<u>8</u>
Zn	< 0,5	<u>0,5 - 1</u>	> 1	<u>0,6</u>

P DISPONIVEL - DUPLO ACIDO; S-SO<sub>4</sub> - ACETANO DE AMONIO; B - H<sup>2</sup>O QUENTE; Cu, Fe, Mn, Zn - DUPLO ACIDO. <sup>1</sup> - ALTO REFERE=SE AO A1.

FONTE: Malavolta, 1987.

TABELA 5. Principais características determinadas em 520 amostras da camada arável dos solos da região dos cerrados.

Características do solo	Nível crítico	Tipos de Vegetacao			
		Campo Limpo	Campo Sujo	Cerrado	Cerradao
pH (H2O)	5.0	4.87	4.94	5.00	5.14
Mat. Org. (%)	1.5	2.21	2.33	2.35	2.32
Ca Troc. (me %)	-	0.20	0.33	0.45	0.69
Mg Troc (me%)	-	0.06	0.13	0.21	0.38
K Troc (me%)	-	0.08	0.10	0.11	0.13
Al Troc (me%)	-	0.74	0.63	0.66	0.61
CTC efet. (me%)	-	1.08	1.19	1.43	1.81
Sat. Al (%)	20	66	58	54	44
P (ppm)	10	0.50	0.51	0.94	2.10
Zn (ppm)	1.0	0.58	0.61	0.66	0.67
Cu (ppm)	1.0	0.60	0.79	0.94	1.32
Mn (ppm)	5.0	5.40	10.30	15.90	22.90
Fe (ppm)	-	35.70	33.90	33.00	27.10
Argila (%)	-	33	36	34	32
Silte (%)	-	20	16	15	16
Areias (%)	-	46	48	51	53

FONTE: Lopes, 1975

**TABELA 6. Sumário das características químicas observadas em 520 amostras de solos sob vegetação de cerrado no Brasil.**

<b>Característica química</b>	<b>Amplitude</b>	<b>Mediana</b>	<b>Nível crítico</b>	<b>Amostras abaixo do nível crítico (%)</b>
pH (H <sub>2</sub> O)	4,3 - 6,2	5,0	5,0	48
Mat. Org. (%)	0,7 - 6,0	2,2	1,5	17
Ca (meq/100 cc)	0,04- 6,81	0,25	1,5	96
Mg (meq/100 cc)	0,00- 2,02	0,09	0,5	90
K (meq/100 cc)	0,02- 0,61	0,08	0,15	85
Al troc. (meq/100 cc)	0,08- 2,40	0,56	0,25	91
CTC efet. (meq/100 cc)	0,35- 8,10	1,1	4,0	97
SAT. Al (%)	1,0 -89,4	59,0	20,0	92
P (ppm)	0,1 -16,5	0,4	10,0	99
Zn (ppm)	0,2 - 2,2	0,6	1,0	95
Cu (ppm)	0,0 - 9,7	0,6	1,0	70
Mn (ppm)	0,6 -92,2	7,6	5,0	37

**FONTE:** Adaptado de Lopes (1975).

limitadas al volumen de suelo corregido. Como ejemplo de los efectos negativos de la acidez subsuperficial la Figura 3 muestra el efecto en la reducción de la saturación de aluminio en profundidad por la incorporación de sulfato de calcio al suelo. El sistema radicular del maíz presentó una distribución bastante satisfactoria en estas condiciones hasta 75 cm de profundidad. La Figura 4 y la Tabla 7 muestran también los efectos perjudiciales de la acidez subsuperficial para el cultivo del maíz y de las expresivas ganancias que pueden ser obtenidas con su remoción.

Bloonfield et al. (1969) definen la acidez como el resultado de la lixiviación más o menos prolongada, cuya primera fase es la eliminación de las bases. Después de esta etapa los iones  $H^+$  penetran en el complejo disperso, de lo que resulta un suelo H-saturado. Esta circunstancia favorece la descomposición de las arcillas con liberación de  $SiO_2$  y óxidos hidratados de  $Fe^{+3}$  y  $Al^{+3}$  que son posteriormente solubilizados por iones  $H^+$  colocando  $Al^{+3}$  en solución. Lopes (1975) al evaluar 520 muestras de suelo de "Cerrado" retiradas de 0-20 cm en un área de aproximadamente 600.000 km en el Brasil Central, concluyó que el valor de la mediana del pH fue 5.0 (Tablas 5 y 6). El mismo autor también determinó que 48.3% de las muestras presentaban acidez elevada (pH = 5.0), 48.3% estaban en el nivel crítico (pH = 5.0), 50.2% en el nivel medio (pH entre 5.0 y 5.9) y solo 1.5% de las muestras presentaban pH igual o superior a 6.0.

Efectos negativos de la toxicidad de aluminio han sido estudiados en experimentos de campo con altos niveles de este elemento en cultivos bajo condiciones controladas con muestras de suelos ácidos, en vasos y en solución nutritiva con niveles tóxicos o perjudiciales al crecimiento de las plantas (Magnavaca, 1982). Algunos autores (PNFCA, 1984 y EMBRAPA, 1980), al estimar la variación porcentual en la asimilación de macronutrientes por las plantas en función de la acidez del suelo, determinaron que los niveles de pH dominantes en la región del "Cerrado" son perjudiciales al buen aprovechamiento de prácticamente todos los macronutrientes (Tabla 8). Al evaluar la producción relativa de diversos cultivos en función del pH, Malavolta (1985) determinó que el nivel óptimo que produce respuestas más eficientes en términos de producción está situado entre 6.8 y 7.5 (Tabla 9).

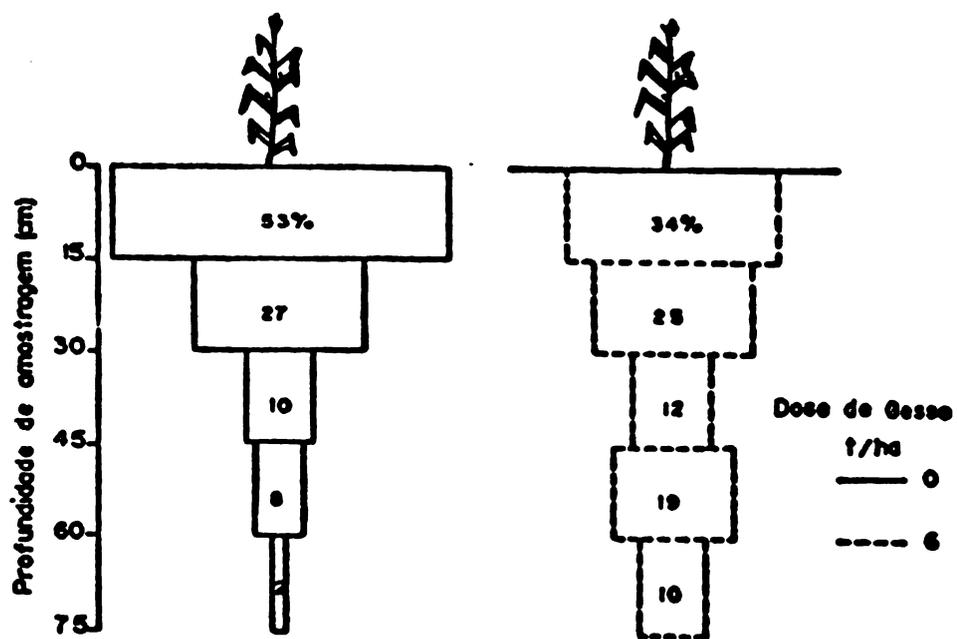


FIGURA 3. Distribuicao relativa do sistema radicular do milho cultivado no período de seca (1983), 90 dias após a emergencia com e sem aplicacao de gesso, no perfil de um solo le argiloso (Vitti, 1987).

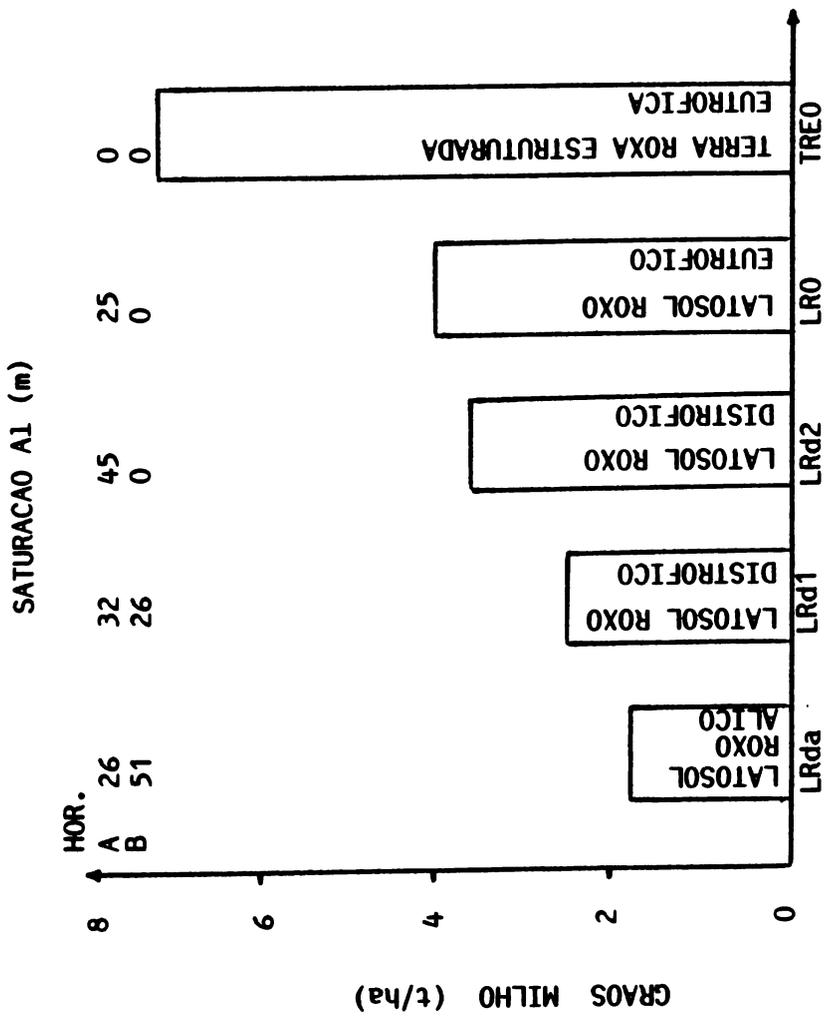


FIGURA 4. Efeito da saturacao com Alumínio do horizonte superficial (A) e/ou subsuperficial (B) sobre a producao de milho em diversos solos (Olmos e Camargo, 1976).

TABELA 7. Efeito de níveis e da profundidade de incorporação de calcário sobre a produção acumulada de cinco cultivos de milho em Latossolo Vermelho Escuro, e dados da análise química do solo após seis cultivos sucessivos.

Níveis de calcáreo (ton/ha)	Profundidade de Incorporação (cm)	Rendimento (ton/ha)	pH Final (0-15) (15-30)	Sat. Alumínio (%) (0-15 cm) (15-30 cm)
0	-	11,1	4.1 4.1	74 74
1	0 - 15	16,4	4.4 4.5	54 54
2	0 - 15	17,4	4.6 4.4	36 56
4	0 - 15	19,4	4.7 4.5	23 47
8	0 - 15	19,6	5.3 4.6	3 36
0	-	11,1	4.1 4.1	74 73
1	0 - 30	17,6	4.2 4.3	68 59
2	0 - 30	19,5	4.7 4.6	33 47
4	0 - 30	21,7	4.9 4.7	16 41
8	0 - 30	24,4	5.3 4.7	3 25

FONTE: EMBRAPA/CPAC, 1978.

**TABELA 8. Estimativa da variacao percentual na assimilacao dos macronutrientes pelas plantas, em funcao do pH do solo.**

MACRONUTRIENTES	pH					
	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,5
NITROGENIO	20	50	75	100	100	100
FOSFORO	30	32	40	50	100	100
POTASSIO	30	35	70	90	100	100
ENXOFRE	40	80	100	100	100	100
CALCIO	20	40	50	67	83	100
MAGNESIO	20	40	50	70	80	100

**FONTE:** PNFCA, 1984; EMBRAPA, 1980.

**TABELA 9. Producao relativa de algumas culturas em funcao do pH (producao máxima encontrada = 100).**

CULTURA	pH EM AGUA				
	4,7	5,0	5,7	6,8	7,5
MILHO	34	73	83	100	85
TRIGO	68	76	89	100	99
AVEIA	77	93	99	98	100
CENTEIO	0	23	80	95	100
ALFAFA	2	9	42	100	100
TREVO DOCE	0	2	49	89	100
TREVO VERMELHO	12	21	53	98	100
SOJA	65	79	80	100	93

**FONTE: Malavolta, 1985.**

Otra importante limitación a la agricultura en el "Cerrado" está representada por la presencia de un período seco durante la estación de lluvias, períodos que son conocidos como "veranicos". Estos pueden tener la duración una, dos y hasta tres semanas, causando una disminución considerable en la productividad de los cultivos (Tabla 24). Algunos aspectos edafo-climáticos de la región explican los riesgos a que está sometido un cultivo sensible a estas condiciones (Gazzelli *et al.*, 1980):

- Ausencia de lluvias ("veranico" propiamente dicho);
- alta demanda de evapotranspiración causada por la alta radiación solar, baja humedad relativa y alta temperatura, fenómenos típicos en estos períodos;
- baja capacidad de retención de la humedad del suelo, representados en su mayoría por Latosolos profundos y porosos (Tabla 1);
- toxicidad de aluminio: Todavía hay dificultad para incorporar cal a mayor profundidad, debido a la carencia de maquinaria disponible para esta operación. Aunque el suelo haya sido corregido la acidez subsuperficial permanece, lo que inhibe la penetración de las raíces para retirar agua y nutrientes de las capas más profundas, cuando ocurre el "veranico". La Figura 3 muestra los efectos benéficos de la remoción de la acidez en profundidad en la distribución de las raíces del maíz sometido a un "stress" de humedad.

Actualmente, la alternativa viable para resolver el problema de la toxicidad de aluminio es la neutralización, por lo menos en parte, del aluminio intercambiable en la solución de suelo, por medio de la aplicación de cal. Pero en las áreas distantes de las fuentes de cal, en las cuales no hay infraestructura suficiente para asegurar su transporte y distribución, los gastos con la corrección del suelo se hacen excesivamente elevados para que se alcancen productividades satisfactorias. Otro problema en el aprovechamiento de suelos ácidos es la dificultad de incorporar cal a profundidades mayores de 30 cm, o correctivos que permitan en forma económica y eficiente la remoción de la acidez subsuperficial. En estas condiciones, es más práctico identificar germoplasma más tolerante a las condiciones del "Cerrado", que pueda ser utilizado en conjunto con

los medios posibles de corrección del suelo, reduciéndose así el riesgo de la explotación agrícola en estas áreas.

La combinación de prácticas de corrección parcial de la acidez del suelo con selección para mejorar la tolerancia a la toxicidad de aluminio se convierte, por lo tanto, en el recurso de mejor alcance económico en todo este contexto (Magnavaca, 1982).

### **Mejoramiento del maíz para adaptación a los suelos del "Cerrado" brasileño - el trabajo del CNPMS/EMBRAPA -**

Desde el punto de vista del cultivo del maíz, de su mejoramiento y de sus prácticas culturales, existen varias alternativas para minimizar los perjuicios causados a la explotación agrícola por los posibles factores negativos presentes en las condiciones del "Cerrado". En lo que se refiere a la planta y a su comportamiento, existen diversas características de naturaleza fisiológica, anatómica o morfológica, que funcionan integradas al ambiente y que en determinadas situaciones pueden hacer que la planta se haga más apta a soportar determinadas situaciones de "stress".

Considerando el potencial de la planta de maíz y la gran variabilidad genética ya detectada para la tolerancia al aluminio (Lutz *et al.*, 1971; Bahia Filho *et al.*, 1987), el CNPMS/EMBRAPA está desarrollando un amplio trabajo de investigación con el objetivo de seleccionar variedades e híbridos más adaptados a las condiciones del "Cerrado" brasileño.

### **Mejoramiento de poblaciones para suelos del "Cerrado"**

El Programa de Mejoramiento de poblaciones del CNPMS/EMBRAPA se inició en el año agrícola 1975/76. Uno de los principales objetivos del programa es la obtención de poblaciones de porte más bajo y precoces. Antes de dicho año agrícola solo existían poblaciones de porte alto y tardías, o poblaciones bajas y tardías que contenían el gen braquítico-2. Se trató entonces de dar énfasis a la selección de poblaciones de porte bajo con base en la herencia cuanti-

tativa y ciclo precoz. Para esto se priorizó la necesidad de evaluar poblaciones del CIMMYT y de Programas Nacionales de otros países, que pudiesen ser útiles a los Programas del Brasil. Se buscó así poblaciones de amplia adaptación que antes de ser escogidas para selección recurrente fueron estudiadas con relación a su capacidad general y específica de combinación. Algunos resultados de estos trabajos básicos se observan en las tablas 10 a 13. Considerando la necesidad de divergencia genética y aspectos importantes para la elaboración del maíz moderno brasileño, se optó por la selección de materiales de porte bajo y precoces. Parte de estas poblaciones ya dieron origen a variedades comerciales y están en selección intra o interpoblacional dentro del Programa de Mejoramiento del CNPMS/EMBRAPA. Algunas de estas poblaciones han mostrado alta heterosis y productividad en cruzamientos (Tabla 14), lo que permitió el lanzamiento de híbridos intervarietales precoces, de porte bajo y productivos como BR 300, BR 301, BR 302 y BR 51150 (tablas 15 a 17).

Con base en este rápido resumen sobre el Programa de Mejoramiento de poblaciones del CNPMS/EMBRAPA se pretende mostrar los avances obtenidos en términos de modernización del material básico de mejoramiento y de formación de la masa crítica para el desarrollo de un amplio trabajo de producción de cultivares para diversos tipos de demandas. El CNPMS/EMBRAPA desarrolla hoy programas de obtención de híbridos para suelos ácidos y fértiles, híbridos precoces y superprecoces, híbridos de alta calidad protéica, híbridos y variedades de maíz amiláceo, variedades de maíz "pop corn", además de estudios para adaptación del maíz a condiciones de suelos sujetos a encharcamientos.

Específicamente para los suelos del "Cerrado", el CNPMS/EMBRAPA está seleccionando cinco poblaciones por métodos intrapoblacionales (Tabla 18). Estas poblaciones fueron evaluadas en cruzamientos dialélicos en relación a su capacidad general y específica de combinación en solución nutritiva para pruebas de tolerancia al aluminio (tablas 19 y 20) y para adaptación a suelos de "Cerrado" (Tabla 21). Se verifica que las poblaciones CMS 36 y CMS 30 mostraron mayor capacidad general de combinación y por lo tanto con un efecto promedio positivo para tolerancia al aluminio en los cruzamientos en que participaron. Se resalta también algunos cruzamientos específicos, pero las poblaciones CMS 13, CMS 14C y CMS 04 todavía necesitan ser mejoradas en relación

TABELA 10. Peso medio de espiga (kg/ha) e estimativas de capacidade geral de combinacao (gi) para cada uma das 18 populacoes testadas em dois locais no Brasil.

POPULACOES	PESO ESPIGA (kg/ha)	gi
ETO X ILLINOIS	3642	- 2.28
ANTIGUA X REP. DOMINICANA	3952	289.98
AMARILLO DEL BAJIO	3352	-154.95
AMARILLO SUB-TROPICAL	4294	- 21.54
POOL 33	2568	-314.62
POOL 34	2652	-360.80
SUWAN DMR	4129	320.63
AMARILLO DENTADO	4531	126.18
AMARILLO CRISTALINO	4271	110.32
ANTIGUA X VERA CRUZ 181	3453	- 55.13
MEZCLA AMARILLA	3008	-102.12
POOL 25	4328	110.50
POOL 22	4074	107.96
POOL 21	4344	45.39
POOL 26	3808	18.77
CMS 06	5232	358.36
CMS 07	4064	16.31
MEZCLA TROPICAL BLANCO	3673	111.93

DE: Naspolini, F. et al. Braz J. Genetics IV (4), 571-577 (1981).

TABELA 11. Estimativa de capacidade específica de combinação ( $S_{ij}$ ) para peso de espiga e peso médio de espiga (kg/ha) para os 10 melhores cruzamentos entre 18 populações em dois locais.

CRUZAMENTOS	$S_{ij}$	PESO ESPIGA (kg/ha)
CMS 07 MEZCLA TROP. BLANCO	790.85	5494
POOL 34 X POOL 21	778.75	4688
ETO-ILINOIS X POLL 22	649.79	5276
ETO-ILLINOIS X POOL 21	642.23	5183
POOL 25 X POOL 26	416.44	4998
POOL 33 X CMS 06	398.47	4860
ETO-ILLINOIS X AMARILLO CRISTALINO	392.30	4954
AMARILLO DENTADO X AMARILLO CRISTALINO	345.71	5046
MEZCLA AMARILLA X CMS 06	333.22	5055
SUWAN DMR X POOL 22	320.62	5268

DE: Napolini, F. et al. Braz J. Genetics IV (4), 571-577 (1981).

TABELA 12. Estimativas de efeito populacional (p), heterose de populações (H), média dos pais (m), e heterose média (H) para peso de espiga obtida de 3 locais.

POPULACOES	p	H
ETO X ILLINOIS	117.53	-138.85
ANTIGUA X REP. DOMINICANA	-2060.47	784.33
AMARILLO DEL BAJIO	855.52	- 9.93
POOL 33	-1704.47	593.38
POOL 34	-1016.45	210.86
SUWAN DMR	144.51	3.18
AMARILLO DENTADO	430.53	-155.47
AMARILLO CRISTALINO	6.52	136.77
ANTIGUA X VER. CRUZ 181	35.51	20.15
MEZCLA AMARILLA	33.53	-180.14
POOL 25	757.52	-443.85
POOL 22	-617.47	357.53
POOL 21	273.50	-119.73
POOL 26	520.53	-182.82
CMS 06	978.49	- 86.06
CMS 07	166.45	-134.64
MEZCLA TROPICAL BLANCO	877.54	-289.32
TUXPEÑO 1	44.48	286.94
M	3737.47	
H	770.05	

DE: Gama, E.E.G. et al. Egyptian J. Genetic Cytology, 13: 69-80 JAN. 1984.

TABELA 13. Heterose específica e peso médio de espiga (kg/ha) para os 10 melhores cruzamentos entre 19 populações em 3 locais.

CRUZAMENTOS	HETEROSE ESPECIFICA	PESO DE ESPIGA (kg/ha)
CMS 06 X MEZCLA AMARILLA	949	7595
ANTIGUA-REP. DOMINICANA X POOL 21	877	7252
AMARILLO SUBTROPICAL X POOL 22	754	7184
POOL 34 X POOL 25	725	6493
MEZCLA TROP. BLANCO X TUXPEÑO 1	619	6010
AMARILLO SUBTROPICAL X MEZCLA TROP. BLANCO	580	7086
CMS 07 X POOL 26	572	6808
AMARILLO DENTADO X ANT. REP. DOMINICANA	550	6495
AMARILLO DENTADO X POOL 34	550	6427
POOL 26 X AMARILLO DEL BAJIO	536	6824

DE: Gama, E.E.G. et al. EGYPTIAN J. GENETIC CYTOLOGY, 13: 69-80, JAN 1984.

TABELA 14. Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação (sij), percentagem de heterose para os cruzamentos relativos a média dos pais (MP) e pai mais produtivo (PMP), heterose média e produção média de espigas (kg/ha) para os 15 tratamentos. (1982/83).

Cruzamentos	sij	Heterose (%)		Produção média (kg/ha)
		MP	PMP	
01. CMS 04 x 05	98,39	7,47	6,54	4.747
02. CMS 04 x 11	- 117,72	0,32	- 3,93	4.333
03. CMS 04 x 12	78,04	4,15	0,98	4.535
04. CMS 04 x 22	54,85	5,63	- 6,16	4.254
05. CMS 04 x 28	120,17	10,00	1,71	4.569
06. CMS 05 x 11	88,65	7,95	4,24	4.624
07. CMS 05 x 12	- 17,75	4,97	2,65	4.525
08. CMS 05 x 22	129,11	10,70	- 0,89	4.378
09. CMS 05 x 28	462,28	21,16	12,92	5.026
10. CMS 11 x 12	- 191,15	- 1,51	- 2,78	4.114
11. CMS 11 x 22	124,85	- 1,37	- 2,64	4.137
12. CMS 11 x 28	392,87	17,49	13,28	4.660
13. CMS 12 x 22	235,59	10,17	0,64	4.258
14. CMS 12 x 28	101,30	9,73	4,46	4.329
15. CMS 22 x 28	- 5963	8,31	3,70	3.992
Média		7,68	3,13	4.433

Erro Padrao (sij-sik)\* 164,59

Erro Padrao (sij-skl)\*\* 152,38

\* para i ≠ j, k; j ≠ k

\*\* para i ≠ j, k, l; j ≠ k, l; k ≠ l  
(ME' = 1548,25)

DE: Lopes, M.A. et al. Pesq. Agropec. Bras., 20(3): Mar, 1985.

TABELA 15. Producao média (kg/ha) de populacoes "per se" e cruzamentos F<sub>1</sub> EM 8 locais no Brasil.

GENOTIPOS	PRODUCAO MEDIA	
SUWAN DMR (BR 105)	4.596	B
AMARILLO DENTADO (CMS 04)	4.677	B
TUXPEÑO 1 YELLOW (CMS 28)	3.971	
AMARILLO DEL BAJIO (CMS 22)	3.633	
POOL 21 (CMS 11)	4.280	
POOL 22 (CMS 12)	4.393	
SUWAN DMR X POOL 22 (BR 300)	4.718	AB
SUWAN DMR X TUXPEÑO 1 YELLOW (BR 301)	5.190	A
SUWAN DMR X POOL 21	4.791	AB
SUWAN DMR X AMARILLO DEL BAJIO	4.555	B
SUWAN DMR X AMARILLO DENTADO	4.983	AB
POOL 22 X AMARILLO DEL BAJIO	4.421	
POOL 22 X POOL 21	4.271	
POOL 22 X TUXPEÑO 1 YELLOW	4.589	B
POOL 22 X AMARILLO DENTADO	4.723	AB
POOL 21 X AMARILLO DEL BAJIO	4.277	
POOL 21 X TUXPEÑO 1 YELLOW	4.847	AB
POOL 21 X AMARILLO DENTADO	4.494	
AMARILLO DEL BAJIO X TUXPEÑO 1 YELLOW	4.118	
AMARILLO DEL BAJIO X AMARILLO DENTADO	4.389	
AMARILLO DENTADO X TUXPEÑO 1 YELLOW	4.757	B

1, DUNCAN (5%) - DE: Lopes, M.A. et al. Pesq. Agrop. Brasileira, 20(3): 349-354, Mar. 1981.

TABELA 16. Estimativas dos efeitos de capacidade de geral de combinacao ( $\hat{g}_i$ ) e capacidade especifica de combinacao ( $\hat{s}_{ij}$ ) para peso de espiga (kg/ha) de populacoes de milho E F<sub>1</sub>'s tratados em 8 locais-1983.

POPULACOES	$\hat{s}_{ij}$						$\hat{g}_i$
	AMARILLO DENTADO	SUWAN DMR	POOL 21	POOL 22	AMARILLO BAJIO	TUXPEÑO 1 YELLOW	
AMARILLO DENTADO (CMS 04)		98.39	-117.72	78.04	54.85	120.17	142.82
SUWAN DMR (BR 105)			88.65	- 17.75	129.11	462.28	233.93
POOL 21 (CMS 11)				-191.15	124.85	392.87	-39.84
POOL 22 (CMS 12)					235.59	101.30	- 6.10
AMARILLO BAJIO (CMS 22)						-59.63	-316.56
TUXPEÑO 1 YELLOW (CMS 28)							- 14.24

DE: Lopes, M.A. et al. Pesq. Agrop. Brasileira, 20(3): 349-354, Mar. 1985.

TABELA 17. Ensaio nacional de milho precoce -1984/85- (Média 38 locais).

CULTIVAR	TIPO	PESO GRAOS (kg/ha)	% RELACAO Hmd 7974
CARGILL 511	H.D	5.377	125
PIONEER 6875	H.D	5.357	125
SAVE 342	H.D	5.251	122
AG 301	H.D	4.982	116
XL - 567	H.D	5.078	118
BR - 301	H.I	4.914	114
BR - 302	H.T.c	4.343	113
BR - 106	VAR	4.679	109
BR - 107	VAR	4.736	110
IAC Hmd 7974	H.D	4.292	100

a la frecuencia de genes para tolerancia. El comportamiento de las poblaciones CMS 30 y CMS 36 es bastante constante en relación a tolerancia y estos materiales han sido indicados como fuente de tolerancia para las condiciones de suelos ácidos. Cuando fueron evaluadas con otras poblaciones en soluciones nutritivas con 0 y 222  $\mu\text{M}$  de aluminio, las poblaciones CMS 30 y CMS 36 presentaron el mejor desempeño en términos de crecimiento de la raíz seminal, parámetro asociado a la tolerancia (Tabla 22). En este caso el híbrido experimental CMS 201 X, desarrollado para suelos ácidos, también mostró excelente performance.

#### Mejoramiento para obtención de híbridos para suelos ácidos

En lo que se refiere a la relación tolerancia-productividad es necesario indicar que la hipótesis formulada de que la presencia de resistencia o tolerancia genética está asociada a la baja productividad (o sea que sería imposible obtener variedades altamente productivas con tolerancia al aluminio tóxico), no se apoya en datos. Al contrario, la evidencia es de que no existe tal hecho, pues producciones elevadas han sido obtenidas en variedades de trigo con factores para tolerancia (Silva, 1975).

Al estudiar la adaptabilidad, estabilidad y tolerancia a la toxicidad de aluminio en 380 híbridos experimentales de maíz, evaluados en suelos ácidos y fértiles, Lopes (1987 b), concluyó que, a través de programas de mejoramiento, era posible obtener cultivares adaptados a las condiciones de suelos ácidos y con excelente desempeño, y que lo mismo sucede cuando son cultivados en suelos fértiles sin toxicidad de aluminio.

En estudios con maíz, Clark y Brown (1974), demostraron diferencias genotípicas marcadas con relación a la tasa de absorción de fósforo en líneas cultivadas en solución nutritiva con bajo tenor de fósforo, en presencia y ausencia de aluminio. La línea que presentó mayor capacidad de absorción y acumulación de fósforo reveló mayor habilidad de mantener el pH más alto en la región de la rizósfera. Este y otros estudios de interacción fósforo por aluminio sugieren que la tolerancia al aluminio otorga a la planta una característica de mejor capacidad para absorber fósforo.

TABELA 18. Populações selecionadas para condições de solos ácidos no CNPMS/EMBRAPA.

Nº	Sigla Comercial	Tipo de Graos	ORIGEM
CMS 30	-	Dente	Composto Amplo. ESALQ. Piracicaba
CMS 36		Meio Dente	Sintético Cerrado. Desenvolvido no CNPMS a partir de linhagens adaptadas a solos ácidos. Amarello Dentado do CIMMYT
CMS 04C	-	Dente	Amarillo Dentado do CIMMYT
CMS 14C	BR 5104	Meio Dente	Recombinação de linhagens S <sub>2</sub> derivadas do Pool 25 do CIMMYT
CMS 13	-	Dente	Recombinação de populações adaptadas a solos ácidos obtidas no CNPMS

TABELA 19. Análise de variância para capacidade combinatoria do parâmetro Percentagem de crescimento relativo da raiz seminal de cruzamentos dialélicos completos entre cinco populações de milho testados em solução nutritiva para tolerância a toxidez de alumínio. Experimento II.

Fonte de Variacao	GL	QM
Blocos	2	19.23
Tratamentos	24	99.89**
Capacidade Geral de Combinacao	4	394.28**
Capacidade Específica de Combinacao	10	46.01*
Efeito Recíproco	10	36.03
Erro	48	21.633
-----		
Média Geral = 43, 77	C.V. = 18.4%	

\*, \*\* Significativo pelo teste F aos níveis de 5% e 1%, respectivamente.

TABELA 20. Estimativa dos efeitos de capacidade geral de combinacao (gi) e capacidade especifica de combinacao ( $\hat{S}_{ij}$ ) para crescimento relativo de raiz seminal (CRRS) de populacoes de milho e F1's avaliados em solucao nutritiva com 222  $\mu$  mol litro<sup>-1</sup>.

Populacoes	$\hat{S}_{ij}$				gi	
	A. Dentado	POOL 25	CMS 36	CMS 13		CMS 30
A. Dentado (CMS 04)		-0,560104	0,73999	-0,42664	-1,3266	-3,84002
POOL 25 (CMS 14 C)			-2,2266	-1,89332	9,04002	-6,200669
CMS 36				-2,42667	-3,99332	7,16001
CMS 13					5,50668	-3,40665
CMS 30						6,3935

DE: Lopes, M.A. et al. Pesq. Agrop. Brasileira, 22(3): 257-263. 1987.

TABELA 21. Estimativas dos efeitos de capacidade geral de combinacao (gi) e capacidade específica de combinacao ( $\hat{S}_{ij}$ ) para peso de espiga (kg/ha) de populacoes de milho e F1's testados em 4 locais - 1987.

Populacoes	$\hat{S}_{ij}$				gi	
	A. Dentado	Pool 25	CMS 36	CMS 13		CMS 30
86 A. Dentado (CMS 04)		443,28	641,25	750,18	784,10	-475,25
Pool 25 (CMS 14C)			138,97	-353,21	209,71	30,24
CMS 36				471,87	-72,62	361,47
CMS 13					477,31	16,84
CMS 30						66,53

DE: Eleutérico, A. et al. Pesq. Agrop. Brasileira (IN Press).

TABELA 22. Crescimento relativo de raiz seminal (CRRS) e crescimento diferencial de raiz seminal (CDRS) de populações de milho desenvolvidas em solução nutritiva com 0 e 222  $\mu$  mol A1 litro<sup>-1</sup>.

POPULACOES	CRRS (%) <sup>1</sup>		CDRS (%) <sup>1</sup>
	AL 0 MOL	AL 222 MOL	
CMS 36	88.9 CDE	64.4 B	27.54 B
POOL 25	107.2 ABC	23.7 C	77.86 A
AMARILLO DENTADO	81.7 DE	17.2 C	78.92 A
CMS 30	113.9 AB	71.4 AB	37.25 B
SUWAN DMR	81.9 DE	25.2 C	69.26 A
TUXPEÑO 1	106.5 ABC	25.7 C	75.88 A
POOL 21	98.0 BCDE	17.4 C	82.22 A
POOL 22	102.0 BC	21.6 C	78.75 A
AMARILLO DEL BAJIO	92.7 CDE	26.8 CDE	71.10 A
BR 126	100.1 BC	24.3 C	75.73 A
CMS 06	79.9 E	25.9 C	67.58 A
CMS 07	123.1 A	33.7 C	72.57 A
CMS 201 X	114.8 A	89.0 A	26.78 B

1 - DUNCAN (5%)

DE: Lopes, M.A. et al. Pesq. Agrop. Brasileira 22(3): 257-263. 1987.

Estudios recientemente desarrollados por el CNPMS/EMBRAPA (Tabla 23) demuestran estrecha relación entre tolerancia al aluminio y mayor capacidad de absorción de fósforo. Estas características, a su vez, pueden estar bastante relacionadas con tolerancia a la sequía, dado que los materiales que se encuadran en estos grupos de tolerancia generalmente presentan sistemas radiculares más voluminosos y agresivos, lo que confiere a la planta una mayor aptitud para buscar agua en profundidad durante períodos de "stress". La Figura 5 presenta un ejemplo con el cultivo del arroz.

A pesar de todas las limitaciones presentadas en este trabajo, las regiones de los "Cerrados" brasileños tienen enormes posibilidades para el desarrollo de una actividad agrícola tecnificada, con aplicación suficiente de recursos para la remoción o la disminución de las principales limitaciones y aprovechamiento de sus enormes potencialidades.

En lo que se refiere al maíz, el desarrollo de híbridos para esta región hace posible la disminución de los riesgos para los agricultores, con los consecuentes aumentos de productividad. Estos híbridos deben ser productivos, adaptados a la cosecha mecánica, más tolerantes al aluminio y más eficientes en la utilización de nutrientes, así como más tolerantes a deficiencias hídricas temporales. El CNPMS/EMBRAPA desarrolló un grupo de híbridos experimentales de mayor tolerancia a la toxicidad de aluminio, que mostraron productividades superiores cuando fueron plantados en suelos de "Cerrado" recuperados (pero con acidez subsuperficial) y suelos fértiles.

**Desarrollo del cultivar BR 201: Híbrido doble adaptado a las condiciones del "Cerrado"**

La expansión del cultivo del maíz en suelos ácidos en el Brasil, principalmente en los suelos que tienen vegetación de "Cerrado", crea la necesidad de desarrollar cultivares que permitan mayor productividad con estabilidad en la producción, compatibles con una explotación económica y de menores riesgos para los agricultores.

Aunque el cultivo de maíz en suelos de "Cerrado" se haya realizado a

TABELA 23. Producao de graos (kg/ha) de 16 híbridos duplos de milho avaliados para eficiência de absorcao de fósforo em um solo de cerrado.

Híbrido	Producao	Classificacao <sup>1</sup>
BR 201	6740	E
HD 15	6134	E
HD 20	6126	E
HD 16	5906	E
Pioneer 6875	5490	ME
Cargill 111S	5390	ME
CMS 353	5140	ME
AG 303	5120	ME
DINA 10	5114	ME
CMS 354	4994	ME
CMS 355	4826	ME
CMS 352	4806	ME
HD 9	4780	ME
HD 3	4614	ME
CMS 350	4520	I
Cargill 601	4366	I

1 = Intervalo de confianca para a média

I = Ineficiente

ME= Medianamente eficiente

E = Eficiente

TABELA 24. Efeito do déficit hídrico sobre a diminuição dos rendimentos de dois híbridos de milho.

EPOCA DO STRESS	RENDIMENTO EM RELACAO A TESTEMUNHA	
	HIBRIDO 1	HIBRIDO 2
SEM STRESS	100,00	100,00
PENDOAMENTO (durante 6 días)	92,5	94,0
POLINIZACAO (durante 5 días)	86,0	27,0
FORMACAO DE ESPIGAS	78,2	52,2

FONTE: Shaw & Lang (1965) citados por Espinoza (1980).

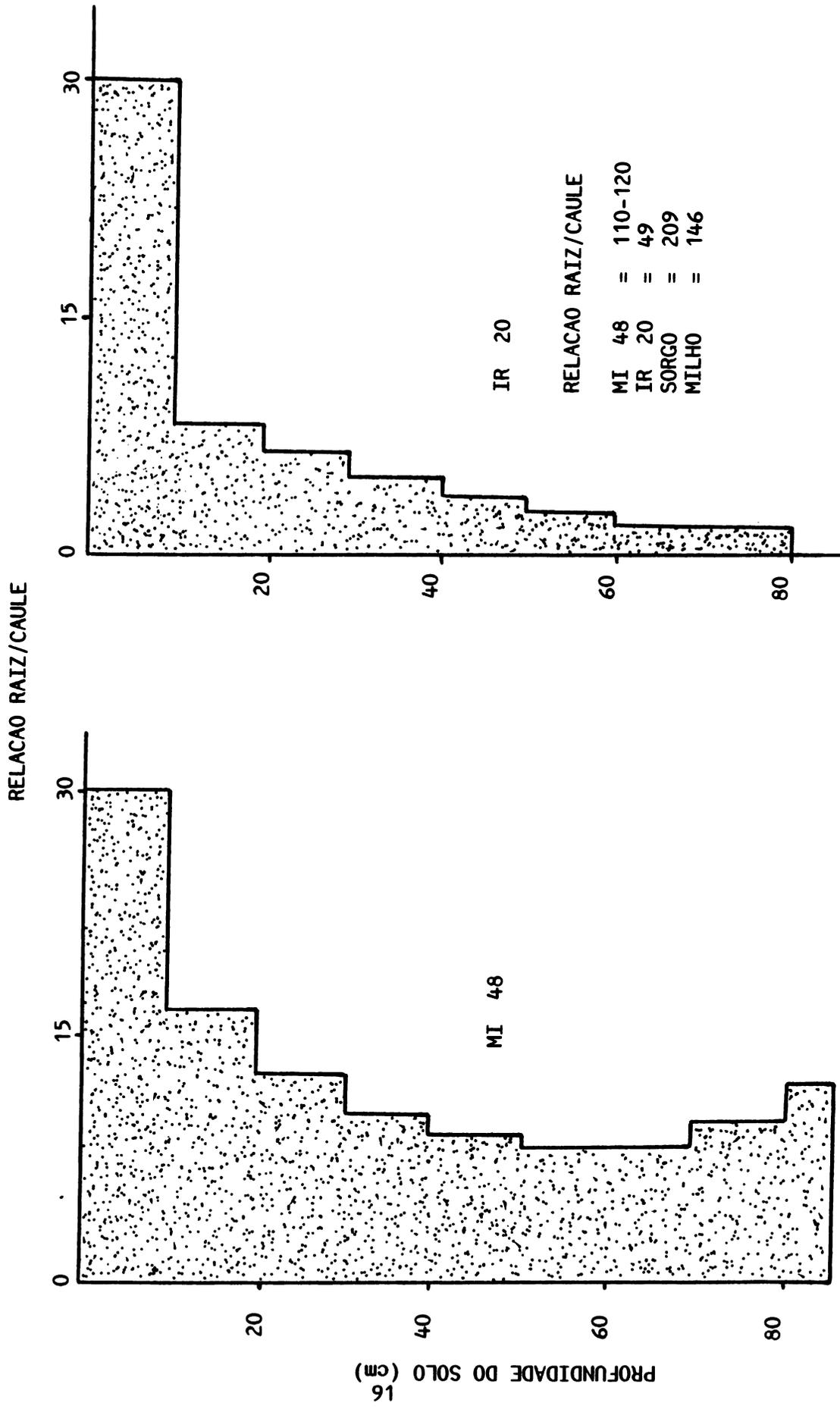


FIGURA 5. Comparacao da relacao raiz/caule entre uma variedade de arroz resistente a seca (IR-20) e outra sensível a seca (MI-48). FONTE: (1975)

través de prácticas de corrección del suelo y de mejora en el nivel de fertilidad, la obtención de híbridos de mayor productividad, asociada a una mayor tolerancia a la toxicidad del aluminio y eficiencia en la absorción de fósforo, sería un avance tecnológico bastante deseable.

Como se ha mencionado anteriormente, los trabajos de investigación para la adaptación del maíz a las condiciones del "Cerrado" empezaron en el CNPMS/ EMBRAPA en el año 1975/76. En ese año se trató de estudiar si habría la variabilidad genética disponible en el maíz que permitiese la obtención de híbridos y variedades más adaptados. De esta manera se introdujeron poblaciones de varias partes del mundo y también del Brasil, que fueron evaluadas en suelos de "Cerrado", y que bien adaptadas, sirvieron como materiales básicos para el desarrollo de líneas y, consecuentemente, para la formación de híbridos.

Este trabajo permitió el desarrollo del cultivar BR 201, híbrido doble de excelente adaptación a las condiciones del "Cerrado", con alta productividad también en suelos fértiles, mejor eficiencia en el aprovechamiento de nutrientes y mayor tolerancia a eventuales períodos secos ("veranicos").

Para llegar al cultivar BR 201 fue necesario el desarrollo de una serie de informaciones básicas que se convirtieron en un trabajo pionero para regiones tropicales.

Diversos estudios básicos fueron desarrollados en condiciones de suelos ácidos (Bahia Filho et al., 1978; Bahia Filho et al., 1979; Naspolini Filho, 1980; Naspolini Filho, 1981) y solución nutritiva (Magnavaca, 1982) para verificación de tolerancia en líneas. Las tablas 25 y 26 presentan los dos tipos de respuestas encontradas para el estudio de líneas. En la Tabla 25 se observa que la línea número 1 necesita de cal para la producción, la número 2 es estable en los niveles de cal evaluados y la número 3 necesita poca cal a niveles altos y relativamente estables de producción. La constatación de estos tipos de respuesta hace evidente la posibilidad de avances en la selección de líneas eficientes para las condiciones del "Cerrado".

Después de estas constataciones se empezó el desarrollo de técnicas de

TABELA 25. Avaliação da produção (kg/ha) de linhagens em solos ácidos com níveis 0, 2 e 7 toneladas de calcário/ha.

Linhagem	Produção kg/ha		
	Calcário 0	Calcário 2	Calcário 7
1	1900	2500	3575
2	1500	1538	1413
3	2663	3250	3188

TABELA 26. Avaliação do Crescimento Relativo da Raiz Seminal de linhagens cultivadas em solução nutritiva contendo alumínio em diferentes níveis.

Linhagem	Níveis de Alumínio na Solução ( $\mu\text{m l}^{-1}$ )			
	0	74	148	222
1	3.82	3.75	2.23	2.22
2	2.45	2.33	1.99	2.25
3	2.98	3.04	2.36	2.11

"screening" en laboratorio, que permitiesen evaluar un gran número de materiales aislando el factor toxicidad de aluminio de otros factores que interfieren en la adaptación. Magnavaca (1982) presentó una técnica que permite esta evaluación en ambientes controlados en un período de solo 20 días. El efecto evaluado por este método, que usa soluciones nutritivas con aluminio, es el de la inhibición del crecimiento de las raíces en presencia de aluminio. En la Tabla 26 se observa el comportamiento de las mismas líneas evaluadas con diferentes niveles de cal cuando se aplica la técnica de la solución nutritiva. Se observa que a medida que el aluminio aumenta en la solución disminuye el crecimiento de las raíces. Sin embargo, a semejanza de lo que ocurre en el suelo, el efecto no es el mismo para todas las líneas. La línea número 2 es afectada muy poco por el aumento de la concentración de aluminio, y la número 3 es menos afectada que la número 1.

Estos resultados muestran que la técnica de la solución nutritiva, asociada a los experimentos de campo, hace posible la selección de materiales deseables a las condiciones del "Cerrado".

Paralelamente, y utilizando estas técnicas, se desarrollaron estudios de herencia para verificar si la tolerancia al aluminio observada en las líneas se podría transmitir a los híbridos. Esto fue confirmado, detallándose inclusive el tipo de herencia (Magnavaca, 1982). Con estas informaciones se obtuvieron varios miles, que fueron continuamente evaluadas.

Un grupo de 436 líneas fue cruzado con un comprobador común y los híbridos resultantes fueron probados en solución nutritiva, suelos ácidos y suelos fértiles (Lopes et al., 1987 b). La inclusión de suelos fértiles en la evaluación pretendió buscar híbridos adaptados a suelos ácidos que presentasen también alto potencial de producción en suelos fértiles. Como buena parte de la agricultura en suelos ácidos ya se realiza con encalado y fertilización, tales híbridos harían posible una mayor productividad con mejor riesgo en casos de "veranicos" y "stress" por efecto de la acidez subsuperficial.

La Tabla 27 resume algunos resultados de este trabajo. Se puede verificar por el porcentaje de producción en relación a la mayor producción en 100 híbridos

TABELA 27. Percentagem em relacao a maior producao de híbridos experimentais e híbridos comerciais extraídos de um grupo de 100 materiais avaliados em cinco locais e em solucao nutritiva com  $222 \mu m$  de  $Al. 1^{-1}$ .

Híbrido	Fértil		Transicao	Cerrado		% CRRS
	S. Lagoas	Ituiutaba	Goiânia	S. Lagoas	Mte Carmelo	
HE 1	81.6	89.9	64.1	97.2	82.5	75
HE 2	78.8	85.3	90.6	84.8	73.4	69
HE 3	76.1	100.0	73.8	94.0	87.7	46
C 111S	83.2	79.3	100.0	78.6	46.1	47
AG 301	78.0	85.1	59.5	67.4	45.6	43

% CRRS: Percentagem de crescimento relativo de raiz seminal.

dos probados en los ensayos de campo, que algunos cruzamientos se mostraron estables en dos localidades, y además presentaron un buen crecimiento de raíces en solución nutritiva, cuando fueron comparados con híbridos comerciales. Utilizando datos de producción de 380 híbridos de esta serie de "top-crosses", Lopes et al. (1987 b), realizó un estudio de adaptabilidad, estabilidad y tolerancia a la toxicidad de aluminio, y concluyó que 73% de los híbridos experimentales evaluados presentaban amplia estabilidad en relación a las variedades ambientales utilizadas, de acuerdo con los parámetros  $\bar{b}$  y  $S^2_d$  del análisis de estabilidad. Los mismos autores concluyeron que, por medio de programas de mejoramiento, era posible obtener cultivares adaptados a las condiciones de suelos ácidos y capaces de presentar comportamiento productivo si se utilizaban en áreas sin "stress".

Las líneas evaluadas con base en los trabajos mencionados fueron utilizadas para la formación de híbridos dobles. Dentro de estos híbridos dobles experimentales se obtuvo el cultivar BR 201 que probado en localidades con suelos fértiles y recuperados mostró productividad y tolerancia en niveles bastante promisorios, además de características agronómicas bastante modernas (Tablas 28, 29 y 30).

El híbrido BR 201 fue evaluado en el Ensayo Nacional de Maíz Precoz, durante el año agrícola 1986/87, y presentó un comportamiento muy competitivo en relación a los híbridos comerciales más cultivados en el país (Tabla 31).

El híbrido BR 201 es un maíz precoz, de porte bajo, sistema radicular bastante desarrollado, presenta poca pudrición de espigas, resistente al acame, prolífico en alta densidad por encima del promedio, bajo porcentaje de tusa o coronta, granos amarillos del tipo medio dentados y profundos y resistencia a las principales enfermedades foliares (Tabla 32).

Para que un híbrido tenga éxito es necesario que la productividad de los dos híbridos simples utilizados sea alta y el tipo de grano adecuado para la comercialización. Los HS macho y hembra del BR 201 son altamente prolíficos y, a semejanza del híbrido doble, muy productivos. Los HS hembras presentan porte bajo, lo que facilita el desespigamiento, es resistente al acame, lo que

TABELA 28. Avaliação do peso de espigas despalhadas (kg/ha) de híbridos testados em diversos locais. Solos férteis e cerrado - Ano agrícola 86/87.

Híbrido	Goiânia	Londrina	S. Lagoas Fértil	Média	S.Lagoas Cerrado
HS BR 201F x 5	7067	6614	9235	7639	2200
HS BR 201	6277	6468	9487	7411	2027
HS BR 201F x 11	7974	7436	10270	8567	1970
HS BR 201F x 17	7953	7574	9755	8427	1848
HS BR 201F x 18	7248	6790	12054	8697(4)	1541
HS BR 201F x 19	7542	8131	10024	8566	1825
HS BR 201F x 21	8356	6728	10350	8478	1266
HS BR 201F x 22	9269	7649	10921	9280(2)	2628(4)
HS BR 201F x 24	6556	6713	8665	7311	1872
HS BR 201F x 26	7045	6616	8945	7435	2565
HS BR 201F x 27	6789	6192	9803	7595	1608
HS BR 201F x 28	6253	5744	8982	6993	1782
HS BR 201F x 36	8330	8754	11110	9398(1)	1630
HS BR 201F x 37	7900	6523	9167	7863	1665
HS BR 201F x 38	6765	7015	8325	7368	2156
HS BR 201F x 39	7123	6995	10350	8156	3050(3)
HS BR 201F x 40	8519	7784	11421	9241(3)	3133(2)
HS BR 201F x 41	6542	7228	10282	8017	2621(5)
BR 201	7354	7527	11109	8663(5)	3251(1)
BR 355	7603	6915	8360	7626	2227
CV%	14,8	11,4	13,2		34,3
MEDIA	7424	7078	9931	8144	2143

TABELA 29. Avaliacao do híbrido BR 201 e 4 híbridos comerciais em 5 locais (solos férteis e cerrado) em termos de kg de espigas por ha e % CRRS em solucao nutritiva com  $222/\mu$  mol de Al  $1^{-1}$ .

Híbridos	Peso de espigas (kg/ha)	% CRRS
BR 201	8712	92
CARGILL 111S	7817	48
DINA 3030	7969	61
AGROCERES 401	7245	47
PIONEER 6875	8050	16

% CRRS: Percentagem de crescimento relativo da raiz seminal.

TABELA 30. Avaliação das características agrônômicas de híbridos testados em diversos locais - Ano agrícola 86/87.

Híbridos	Altura Olanta (cm)	Altura Espiga (cm)	$\sqrt{\text{VACAM}} +$ QUEB+1	Índice de Espiga	Espigas Doentes (%)
HS BR 201F x 5	203	105	3.24	108	1.57
HS BR 201F x 6	186	92	3.07	113	2.92
HS BR 201F x 11	203	106	4.16	111	4.41
HS BR 201F x 17	192	101	4.55	106	6.58
HS BR 201F x 18(4)	195	101	4.07	106	2.83
HS BR 201F x 19	200	102	3.12	11	1.71
HS BR 201F x 21	191	97	2.93	107	3.21
HS BR 201F x 22(2)	210	109	3.96	122	1.10
HS BR 201F x 24	196	99	3.13	106	2.11
HS BR 201F x 26	191	97	2.84	107	2.87
HS BR 201F x 27	188	98	2.31	106	2.91
HS BR 201F x 28	198	101	3.40	109	3.67
HS BR 201F x 36(1)	214	114	3.74	118	2.72
HS BR 201F x 37	206	107	2.95	111	2.67
HS BR 201F x 38	197	103	4.13	114	1.76
HS BR 201F x 39	207	109	3.46	122	1.99
HS BR 201F x 40(3)	216	117	4.33	113	1.68
HS BR 201F x 41	196	102	3.72	110	3.44
BR 201(5)	205	107	4.66	116	2.92
BR 355	206	110	4.11	107	5.63
Média	200	104	3.59	111	2.93

TABELA 31. Avaliação do peso de espigas (kg/ha), stand final (plantas/ha), altura de planta (cm) e altura de espiga (cm), % de espiga doentes e % relação a testemunha Hmd 7974, referentes aos resultados de 20 locais do Ensaio Nacional de Milho Precoce- Ano agrícola 86/87.

Híbrido	Peso Espiga	Stand Final	Alt. Planta	Altura Espiga	Espigas Doentes
BR 201	8996(117)	47.600(99)	224(87)	125(77)	4.2(66)
SAVE 342	8087(105)	47.800(100)	248(96)	138(85)	10.4(164)
CARGILL 511	8323(108)	47.800(100)	232(90)	132(81)	5.7(90)
CARGILL 511 A	9179(119)	48.300(101)	232(90)	137(84)	4.1(65)
CARGILL 521	8868(115)	47.700(99)	228(88)	125(77)	5.9(92)
CARGILL 525	8805(114)	49.300(103)	227(88)	127(78)	6.9(109)
DINA 46	8614(112)	48.900(102)	249(97)	142(87)	10.4(164)
DINA 51	9100(118)	49.900(104)	248(96)	143(88)	7.7(122)
AGROCERES 304	7975(103)	47.300(98)	229(89)	130(80)	9.2(145)
AGROCERES 303	8537(111)	47.100(98)	235(91)	137(84)	7.5(118)
AGROCERES 404	7955(103)	47.900(100)	239(93)	136(84)	5.8(91)
AGROCERES 405	8634(113)	48.400(101)	235(91)	143(88)	6.0(94)
AGROCERES 104	8942(116)	48.200(100)	250(97)	139(86)	9.4(149)
PIONEER 6875	8236(107)	47.300(99)	224(87)	122(75)	13.1(307)
AGROMEN 2010	7456(97)	47.000(98)	233(90)	133(82)	7.6(120)
BRASKALB 599	8786(114)	48.900(102)	235(91)	135(83)	9.1(143)
BRASKALB 560	8625(112)	48.400(101)	235(91)	135(83)	8.2(129)
ASGROW 1260	7910(103)	47.600(99)	251(97)	151(93)	6.9(109)
CONTIMAX 611	8145(106)	47.500(99)	238(92)	145(89)	9.6(152)
GERMINAL 500	8516(110)	45.700(95)	255(99)	144(88)	7.5(119)
-----	-----	-----	-----	-----	-----
HMD 7974	7710(100)	48.000(100)	258(100)	163(100)	6.3(100)

TABELA 32. Dados médios do híbrido duplo BR 201 avaliado em 20 experimentos no ano agrícola 1986/87 nas regiões Sudeste, Centro Oeste e Sul do Brasil.

---

Florescimento masculino	62
Nº de plantas	47980
Nº de espigas por hectare	54200
Índice de espiga	1,13
Porcentagem espigas danificadas	3,10
Peso de espigas despalhadas (kg/ha)	10 166
Peso de grãos - 15,5% umidade - (kg/ha)	8539
Porcentagem de sabugo	16
Altura de planta (cm)	233
Altura de espiga (cm)	132

---

disminuye el número de espigas dañadas, presenta granos dentados y profundos, preferidos por el productor brasileño.

Tanto el BR 201, como los materiales básicos que lo originan fueron evaluados en relación al vigor del sistema radicular. El método, descrito por Lopes *et al.* (1987 c), permite que se haga una evaluación visual del desarrollo del sistema radicular de plantas cultivadas en tubos de vidrio o PVC con muestras de suelo colocadas de manera que simulen las condiciones de campo (Figura 6). Tanto el híbrido BR 201, como los HS macho y hembra presentaron excelente capacidad de desarrollo de raíces en muestras de suelo con alta saturación de aluminio, cuando fueron comparados con otros cultivares comerciales. Al evaluar las líneas por este método se detectó el excelente desempeño, en términos de crecimiento radicular, para la línea macho del híbrido simple hembra. Esta línea presenta una enorme resistencia al acame y una capacidad muy grande de profundizar sus raíces. Esta línea también puede estar otorgando al híbrido BR 201 una mayor eficiencia en la absorción de fósforo (Tabla 23).

El equipo de mejoramiento de maíz del CNPMS/EMBRAPA continúa trabajando, conjuntamente con los equipos de suelos/nutrición de plantas y fisiología vegetal, en el sentido de perfeccionar cada vez más las técnicas descritas en este trabajo y de desarrollar otras que sean herramientas útiles y complementarias al desarrollo de genotipos tolerantes a las condiciones de suelos ácidos. Actualmente, se trabaja en el desarrollo de una técnica de evaluación de las variaciones de pH a nivel de raíz seminal usando un medio de cultivo solidificado en agar y colorantes ácido-base (Figura 6). Otra técnica en evaluación es la de "screening" en muestras de suelos ácidos y fértiles asociados, con observaciones en la dispersión de las raíces, además de las interrelaciones entre las muestras fértiles y las no fértiles (Figuras 7 y 8).

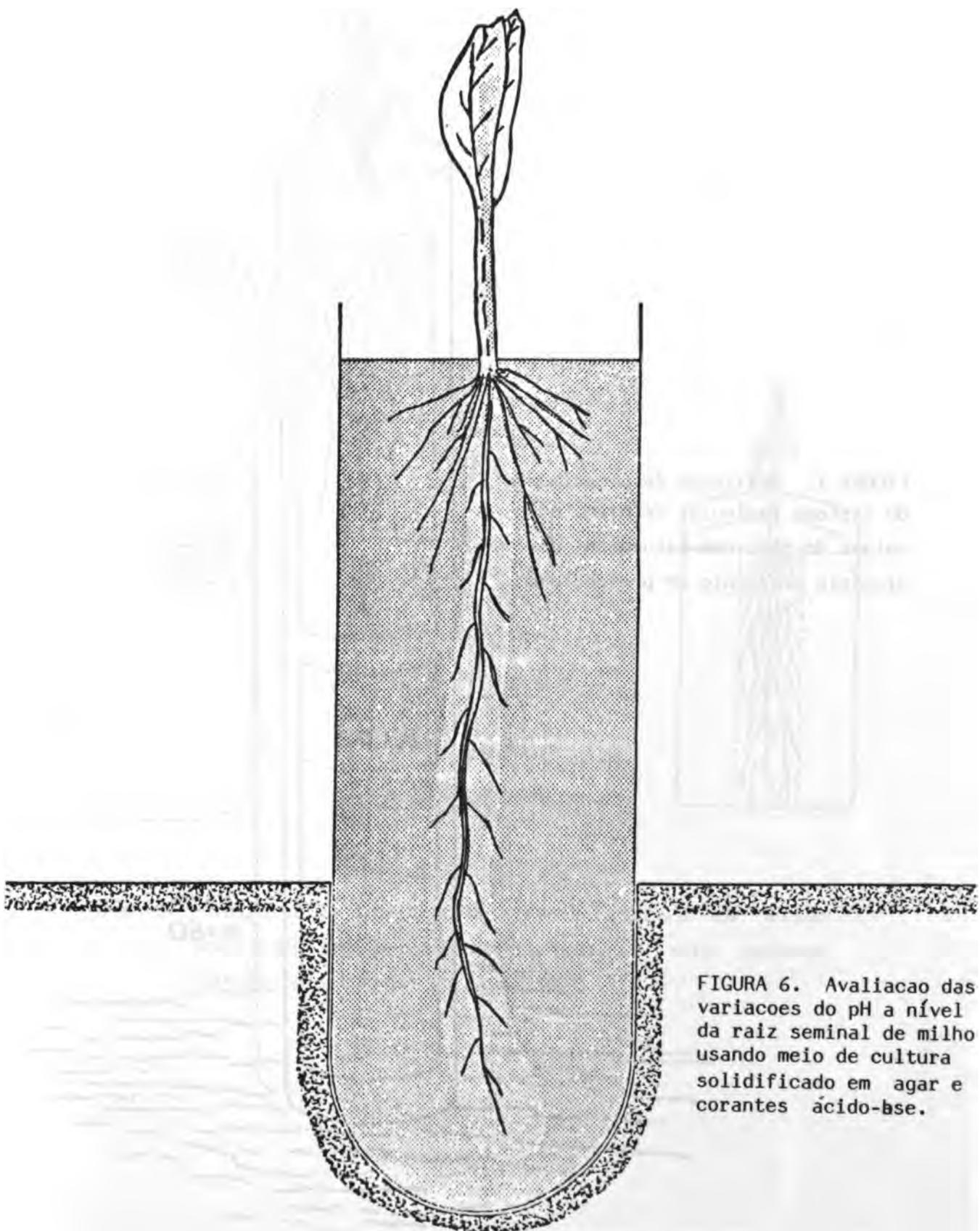


FIGURA 6. Avaliação das variações do pH a nível da raiz seminal de milho usando meio de cultura solidificado em agar e corantes ácido-base.

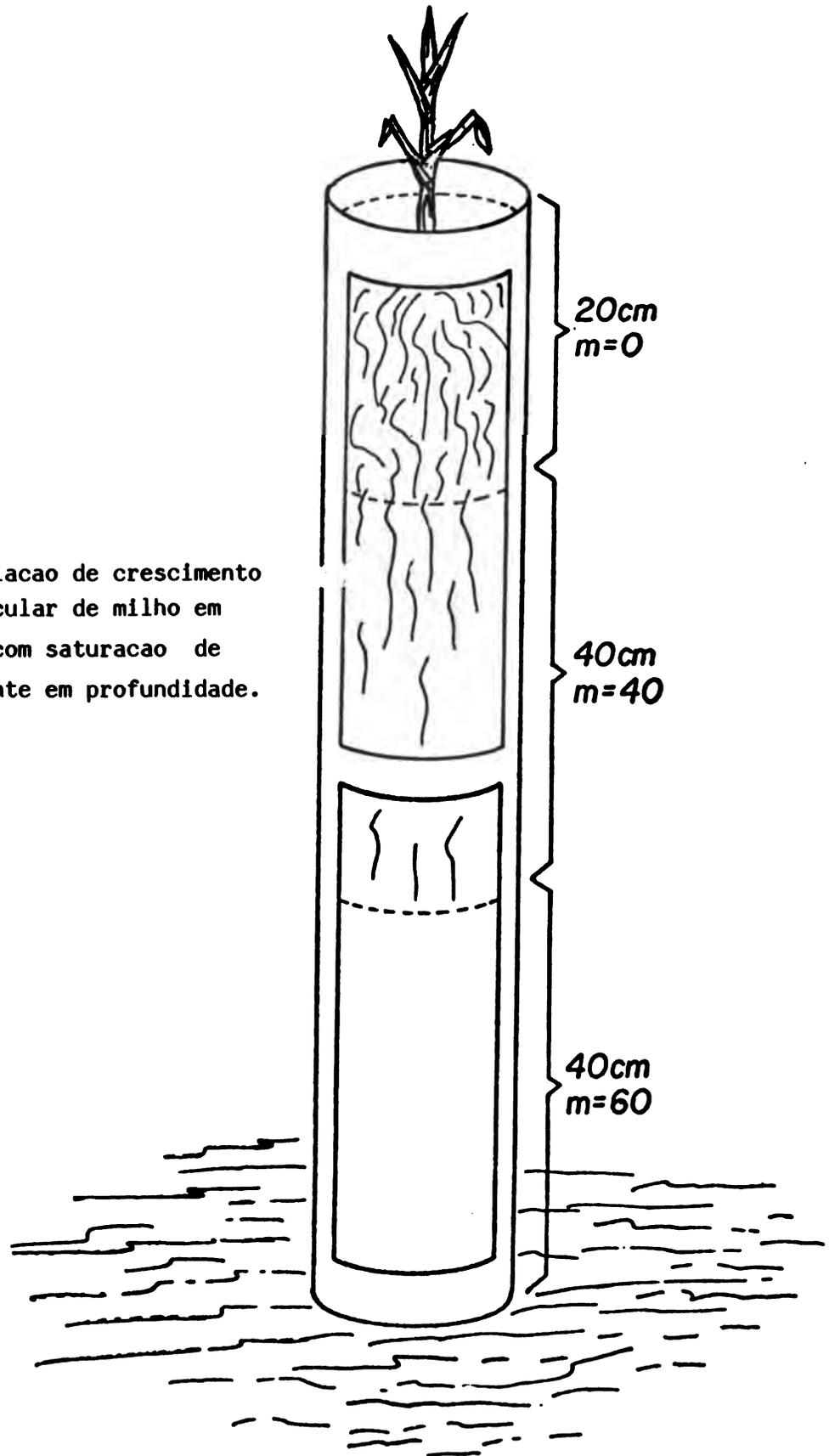
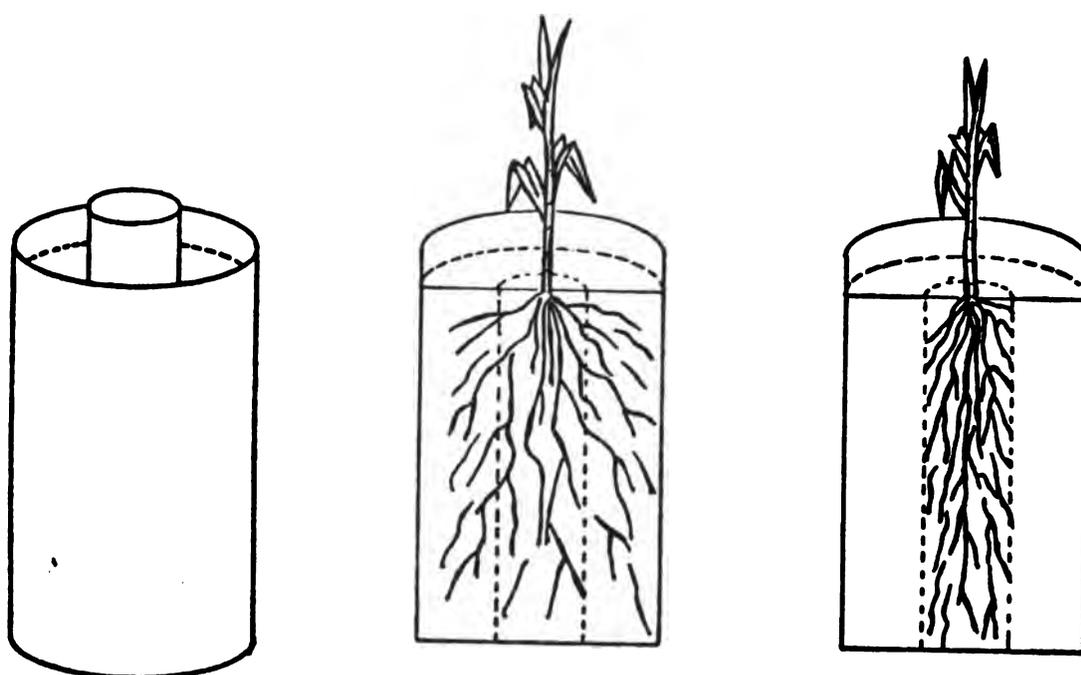
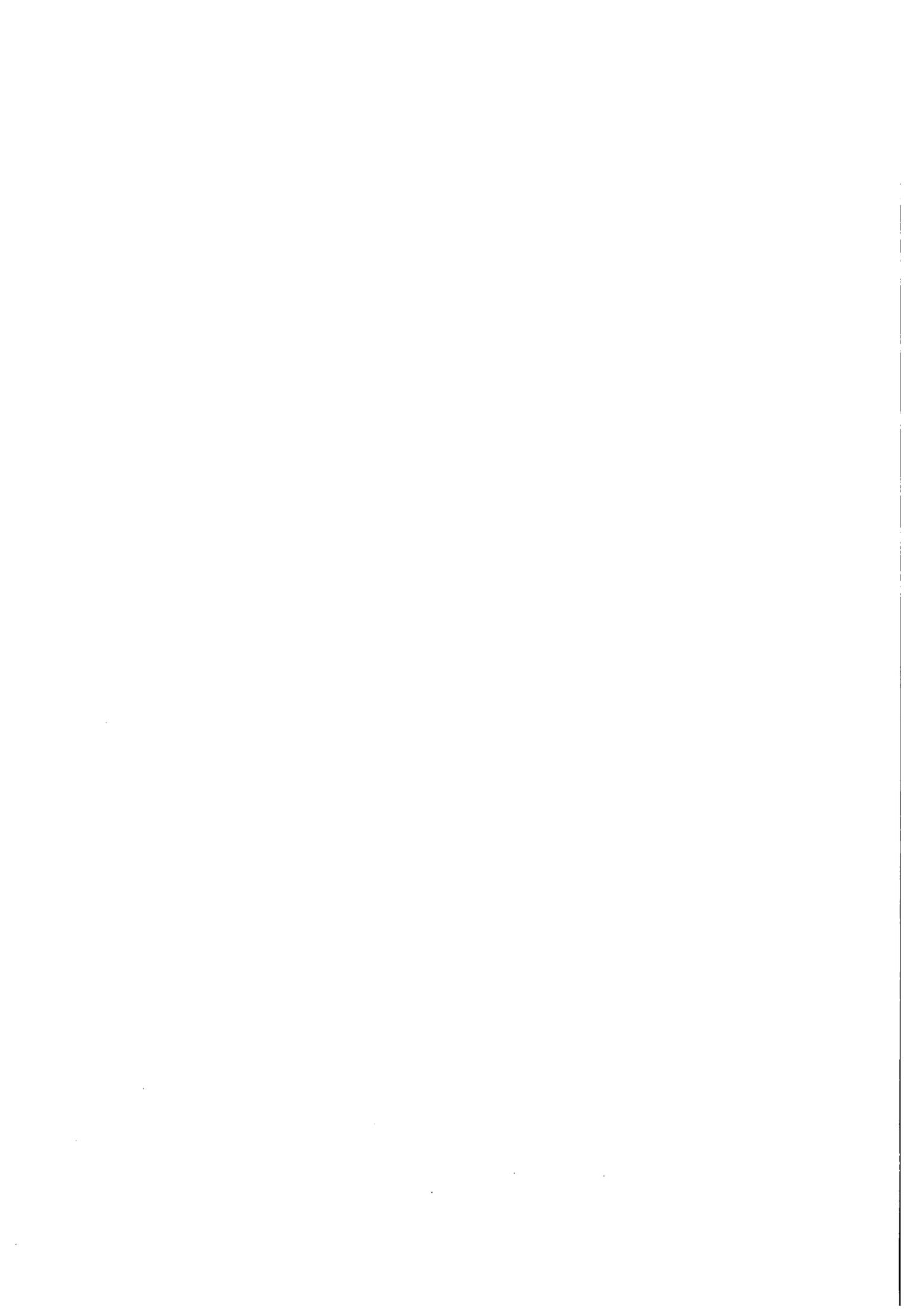


FIGURA 7. Avaliação de crescimento do sistema radicular de milho em coluna de solo com saturação de alumínio crescente em profundidade.



**FIGURA 8.** Avaliação da dispersão do sistema radicular em milho cultivado em anéis concêntricos de solo contendo diferente saturação de alumínio.



**ADAPTACIONES MORFOLOGICAS Y FISIOLÓGICAS EN PLANTAS DE  
MAÍZ SOMETIDAS A DEFICIENCIA DE OXÍGENO EN EL SUELO \***

**Mauricio Antonio Lopes ✓  
Sidney Netto Parentoni  
Ricardo Magnavaca \*\***

**RESUMEN**

El maíz en el Brasil se cultiva normalmente en el verano, cuando lluvias intensas son comunes y la saturación o encharcamiento del perfil del suelo suele ocurrir. En condiciones de áreas bajo riego, después de la cosecha del arroz, el cultivo del maíz puede sufrir los efectos del encharcamiento por la elevación del nivel freático, por lluvias ocasionales y por la infiltración de

---

\* *Se agradece al Dr. Víctor Palma por la traducción del presente texto, de Portugués al Español, y a los Drs. Guillermo Hernández del PROCINDINO y José Espinoza, del INIAP, por la revisión técnica del trabajo.*

\*\* *Investigadores del Centro Nacional de Investigación en Maíz y Sorgo de la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (CNPMS/EMBRAPA), Rodovía MG 424, km 65, Casilla Postal 151, 35700, Sete Lagoas, MG, Brasil.*

los canales de riego. En estas circunstancias, los cultivares que presentan tolerancia al "stress" de oxígeno tienen mayores posibilidades de resistir, minimizando los riesgos de pérdidas. El cultivo del maíz ha sido poco estudiado en estas circunstancias y las experiencias actuales muestran que, a pesar de importantes, los trabajos conducidos en el campo con el objetivo de evaluar tolerancia son de difícil ejecución dado que muchos factores no pueden ser controlados adecuadamente. Considerando la inmensa área del territorio brasileño potencialmente utilizable para el cultivo del maíz que está sujeta a deficiencias ocasionales de oxígeno, el Centro Nacional de Investigación de Maíz y Sorgo de la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (CNPMS/EMBRAPA), viene desarrollando trabajos para detectar, cuantificar y manipular adaptaciones morfológicas y fisiológicas en las plantas de maíz sometidas a deficiencia de oxígeno. El presente trabajo tiene por objetivo reunir informaciones básicas sobre sistemas de suelo bajo condiciones de ausencia de oxígeno (anoxia) y, además, estudiar la reacción de las plantas sometidas a esta condición.

## INTRODUCCION

El Programa de Aprovechamiento de Tierras Irrigables (PROVARZEAS) es un instrumento de política agrícola que tiene por objetivo viabilizar una superficie estimada en 28 millones de hectáreas de tierras fértiles y potencialmente utilizables en el Brasil.

En esta estrategia de aprovechamiento de estos recursos disponibles, cerca de 500.000 ha de tierras irrigables fueron identificadas en el Estado de Minas Gerais, (Frota *et al.*, 1982), muchas veces usadas en forma primitiva o simplemente desaprovechadas. El aprovechamiento racional de estas áreas viene siendo gradualmente incrementado, generando aumentos en los ingresos de los agricultores y promoviendo la expansión de la "frontera agrícola" dentro del área tradicional de explotación agropecuaria de las propiedades rurales.

Se considera como tierras irrigables a los suelos aluviales y/o hidromórficos, frecuentemente ricos en materia orgánica, fácilmente irrigables y de ferti-

lidad generalmente elevada por haber sido oriundas de deposición de materiales cargados por los ríos o por las lluvias. Estas áreas pueden ser temporalmente inundadas por los cursos de agua, muchas veces próximos, o encharcadas por exceso de lluvias, deficiencia de drenaje, elevación del nivel freático, infiltración de canales de irrigación, etc.

Con excepción del arroz, las plantas cultivadas son susceptibles al encharcamiento y unas especies son más sensibles que otras. La sensibilidad varía generalmente con la fase del ciclo vegetativo, con la duración del encharcamiento y con la presencia de factores provocados por la anaerobiosis, que influyen en el desarrollo de la planta (Silva, 1984).

Existe un amplio conocimiento general sobre la influencia del encharcamiento en numerosas especies cultivadas (Silva, 1984). Para el cultivo del maíz las informaciones, sin embargo, son escasas y no concluyentes. Esta especie podría ser utilizada en tierras irrigables después del arroz y de otros cultivos de verano para la producción de forraje y granos, o de choclo y forraje.

Las pruebas conducidas en el campo para la identificación de tolerancia a la deficiencia de oxígeno (O<sub>2</sub>) en el suelo son necesarias, pero de difícil ejecución, dada que existen factores en la relación suelo-agua-clima-planta que no pueden ser cuantificados ni controlados adecuadamente. Pruebas de "screening" en condiciones artificialmente controladas han sido utilizadas como herramientas para obtener informaciones auxiliares al trabajo de mejoramiento genético de plantas bajo condiciones de "stress".

## **ALTERACIONES QUIMICAS EN SUELOS ENCHARCADOS**

Cuando un suelo es inundado, sus reservas de O<sub>2</sub> se pueden reducir a cero en menos de un día. La tasa de difusión del O<sub>2</sub> atmosférico es 10.000 veces más lenta a través de cámaras líquidas o poros tomados por agua que a través del aire o poros tomados por aire. Los microorganismos anaeróbicos y aeróbicos facultativos se multiplican rápidamente y aceleran el proceso de descomposición de la materia orgánica usando componentes oxidados del suelo en lugar

de O<sub>2</sub> como receptores de electrones. Como resultado el suelo pasa de estado oxidado a estado reducido (Sánchez, 1981).

El gas carbónico (CO<sub>2</sub>), por ser treinta veces más soluble que el O<sub>2</sub>, tiene distribución uniforme en los suelos encharcados. La mayoría de las plantas cultivadas no toleran elevadas dosis de CO<sub>2</sub> y el límite de tolerancia varía con la especie y con el nivel de O<sub>2</sub> todavía presente en el suelo (Silva, 1984).

El potencial de óxido-reducción (Eh) es un parámetro útil para medir la intensidad de reducción del suelo y para identificar las reacciones predominantes que allí tienen lugar. Los nitratos se vuelven inestables a valores de Eh entre + 400 y + 300 mv y se denitrifican. Después de la pérdida de los nitratos, los microorganismos anaeróbicos, reducen los compuestos de Mn<sup>+4</sup> a Mn<sup>+2</sup> a valores de Eh próximos a + 200 mv. Con la disminución de Eh a cerca de + 120 mv ocurre la reducción de Fe<sup>+3</sup> a Fe<sup>+2</sup>, siendo esta la más importante reacción de reducción en suelos encharcados, dado que los compuestos de hierro (Fe) generalmente son más abundantes en el suelo. Varios ácidos orgánicos como el pirúvico y el láctico son reducidos a alcoholes a valores de Eh próximos a + 180 mv. Los iones sulfato (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) son reducidos a SO<sub>3</sub><sup>-2</sup> y S<sup>-2</sup> a aproximadamente a 150 mv. Otras reacciones de reducción ocurren en suelos más intensamente reducidos, pero a valores de Eh que no se encuentran ni siquiera en los suelos cultivados en arroz inundado (Ponnamperuma 1965, 1972 y Sánchez, 1981).

Woodruff et al. (1984) al estudiar diferentes niveles de la capa freática en experimentos de subirrigación de maíz, concluyeron que la denitrificación por procesos microbianos redujo la absorción de nitrógeno (N) 48 horas después del encharcamiento del suelo. En un trabajo semejante, Sing y Ghyllyal (1980), determinaron que la absorción de N y potasio (K) se redujo drásticamente 72 horas después del inicio del tratamiento encharcado debido a la reducción de nitratos y de la absorción y translocación deficiente de K en condiciones de anaerobiosis.

La más importante alteración química en suelos encharcados es la reducción de Fe acompañada de un aumento en su solubilidad (Sánchez, 1981). De

5 a 50% de los óxidos de Fe presentes en el suelo pueden ser reducidos en pocas semanas de sumergimiento, dependiendo de la temperatura, de la cantidad de materia orgánica y del grado de cristalización de estos óxidos (Ponnamperuma, 1972). Una concentración alta de Fe puede remover considerables cantidades de iones  $\text{NH}_4^+$  de los lugares de intercambio catiónico y generar significativas pérdidas por lixiviación (Patrick e Mahapatra, 1968).

No se conocen evidencias de toxicidad de manganeso (Mn) en condiciones de inundación y para el cultivo del arroz se ha determinado que la liberación de  $\text{Mn}^{+2}$  con anaerobiosis no es suficiente para provocar situaciones de toxicidad (Sánchez, 1981).

El azufre (S) es uno de los elementos más abundantes en la naturaleza y a lo largo del tiempo ha sido reconocido como esencial en el desarrollo de vegetales y animales (Brady, 1979). A niveles muy intensos de reducción, los iones  $\text{SO}_4^{-2}$ , forma absorbida por los vegetales, son reducidos a  $\text{SO}_2^{-3}$  y  $\text{S}^{-2}$  por bacterias de los géneros Desulfovibrio y Desulfomaculum (Brady, 1979 y Sánchez, 1981). En suelos ácidos, después del encharcamiento, ocurre inicialmente un aumento de  $\text{SO}_4^{-2}$  en la solución del suelo debido a la liberación del anión absorbido, seguido de una lenta disminución (Harward y Reisenauer, 1966 y Sánchez, 1981). En suelos neutros o alcalinos la concentración de  $\text{SO}_4^{-2}$  se puede reducir a cero en seis semanas de anaerobiosis (Ponnamperuma, 1972). La aplicación de cal acelera considerablemente la reducción del  $\text{SO}_4^{-2}$  (Nhung y Ponnamperuma, 1966).

La concentración de fósforo (P) en la solución del suelo aumenta con la anaerobiosis. Esto ocurre debido a la reducción de fosfatos férricos a formas más solubles de fosfatos de hierro. La hidrólisis de fosfatos de Fe y Al en suelos ácidos por la elevación del pH que produce liberación del fósforo fijado, disolución de las capas oxidadas que rodean las partículas de fosfatos, aumento de la mineralización del P orgánico debido al aumento del pH en suelos ácidos, aumento de la solubilidad de la apatita en suelos calcáreos y mejor difusión de iones  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  en un volumen mayor de solución del suelo (Sánchez, 1981; Ponnamperuma, 1972; Turner y Gilliam, 1976).

Las formas de boro (B), cobre (Cu), molibdeno (Mo) y zinc (Zn) presentes en el suelo probablemente no están involucradas en las reacciones de oxi-reducción, pero su movilidad puede ser afectada de alguna forma por el encharcamiento. La reducción de hidróxidos de Fe y Mn y la producción de complejos orgánicos pueden aumentar la solubilidad del cobalto (Co), Cu y Zn. El aumento de pH en los suelos ácidos y la formación de sulfitos pueden disminuir su solubilidad (Mitchell, 1964; Adams y Honeyset, 1964; Jenne, 1968; IRRI, 1970, citados por Ponnampereuma, 1972).

Independientemente del pH original, la mayoría de los suelos alcanza un PH de 6.5 a 7.2 al mes de la inundación y permanecen a ese nivel hasta que se produzca el drenaje. El efecto general de la sumersión es el aumento del pH en suelos ácidos y su disminución en suelos alcalinos. El pH en suelos ácidos aumenta debido a la liberación de iones  $\text{OH}^-$  cuando el  $\text{Fe}_3(\text{OH})$  y compuestos similares se reducen a  $\text{Fe}_2(\text{OH})$  o  $\text{Fe}_3(\text{OH})_8$ . El pH de los suelos alcalinos disminuye a cerca de 7.0 debido al aumento de la presión parcial de  $\text{CO}_2$  que resulta en la liberación de iones  $\text{H}^+$  (Sánchez, 1981).

Los ciclos de inundación y drenaje provocan sensibles pérdidas de N. Inmediatamente después del encharcamiento los nitratos desaparecen y aumenta el contenido de  $\text{NH}_4^+$ . Cuando el suelo se seca, una porción de los iones  $\text{NH}_4$  se nitrifica. En la próxima inundación estos iones se pierden por denitrificación y lixiviación (Sánchez, 1981; Ponnampereuma, 1982).

Todas las reacciones de reducción se revierten cuando el suelo inundado es drenado. El nivel de pH vuelve al normal y la velocidad de reoxidación dependerá de la velocidad de pérdida d agua en el perfil. En los suelos arcillosos y compactados el proceso puede durar varios meses, pero, en los suelos bien agregados la reoxidación empieza pocos días después del drenaje (Sánchez, 1981).

## ALTERACIONES FISICAS EN SUELOS ENCHARCADOS

Cuando un suelo seco se inunda repentina y completamente, los agregados estructurales se saturan con agua. El aire se comprime en los microporos con el avance del agua hasta que pequeñas "explosiones" ocurren dando lugar a la ruptura de los agregados mayores (Yoder, 1936, citado por Sánchez, 1981).

La fase gaseosa del suelo es importante para los cultivos dado que a través de ella se transporta  $N_2$ ,  $O_2$  y  $CO_2$  (Millar, 1978). La difusividad del suelo se reduce drásticamente y puede ser nula a bajos valores de porosidad libre, cuando los poros sin agua no forman una fase continua (Cruciani, 1983).

Un índice de aireación muy empleado es la Tasa de Difusión de Oxígeno (TDO) (Sing Ghydyal, 1980; Letey y Stolzy, 1964; Stolzy y Letey, 1964 y Birke *et al.*, 1964). Para la mayoría de las plantas, cuando la TDO es menor que  $20 \times 10^{-8}$  (gramos de  $O_2/cm^2/min$ ) el crecimiento de las raíces se paraliza. Para un crecimiento adecuado es necesaria una TDO de aproximadamente  $40 \times 10^{-8}$  (Millar, 1978). Sing Ghydyal (1980), al estudiar al maíz, determinaron que antes del encharcamiento, la TDO era  $83 \times 10^{-8}$ , después de cuatro horas era de  $50 \times 10^{-8}$  y después de 32 horas era solamente  $32 \times 10^{-8}$ . Los mismos investigadores concluyeron que la conductividad eléctrica tuvo un aumento proporcional a la duración del encharcamiento debido a la reducción de diversos compuestos y de la acción solubilizadora del  $CO_2$  que aumenta la concentración iónica en la solución del suelo.

La temperatura de los suelos encharcados tiende a ser más estable y con menos oscilación que en suelos secos (Silva, 1984). Los suelos excesivamente húmedos, sin embargo, son fríos debido al consumo de calor en el proceso de evaporación y del elevado calor específico del sistema (Cruciani, 1983). La absorción de calor en suelos secos es mayor y exige mitad del calor necesario para elevar en  $1^\circ C$  su temperatura, en comparación con un suelo que tenga un contenido de humedad de 20% (Silva, 1984).

La estabilidad de los agregados generalmente disminuye con la inundación debido a la hidratación, expansión y mayor solubilidad de los agentes aglutina-

dores. Kawaguchi et al. (1965), Kawaguchi y Kita (1957) y Ahmad (1964), citados por Sánchez (1981), afirmaron que la inundación disminuye gradualmente la estabilidad de los agregados debido a la descomposición de la materia orgánica y reducción de los óxidos de Fe y Mn a formas solubles. Con el secado y reoxidación, la estabilidad de los agregados aumenta debido a la precipitación de los compuestos de Fe y de Mn causando de esta manera revestimientos alrededor de las partículas de arcilla.

## REACCION DE LAS PLANTAS A LA CONDICION DE ENCHARCAMIENTO DEL SUELO

De acuerdo con Rizzini (1976), las mesofitas son plantas que crecen en ambientes en los que el agua no se constituye un factor limitante ni tampoco existe en exceso. El mismo autor afirma que a pesar de esta evidencia, existen en la naturaleza diversos niveles, forma y grados de adaptación estructural debidos a habitats intermedios. La organización de las hidrofitas contrasta violentamente con la de las heliofitas (xerofitas y mesofitas). Entre los dos extremos, con carácter más o menos intermedio, se localizan las mesofitas clásicas, que presentan lagunosidad moderada, pero que en un medio bastante húmedo llegan a parecerse a las primeras.

Formación de Aerenquima: Aerenquima fue denominada por Esau (1976) como parenquima caracterizado por espacios intercelulares amplios, de origen esquizógena (por la separación de la pared celular a lo largo de la lamela media), lisígena (por la disolución de las células) o rexígena (por la separación de las células).

El arroz es uno de los pocos cultivos capaz de crecer bajo inundación, debido a la habilidad de oxidar su propia rizosfera. El  $O_2$  se difunde de las hojas hacia las raíces y este mecanismo satisface las necesidades respiratorias de las células radiculares, además que posibilita la secreción de  $O_2$  y compuestos oxidados (Alberta, 1953; Ponnmanperuma, 1965; Luxmoore y Stolzy, 1972 y Sánchez, 1981).

Jackson (1985) afirma que en las mesofitas como maíz, trigo, cebada, avena, salvado y girasol, la presencia de aerenquima es mínima en condiciones de buena aireación en el suelo, pero su formación es promovida en condiciones de aireación deficiente.

Kawase (1981), en extensa revisión sobre el asunto, determinó que existían claras evidencias de que las plantas tolerantes al encharcamiento tienen un sistema de transporte de  $O_2$  para el sistema radicular bastante más desarrollado que las plantas no tolerantes.

Das y Jat (1977) al trabajar con cuatro cultivares de maíz y Jat et al. (1975), al trabajar con otros seis cultivares, determinaron una significativa porosidad de raíz en condiciones de encharcamiento por el método del picnómetro descrito por Jensen et al. (1969).

Sing y Ghydyal (1980), evaluaron la respuesta de cultivares de maíz a la condición de encharcamiento intermitente (48 y 72 horas). Hubo variación entre los cultivares de 9.8 a 12.5% de aerenquima en prefloración, y 9.9 a 13.0% en floración. En las parcelas de control, los resultados variaron de 7.2 a 7.5%. Los autores afirman que el desarrollo de técnicas de "screening" para evaluación de tolerancia a "stress" de  $O_2$ , puede ser una forma importante de seleccionar germoplasma tolerante a la anaerobiosis temporal.

Luxmoore et al. (1970), al evaluar la respuesta del maíz y del arroz al "stress" de  $O_2$ , determinaron un aumento lineal de la porosidad de la raíz de la extremidad hasta cerca de 6 cm. Con más de 6 cm la porosidad se mantiene constante para el maíz (alrededor del 10%) y más variable para el arroz (alrededor del 35%).

Drew et al. (1978), al evaluar un cultivar de maíz en solución nutritiva con "stress" de oxígeno, determinaron aerenquima desarrollado más allá de 4 cm de la extremidad de la raíz. Más allá de 8 - 10 cm se observó el colapso del tejido cortical, en el cual solamente 20% del tejido presentaba células consistentes e intactas.

Las plantas cultivadas pueden tener adaptaciones morfológicas y fisiológicas a la anaerobiosis, pero estos procesos son limitados, y muchas especies mesofitas dependen grandemente de su plasticidad y adaptabilidad a la condición encharcada. La selección y el mejoramiento de plantas para soportar "stress" de  $O_2$  es un medio de sacar provecho de la variabilidad de estas especies, pero es preciso tener en mente que las adaptaciones posibles de aprovechamiento son recursos temporales o limitados, pues las mesofitas generalmente perecen en condiciones de encharcamiento muy prolongadas.

Capacidad oxidativa del sistema radicular: El perfil de un suelo completamente inundado no está totalmente reducido. Existen varias zonas oxidadas como la capa superficial (1 a 10 mm de espesor) en razón del equilibrio entre el oxígeno del aire y el oxígeno disuelto en el agua. Aún en las capas inferiores reducidas, las raíces activas permanecen oxidadas debido a la exudación de compuestos oxidados, lo que puede ser observado por la presencia de compuestos férricos amarillentos y precipitados en algunas partes de la superficie radicular (Sánchez, 1981).

Mitsui et al. (1961) propusieron la existencia de excreciones enzimáticas en raíces de arroz, que produjeron  $H_2O_2$  que sería degradado por la catalasa liberando  $O_2$ .

Armstrong (1967) determinó una actividad oxidante en la raíz de arroz 9 veces mayor de la que podría ser explicada por la difusión de oxígeno de la parte aérea. El autor concluyó que la actividad enzimática era responsable por el fenómeno.

El poder de oxidación del compuesto  $\alpha$ -naphthylamina en raíces de arroz está correlacionado a la tasa respiratoria de estas raíces, y muy usado en el Japón para verificar la actividad metabólica de la raíz (Yamada, 1961). La  $\alpha$ -naphthylamina sería oxidada por la peroxidasa en la presencia de  $H_2O_2$ , pero no sería afectada por el  $O_2$  molecular. La reacción mediría la capacidad del tejido de producir  $H_2O_2$  que estaría directamente relacionada a la habilidad oxidativa de la raíz.

Sánchez (1981) citando a Yoshida (1967), presenta resultados de  $\alpha$ -naphthylamina oxidada por gramo de raíz de plantas inundadas por dos días. Para el arroz, los valores oscilaron entre 15 y 30 mg/g de raíz seca. Para el trigo, 4.9; para el sorgo, 4.0; y, para el maíz, 1.4. El autor sugiere que los resultados explican por que el sorgo tolera mejor la inundación que el maíz.

Compuestos rojizos de óxidos de Fe se encuentran en la parte mediana de las raíces de diversas plantas que crecen en locales inundados (Yoshida, 1978). Se supone que esta capa esté formada por óxidos e hidróxidos de Fe y Mn.

Ando et al. (1983), afirman que el cultivar de arroz IR 36 cultivado a 25° C, presentó cerca de nueve veces más  $O_2$  difuso en relación al que se podría detectar por oxidación de  $\alpha$ -naphthylamina. Los resultados son exactamente contrarios a los determinados por Armstrong (1967), anteriormente citados. Esto indica que sería peligroso generalizar resultados de una especie o de ambientes diversos.

Jensen et al. (1967) afirman que la eficiencia de transporte de  $O_2$  de la parte aérea para la raíz del arroz es cuatro veces mayor que en el maíz y que existe alta correlación entre este coeficiente y la porosidad promedio de la raíz. Para el maíz, la porosidad promedio fue 9.46% y para el arroz 36.3%. Ando et al. (1983) afirman que el  $O_2$  transportado a través de la planta hasta la raíz es la mayor fuente de  $O_2$  molecular para la planta y que esta fuente está relacionada con la oxidación de  $\alpha$ -naphthylamina.

**Producción de Etileno:** La formación de etileno en condiciones de encharcamiento en el suelo es un hecho de gran interés, dado que este gas es un regulador del crecimiento normalmente producido por la planta en respuesta a una condición de "stress", y puede inducir alteraciones biológicas considerables, aún en bajas concentraciones (Smith y Robertson, 1971; Linch, 1975; Liebelman, 1979; Brandford y Yang, 1981; Christiansen y Lewis, 1982; y, Jackson, 1985).

El etileno ha sido considerado un importante mediador entre el establecimiento de la condición de "stress" de  $O_2$  y la aparición de alteraciones como

el marchitamiento de las hojas, formación de aerenquima, aparecimiento de raíces adventicias y senescencia de hojas (Bradford y Yang, 1981).

Smith y Russell (1969) determinaron concentraciones excesivas de etileno en las plantas bajo anaerobiosis que presentaron una serie de daños. Smith y Dowell (1974) encontraron concentraciones encima de 10 ppm de etileno en las plantas cultivadas en campos encharcados. Russell (1977) citado por Christiansen y Lewis (1982) afirma que presiones de  $O_2$  al nivel de 0.01 bar limitan la producción de etileno.

Bradford y Yang (1981) afirman que la anaerobiosis funciona como estímulo para la síntesis del compuesto ACC, precursor del etileno. Este compuesto es conducido de la raíz a la parte aérea y allí convertido en etileno en condición de aerobiosis.

Jackson (1985) comenta que los estímulos para la formación de aerenquima y raíces adventicias en diversas especies, cuando están sometidas a encharcamiento, parece que se deben al etileno.

Konings (1982) concluyó que la aplicación de nitrato de plata en cantidades no tóxicas para las plantas interfiere en la actividad del etileno e inhibe la formación de aerenquima en condiciones de anoxia. El mismo autor afirma que la formación de aerenquima se retarda cuando decrece la biosíntesis del etileno con la aplicación de clorato de cobalto o ácido aminooxiacético (AOA).

Según Koning y Dewolf (1984), el ácido abscisico es un inhibidor natural de la síntesis del etileno en raíces de maíz y también puede causar depresión en la formación de etileno.

Otras reacciones a las condiciones de anaerobiosis: La condición de "stress" de  $O_2$  tiene un efecto drástico en la síntesis protéica de las especies mesofitas con represión de la síntesis de decenas de polipeptidos y la producción de otros llamados polipeptidos anaeróbicos (ANP's), (Chow, 1984). Scandalios (1969) afirmó que la dehidrogenasa de alcohol era el más importante ANP's en maíz.

Van toai (1985) afirma que las enzimas descarboxilasa piruvato y la dehidrogenasa de alcohol (AOH) producen energía en condiciones de "stress" de  $O_2$ , pero también provocan la formación de acetaldeído y etanol que son tóxicos a los tejidos vegetales.

Chow (1984) estudió veinte genotipos de maíz en condiciones controladas, con el objetivo de establecer relaciones entre producción de AOH y tolerancia al exceso de agua. Los resultados indican que la actividad de AOH puede ser un importante recurso para discriminar genotipos tolerantes al encharcamiento, y que el aumento de la actividad de AOH en raíces primarias de maíz, durante la baja presencia de  $O_2$ , es una reacción adaptativa a esta condición.

Healy y Armstrong (1972), al trabajar con Pisum sativum en gel de agar anaeróbico, determinaron que la profundidad de penetración de las raíces es función del balance entre la demanda respiratoria y la difusión de  $O_2$  a lo largo de la corteza de la raíz.

Stolzy et al. (1963) afirma que en el verano, plantas de cítricos soportaban menores cantidades de  $O_2$  en el suelo, lo que sugiere que la mayor actividad fotosintética produciría más  $O_2$  en la parte aérea para el transporte al sistema radicular.

La capacidad del maíz de desarrollar rápidamente raíces adventicias en la base del cuello y la consecuente hipertrofia de esta región cuando está sujeta a stress de  $O_2$ , es considerada una reacción importante de tolerancia a esta condición (Kuznetsova, 1981).

Scott y Russell (1977) y Scharavendijk y Van Andel (1985) consideran que la respuesta a la condición de encharcamiento es semejante a la respuesta a la sequía y citan que en suelos saturados la absorción del agua disminuye por la reducción de la permeabilidad de las raíces.

Christiansen y Lewis (1982) afirman que en condición de encharcamiento ocurre una disminución en la producción de las sustancias de la raíz que abastecen a la parte aérea o se producen allí sustancias que afectan la parte aérea

de forma anormal, o que aún pueden acumularse en la raíz sustancias normalmente producidas para la exportación a la parte aérea.

#### **BIBLIOGRAFIA**

1. **AHMAD, N. 1963. *The effect of evolution of gases and reducing conditions in a submerged soil and its subsequent physical status. Trop. Agr. 40:205-209.***
2. **ALBERTA, T. 1953. *Growth and root development of lowland rice and its relation to oxygen supply. Plant and Soil. 5:1-28.***
3. **ANDO, T.;YOSHIDA, S. and NISHIYAMA, J. 1983. *Nature of oxidizing power of rice roots. Plant and Soil, 72:57-71.***
4. **ARMSTRONG, W. 1967. *The oxidising activity of roots in watherlogged soils. Physiol. Plant. 20:920-926.***
5. **BERTRAND, A.R. and KOHNKE, H. 1957. *Soil Sci. Soc. Am. Proc., 21:135-140.***
6. **BRADFORD, K.J. and YANG, S.F. 1981. *Physiological responses of plants to waterlogging. Hort Science 16(1):3-8.***
7. **BRADY, N.C. 1979. *Natureza e propriedade dos solos. 5ª edicao. Livraria Freitas Bastos S.A.***
8. **CHOW, K.H. 1984. *Alcohol dehydrogenase synthesis and waterlogging tolerance in maize. Trop. Agr. 61(4):302-304.***
9. **CHRISTIANSEN, M.N. and LEWIS, C.F. 1982. *Breeding Plants For Less Favorable Environments. John Wiley & Sons, Inc.***
10. **CRUCIANI, D.E. 1985. *A Drenagem na Agricultura. Nobel. 3ª edicao.***

11. DAS, K.K. and JAT, R.L. 1977. Influence of three soil - water regimes on root porosity and growth of four rice varieties. *Agron. J.*, 69(2):197-200.
12. DREW, M.C.; CHAMEL, A.; GARREC, J.D. and FOURCY, A. 1981. The effect on ion uptake of cortical air spaces in roots of maize subjected to oxygen stress. Annual report 1978. IN: *Crop Physiology Abstracts*. 7(1):48-49.
13. ESAU, K. *Anatomia das Plants com Sementes; traducao: Berta Lange de Morretes. Sao Paulo, Edgard Blucher, 1976.*
14. FROTA, A.B.; CUNHA, A.S.; FRANCIS, D.G. e FILHO, F.M. 1982. Determinantes da produtividade média da terra na cultura de arroz de várzea na região de Muriaé, Minas Gerais. *Revista Ceres* 29(164): 345-351, 1982.
15. HELAY, M.T. and ARMSTRONG, W. 1972. The effectiveness of internal oxygen transport in a mesophyte (*Pisum sativum* L.). *Planta* 103: 302-309.
16. JACKSON, M.B. 1985. Ethylene and responses of plants to soil waterlogging and submergence. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 36: 145-174.
17. JAT, R.L.; DRAVID, M.S.; DAS, D.K. and GOSWAMI, N.N. 1975. Effect of flooding and high soil water conditions on root porosity and growth of maize. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 23: 291-297.
18. JENSEN, R.C.; STOLZY, H.L. and LETEY, J. 1967. Tracer studies of oxygen diffusion through roots of barley, corn and rice. *Soil Sci.* 103:23-29.
19. JENSEN, C.R. et al. 1969. Root air space measurements by a pycnometer method. *Agron. J.* 61(3):474-475.

20. KAWAGUCHI, K., KITA, K. and KIUMA, K. 1956. A soil core sampler for paddy soils and some physical properties of the soil under waterlogged conditions. *Soil Plant Food*. 2:92-95.
21. KAWAGUCHI, K. and KITA, K. 1957. Mechanical and chemical constituents of water-stable aggregates of paddy soils in relationship to aggregate size. *Soil Plant Food*. 3:22-28.
22. KAWASE, M. 1981. Anatomical and morphological adaptation of plants waterlogging. *HortScience* 16(1):8-12.
23. KONINGS, H. 1982. Ethylene-promoted formation of aerenchyma in seedling root of *Zea mays* L. under aerated and non-aerated conditions *Physiol. Plant*. 54:119-124.
24. KONINGS, H. and de WOLF, A. 1984. Promotion and inhibition by plant growth regulators of aerenchyma formation in seedling root of *Zea mays*. *Physiol. Plant*. 60:309-314.
25. KUZNETSOVA, G.A., KUZNETSOVA, M.G. and GRINEVA, G.M. 1981. Characteristics of water exchange and anatomical-morphological structure in corn plants under conditions of flooding. *Fiziologia Rasteneii*, 28(2):340-348, 1981.
26. LETEY, J. and STOLZY, L.H. Measurement of oxygen diffusion rates with the platinum microelectrode. I. Theory and equipment. *Hilgardia* 35:545-554, 1964.
27. LIEBELMAN, M. 1979. Biosynthesis and action of ethylene. *Annu. Rev. Plant Physiol*. 30:533-591.
28. LYNCH, J.M. 1975. *Nature*. 256:576-577.
29. LUXMOORE, R.J., STOLZY, L.H. and LETEY, J. 1970. Oxygen diffusion in the soil-plant system. I. A. *Model Agron. J.* 62:317-322.

30. LUXMOORE, J.R. and STOLZY, L.H. 1972. Oxygen diffusion in the soil-plant system. VI A synopsis with commentary. *Agron J.* 64:725-729.
31. MAGNAVACA, R. 1982. Genetic variability and the inheritance of aluminum tolerance in maize (*Zea mays*) L.) Tese de Ph.D. Lincoln, Nebraska, julho de 1982.
32. MILLAR, A.A. 1978. *Drenagem de Terras Agrícolas: Bases Agronomicas.* MCGraw. Hill.
33. MITSUI, S.J., KUMAZAWA, K. and HORIGUCHI, T. 1961. Dynamic studies on the nutrient uptake by crop plants. *J. Sci. Soil. Manure Jpn.* 32:455-460.
34. NHUNG, M.T. e PONNAMPERUMA, F.N. 1966. Effect of calcium carbonate, manganese dioxide and ferric hydroxide on chemical and electrochemical changes and the growth of rice on flooded acid sulphate soil. *Soil. Sci.* 102:29-41.
35. PATRICK, W.H. JR. and MAHAPATRA, I.C. 1968. Transformation and availability to rice of nitrogen and phosphorus in waterlogged soils. *Adv. Agron.* 20:323-359.
36. PONNAMPERUMA, F.N. 1965. *The Mineral Nutrition of the Rice Plant.* John Hopkins Press, Baltimore. Maryland.
37. PONNAMPERUMA, F.N. 1972. The chemistry of submerged soils. *Advances in Agronomy* 24:29-96.
38. RIZZINI, C.T. 1976. *Tratado de Fitogeografia do Brasil.* Sao Paulo. HUCITEC Ed. da Universidade de Sao Paulo.
39. RUSSELL, R.S. 1977. *Plant Root Systems: Their Function and Interaction With the Soil.* McGraw-Hill, New York. pp.90-112.

40. SANCHEZ, A.P. 1981. *Suelos del Trópico: Características y Manejo*, Primera edición. San José de Costa Rica. IICA-1981.
41. SCANDALIOS, J.G. 1969. Alcohol dehidrogenase in maize: Genetic basis for isozymes. *Science*, 166:623.
42. SCHARAVENDIJK, H.W.V. and ANDEL, O.M.V. 1985. Interdependence of growth water relations and abscisic acid level in Phaseolus vulgaris during waterlogging. *Physiol. Plant.* 63:215-220.
43. SILVA, A.R. da. 1984. Tolerancia ao encharcamento. Trabalho apresentado no 1º Simposio sobre Alternativas ao Sistema Tradicional de Utilizacao das Várzeas do Estado do Rio Grande do Sul. 1984.
44. SINGH, R. e GHILDYAL, B.P. Soil submergence effects on nutrient uptake, growth and yield of live corn cultivars. *Agronomy Journal*, 72(5): 737-741. 1980.
45. SMITH, K.A. and RUSSELL, R.S. 1969. Occurrence of ethylene, and its significance in anaerobic soil. *Nature* 222-769-771.
46. SMITH, K.A. and ROBERTSON, P.D. 1971. *Nature* 234:148-149.
47. SMITH, K.A. and DOWDELL, R.J. 1974. Field studies of the soil atmosphere. I. Relationship between ethylene, oxygen, soil moisture content, and temperature. *J. Soil Sci.* 25:217-230.
48. VAN TOAI, T.T., FAUSEY, N.R. and McDONALD, M.B. 1985. Alcohol dehydrogenase and pyruvate decarboxilase activities in flood tolerant and susceptible corn seeds during flooding. *Agron. J.* 77:753-757.
49. STOLZY, L.H. and LETEY, J. 1964. Characterizing soil oxygen conditions with a platinum microelectrode. *Advances in Agronomy*, 16:249-279.

50. WOODRUFF, J.R., LIGON, J.T. e SMITH, B.R. 1984. Water table depth interaction with nitrogen rates on subirrigated corn. *Agronomy Journal*. 76(3): 280-283.
51. YAMADA, N., OTA, U. and NAKAMURA, H. Diagnosis of root activity of rice plants by  $\alpha$ - naphthylamine assay. *Agriculture and Horticulture (Tokio)* 36:1983-1985. 1061.
52. YODER, R.E. 1936. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of soil erosion losses. *J. Amer. Soc. Agr.* 20:337-351.
53. YOSHIDA, S. 1967. Some problems of iron nutrition in higher plants. Unpublished seminar presented at the. Soils Department, College of Agriculture, University of Philippines; March, 15, 7p.
54. YOSHIDA, S. and TADANO, T. 1978. Adaptation of plants to Submerged Soils. IN: *Crop Tolerance to Suboptimal Land Conditions*. ASA, CSSA, SSSA, USA.



## SELECCION PARA TOLERANCIA A SEQUIA EN MAIZ TROPICAL

**Jorge A. Bolaños \***  
**Gregory O. Edmeades \***

### INTRODUCCION

En los trópicos, períodos impredecibles de sequía o stress hídrico son responsables por pérdidas significantes en la productividad del maíz (*Zea mays* L.). La falta de agua puede afectar el cultivo en cualquier estado de desarrollo, pero el efecto puede ser catastrófico si ocurre en las cercanías de la floración. Mejoramiento genético para resistencia a la sequía durante este período contribuiría notablemente a reducir los riesgos de los agricultores en la siembra del maíz.

Si el stress ocurre durante la etapa vegetativa del cultivo, el impacto principal es una reducción en el crecimiento foliar y la velocidad con la que el cultivo cubre el terreno. Debido a una menor intercepción acumulada de radiación solar, se puede esperar una baja en la producción de materia seca, y por lo tanto, de rendimiento de grano, si el índice de cosecha se mantiene constante. Si el stress ocurre durante el período de llenado de grano, luego de que el cultivo ha

---

\* *Agrónomos/Fisiólogos, Programa de Maíz. CIMMYT, México.*

terminado su desarrollo foliar y la intercepción solar es constante, el efecto primario es una reducción en la fotosíntesis por planta, con resultado en una baja en la producción debido a unos granos de menor peso. Sin embargo, en ambos de estos casos, el efecto del stress es una reducción no tan severa en la productividad del cultivo.

En el maíz, es el período 1 - 2 semanas antes y después de la floración que es particularmente sensitivo al stress hídrico. Sequía o falta de agua durante este período puede resultar en pérdidas enormes de producción de grano. Durante este período, todos los stresses ambientales, como la sequía, radiación, temperatura, nutrientes, densidad, inundación, etc., parecen afectar al cultivo drásticamente. En este período se determina el número final de granos por mazorca, y cualquier stress que reduzca la fotosíntesis por planta afecta negativamente este proceso. En el caso de la sequía o del stress hídrico, además de una reducción de la fotosíntesis por planta, la planta también sufre las consecuencias de una menor tasa de elongación foliar y en particular, de los estigmas, que necesitan extruir para ser polinizados y fertilizados. La elongación y el crecimiento celular son los procesos más sensitivos a los déficits hídricos (Boyer and McPherson, 1976, Hsiao and Bradford, 1982). El maíz es una planta poco común, en que los estigmas y los tubos del polen deben crecer, primero por división celular y luego por elongación, hasta 30 cm para ser fertilizados. Reducciones severas en el número de granos por mazorca, el número de plantas por mazorca y el tamaño de los granos pueden ocurrir si un período de stress hídrico ocurre durante la floración en maíz (Hall et al., 1982, Fischer et al., 1982, Fischer and Palmer, 1984).

El estress hídrico no parece afectar el espigamiento, pero si repercute fuertemente en la producción de estigmas, alargando el intervalo entre ambas fechas de floración. Cuando los materiales se encuentran bajo estress hídrico la producción y extrusión de estigmas puede tardarse demasiado en referencia a la producción de polen, con resultados muy negativos en cuanto a la fertilización y polinización. En general, la floración masculina típicamente antecede a la floración femenina por 1-2 días; sin embargo, hay genotipos en los que las estigmas emergen antes (Fisher and Palmer 1984). Por lo tanto, bajo condiciones de déficit hídricos durante la floración, debido a la falta de sincronización entre la floración masculina y femenina, muchas estigmas se quedan sin fertilizar reper-

cutiendo negativamente en la productividad.

Experiencia acumulada en ensayos en campos de agricultores a través de México parece indicar que la mayor causa de la baja productividad (promedios de 1 a 1.5 ton/ha), en la mayoría de los casos, parece ser una proporción elevada de plantas sin mazorca, y no tanto el número de granos por mazorca, o el peso de los granos. Posiblemente, razones similares existan también en otras partes del trópico. Típicamente los agricultores siembran entre 40 y 50 mil plantas por hectárea, pero se cosechan entre 10 y 20 mil mazorcas, indicando una proporción alta de plantas en las que no hubo buena sincronización en la fertilización. Si este problema de la sincronización entre la floración masculina y femenina pudiera ser mejorado, esto incrementaría significativamente la estabilidad de la producción de maíz en el trópico.

#### **POSIBLES ESTRATEGIAS PARA PRODUCCION EFICIENTE BAJO SEQUIA**

Ante poca disponibilidad de agua, el cultivo puede evadir (o escapar) la sequía, soportar los déficit hídricos o fallecer (Levitt, 1980).

Los mecanismos de evasión son aquellos que permiten a la planta evadir los efectos de la sequía ante una situación de sequía. Tales mecanismos incluyen:

- Precocidad para completar su ciclo de desarrollo con la poca agua disponible.
- Aumentar el volumen de suelo explorado por el sistema radicular incrementando la disponibilidad de agua.
- Reducción en las tasas de uso de agua, ya sea por cerramiento de estomas, menor área foliar, cambios en el ángulo de intercepción solar, reducción en la intercepción solar, producción de área foliar reducida ante el estrés.
- Cambio en el particionamiento de biomasa entre partes aéreas y raíces.

Los mecanismos que permiten a la planta tolerar déficit hídricos o alta tensión hídrica en sus tejidos incluyen:

- Mantenimiento de procesos fisiológicos (fotosíntesis, elongación, transpiración, etc.) a potenciales hídricos bajos.
- Proceso de osmoregulación o acumulación de solutos antes del estrés hídrico.
- Tolerancia celular a potencial hídrico bajo y altas temperaturas asociadas con el estrés hídrico.

El maíz es una planta determinada con una mazorca grande que se desarrolla sincronizadamente con poca plasticidad en respuesta a los estrés ambientales. Tiene poca posibilidad de escapar el estrés con una respuesta plástica, como otros cereales (i.e., trigo). La producción de hojas con alto contenido de cera en la cutícula para reducir transpiración, hojas con ángulos erectos, hojas que se enrollan para reducir la incidencia solar, en general, como estrategias para sequía no son tan importantes. A nivel agronómico, es muy poca la reducción en la transpiración debido a estos factores. Es muy importante recalcar la tremenda dependencia de la cantidad de agua que un cultivo consume y la energía neta incidente sobre el cultivo, haciendo que estas características foliares a nivel agronómico tengan una importancia relativamente menor.

Un incremento en el volumen y la profundidad radicular, sin embargo, pueden tener un impacto significativo en la cantidad de agua que el cultivo pueda extraer del suelo. A nivel agronómico, la extensión lateral radicular tendría una influencia menor, ya que el cultivo se siembra en surcos y las raíces de un surco extraen agua de otros surcos.

Mayores ganancias se podrían esperar de una profundidad radicular mayor. Mediciones de morfología radicular o profundidad radicular en el campo es casi imposible, y el uso de métodos de laboratorio no ha sido demostrado tener una relevancia directa en el comportamiento del cultivo en el campo.

La capacidad de ajustar osmóticamente parece tener una significancia adaptiva ante la sequía. La acumulación de solutos permite a la planta mantener la adquisición del agua de suelos más secos, la capacidad de mantener procesos fisiológicos a pesar de potenciales hídricos más bajos, como la fotosíntesis, apertura estomatal, y la elongación. Sin embargo, la selección de familias con capa-

idad de ajustar osmóticamente a medida que progresa la sequía es un proceso técnicamente bastante complicado y su uso en programas de selección todavía no recomendado.

En general, las respuestas del cultivo a la sequía envuelven estrategias para reducir el uso de agua, incrementar el volumen de agua encontrado por el sistema radicular y desarrollar la capacidad metabólica y fisiológica de tolerar potenciales hídricos bajos o déficit hídricos altos.

### PROGRAMAS DE SELECCION EN CIMMYT

Programas de mejoramiento genético para tolerancia a sequía en maíz comenzaron en CIMMYT en 1975, y estos programas ya han sido descritos (Fisher *et al.* 1983, Edmeades *et al.* 1986). Las selecciones fueron hechas en familias de hermanos-completos de la población tropical Tuxpeno. Comenzando en 1986, programas similares de selección han sido expandidos e incluyen materiales tardíos y precoces, como el Pool 16 (precoz, blanco, dentado), 18 (precoz, amarillo, dentado), 26 (tardío, amarillo, dentado) y La Posta (tardío, blanco, dentado), materiales considerados "elite" agronómicamente.

En CIMMYT la selección para materiales con resistencia a sequía se efectúa en viveros que reciben stress de sequía efectuando la siembra en períodos sin lluvia y aplicando agua con irrigación. Un vivero de sequía requiere de un manejo agronómico adecuado que permita la expresión de la variabilidad genética para la característica deseada. El uso de un vivero de sequía solamente se justifica si se puede identificar los genotipos superiores resistentes al stress que en un vivero normal, sin stress. Esta condición es válida cuando existe una interacción significativa entre genotipo y ambiente (GXE interaction). En el caso de sequía, datos analizados hasta ahora parecen indicar que existe una GXE interacción bastante significativa; esto es, materiales que se comportan bien en sequía no necesariamente se comportan bien en un vivero normal. Esto es razonable ya que la tolerancia a la sequía probablemente envuelve un costo escondido en inversión en mecanismos que confieren la tolerancia a costa de una pérdida en la producción potencial sin stress.

En el manejo del stress en el vivero de stress, es importante asegurarse que el stress es representativo del ambiente para el cual el genotipo está destinado. En el caso de la sequía extrema, normalmente los agricultores suplantán maíz con sorgo y millets, los cuales rinden más establemente bajo tales condiciones. Además, el manejo agronómico del stress debe expresar al máximo la variabilidad genética para tal característica.

### CRITERIOS DE SELECCION

Un cierto número de criterios secundarios en conjunción con rendimiento bajo stress son usados en un Índice de selección. Este Índice de selección ascriba diferentes coeficientes y pesos relativos a los diferentes parámetros evaluados. Mucha importancia se le da a: 1) mantener la fecha de floración constante, i.e., no mover la precocidad de la población, y, 2) mantener el rendimiento bajo condiciones sin stress, ya que el interés es en producción agronómica. La fracción seleccionada debe mantener la producción sin stress, y mantener la misma madurez.

Los parámetros que rutinariamente se evalúan en los viveros de sequía son los siguientes:

- 1) Extensión relativa de tallo/hoja, medida como el incremento en la distancia entre el suelo (base de la planta) y la punta de la hoja expandida más reciente en un período de una semana en el estado de crecimiento vegetativo rápido. El valor conseguido bajo stress es expresado como la fracción del conseguido sin stress.
- 2) El intervalo entre antesis (floración masculina) y la extrusión de estigmas (floración femenina) cuando el 50% de las plantas florecen (Anthesis-silking Interval, ASI).
- 3) Diferencia de temperatura entre el cultivo y el aire medido con aparatos infrarrojos, a diferentes estadios de desarrollo del cultivo.
- 4) Contenido de clorofila en la hoja de la mazorca bajo condiciones de sequía

y riego normal. Esto es una indicación de la capacidad de las líneas y familias de encontrar nitrógeno bajo condiciones de stress hídrico.

5) Calificaciones visuales de enrollamiento foliar, generalmente al medio día cuando se encuentra mayor variabilidad genética entre el material.

6) Calificaciones visuales de fogueo foliar, o la proporción de hojas muertas hechas a diferentes estadios de desarrollo del cultivo, generalmente después de la floración.

7) Rendimiento de grano en condiciones de sequía y sin stress.

El Índice de selección (Schwarzback 1976) permite escoger un "target" fenotípico basado en desviaciones standard de la media de la población. Las distancias de cada carácter se computan en unidades de desviaciones standard, y los distintos caracteres tienen pesos relativos de acuerdo a la importancia que aparenta tener como adaptación al stress.

#### **SELECCION RECURRENTE EN POBLACIONES ELITE**

Actualmente se trabajan 4 pools: 16, 18, 26 y La Posta, en esquemas de selección recurrente basados en hermanos-completos (Pool 16) y familias S1 (Pool 18, 26, La Posta).

Todas las familias son evaluadas en dos localidades. El esquema es el siguiente: se generan mil familias que se llevan a Obregón que se evalúan sin replicación bajo stress y sin stress (desierto de Sonora en México) donde hay un stress hídrico y de altas temperaturas en el verano (abril-agosto), las 250 familias superiores son escogidas y sembradas en Tlaltizapan (Morelos, México) bajo 3 niveles de stress (sin, intermedio y severo) bajo condiciones replicadas en el invierno (noviembre-abril). Las parcelas son pequeñas, surcos individuales de 2.5 m, y se usa un diseño experimental alfa-lattice (Patterson and Williams 1976). Se efectúa una selección basada en las características descritas anteriormente con uso de un índice de selección que incluye: rendimiento sin stress y bajo stress,

elongación relativa foliar, clorofila, intervalo entre antesis y extrusión de estigmas, temperaturas del follaje frías y calificaciones de fogeo y enrollamiento. El 20% de las familias superiores son recombinadas en el siguiente ciclo para reconstituir la población, y luego generar nuevamente mil nuevas familias para comenzar el segundo ciclo de selección. En este esquema cada pool o población toma 2 años por ciclo de selección. Sintéticos experimentales son generados entre las mejores y peores 10 familias por cada característica y evaluada para computar las ganancias por ciclo.

En el caso del Pool 16 el esquema es basado en familias de hermanos completos, pero en el caso de los demás Pools, de familias S1.

### **CREACION DE UN POOL TOLERANTE A SEQUIA**

Capitalizando en las ganancias realizadas en el esquema de selección recurrente en la población de Tuxpeno Sequía (Fischer et al. 1983) se ha comenzado a formar un Pool Sequía basado principalmente en el ciclo 8 de Tuxpeno Sequía. Se han añadido componentes originados de Dekalb en combinaciones con materiales latentes, el híbrido Thailandes KSX-2301, y el contribuyente original del gen latante Michoacán 21. Además, materiales del banco genético, así como cruza con otros materiales con supuestas tolerancias a sequía, están siendo evaluados para posible incorporación en este Pool Sequía. Después de unos 4 a 6 ciclos de recombinación entre los componentes base han sido efectuados ciclos de selección recurrente basados en familias S1 se llevarán a cabo para mejorar la población ante déficit hídricos.

### **EVALUACION DE LOS LOGROS EN TUXPENO SEQUIA,**

#### **CICLOS 0 - 8**

El programa de mejoramiento para resistencia a sequía comenzó en 1975 con la población Tuxpeno. Este año se evaluó agronómica, fisiológica y morfológicamente los cambios ocurridos en Tuxpeno Sequía debido a los programas de selección recurrentes para sequía. Los ciclos 0, 2, 4, 6 y 8 de Tuxpeno Sequía,

así como un testigo, la Pob. 21, se sembraron en Tlalzipan bajo riego normal, stress intermedio (irrigado hasta una semana antes de la floración) y stress severo (irrigado solamente para germinación y establecimiento). Se evaluaron los siguientes parámetros:

- Distribución de la extracción de agua del perfil del suelo (dispersor de neutrones).
- Capacidad de ajustar osmóticamente.
- Apertura de estomas.
- Potencial hídrico matutino y al mediodía.
- Biomasa durante la floración y a la cosecha.
- Intervalo entre antesis y extrusión de las estigmas.
- Temperatura del follaje.
- Clorofila en la hoja de la mazorca.
- Rendimiento de grano.
- Resistencia vertical de extracción de raíces.
- Extensión relativa foliar.
- Tamaño de espigas.

Los criterios de selección usados en este esquema de selección recurrente fueron: a) extensión foliar relativa, b) intervalo entre antesis y extrusión de los estigmas (ASI), c) calificación visual de fogueo de hojas, d) rendimiento de grano sin stress y bajo stress, e) del ciclo 4 en adelante temperatura del follaje.

Los resultados de la evaluación de los ciclos de Tuxpeno Sequía indican que el parámetro más importante que ha cambiado es el intervalo entre la antesis y la extrusión de estigmas, particularmente bajo stress. ASI disminuyó progresivamente de 25 a 5 días del ciclo 0 al 8 bajo stress severo; y de 36 a 5 días bajo stress intermedio; asimismo, aún bajo condiciones de riego normal, los ciclos 6 y 8 sincronizan mejor que el resto de los ciclos (Figura 1). Los efectos fueron más severos en el stress intermedio debido al crecimiento más rápido del follaje

y el mayor uso de agua del perfil del suelo, lo que acentuaron luego el efecto del stress. El tratamiento de stress severo se adaptó lentamente al stress con una reducción en el área foliar del cultivo.

Asociados con estos cambios en la capacidad de extrusión de los estigmas hubieron cambios en la cantidad de materia seca invertidos en la flor femenina durante la antesis (Fig. 2). Los ciclos avanzados de selección se invirtieron más biomasa en el jilote durante la antesis, particularmente bajo stress.

La Figura 3 enseña la producción de biomasa por los diferentes ciclos de selección. Bajo condiciones de riego normal, la producción total de materia seca se aproximó a 12 ton/ha; mientras que bajo los dos tipos de stress se mantuvo cerca de 4 a 5 ton/ha. Sin embargo, no hubieron diferencias estadísticamente significantes entre los ciclos de selección.

El stress impuesto, sin embargo, fue relativamente severo. El rendimiento de grano se mantuvo entre 4 y 5 ton/ha para los tratamientos de riego normal, pero fue reducido drásticamente entre 200 y 600 kg/ha en los tratamientos de stress (Fig. 4). Esta depresión en el rendimiento de 80 - 90% es demasiado grande para extraer conclusiones válidas.

Debido a que el stress fue demasiado severo para extraer conclusiones válidas sobre el rendimiento, se decidió cosechar los bordos de las parcelas. Las plantas en los bordos tienen acceso a un volumen de suelo bastante mayor que dentro de la parcela, y se puede asumir como un stress hídrico menos severo. El análisis de estos datos indica una mayor producción en los ciclos avanzados de selección (Fig. 5). Usando los bordos el rendimiento se redujo de 7 - 8 ton/ha en riego normal a 1.5 - 2.5 ton/ha bajo stress. Estos niveles de stress son mucho más representativos de los ambientes para los cuales los materiales de selección son dirigidos. Sin embargo, los datos demuestran una mejoría en la producción bajo stress de los materiales avanzados de selección para sequía.

## SELECCION EN EL POOL 16 Y EN EL 18

En esta presentación nos limitaremos a enseñar datos de los pools 16 y 18 solamente, no hablando de los pools 26 y La Posta. Los datos para estos otros pools son parecidos que los encontrados en los materiales precoces. El Pool 16 es manejado en un esquema de hermanos completos, mientras que el Pool 18 es uno de líneas S1.

El rendimiento bajo stress depende fuertemente del intervalo entre la antesis y la extrusión de estigmas (ASI), como lo enseña la Fig. 6. Solamente aquellas familias que son capaces de sincronizar la floración pueden producir grano adecuadamente. Sin embargo, el hecho de que sincronizan no es garantía de alta producción, ya que otros factores pueden ser limitantes; o sea, la sincronización es un factor necesario, pero no suficiente, para la estabilidad de la producción bajo stress. Es interesante notar que bajo stress este intervalo puede extenderse hasta más de 25 días, tiempo claramente demasiado tarde para la viabilidad del polen. Se sabe que una planta de maíz produce polen por un espacio alrededor de 8 días, o sea, que si el intervalo excede este tiempo, las posibilidades de la fertilización son casi nulas.

La Fig. 7 enseña las mismas familias bajo condiciones de riego normal. En estas condiciones el rendimiento no parece depender tan fuertemente de ASI como bajo stress, ya que no hay problemas de sincronización. La mayoría de las familias en estas condiciones sincronizan relativamente bien, con un intervalo menor a los 5 días. En este caso, la fertilización no es el factor más limitante en la producción, así que la dependencia se pierde.

Cabe la pregunta que si se pudiera usar el vivero normal para seleccionar la capacidad de sincronización bajo stress. En la Fig. 8 se enseña la relación entre ASI bajo riego normal y stress severo, demostrando que a pesar de haber una correlación bastante positiva, existe demasiada variabilidad para usar este método. Existe un número de familias que sincronizan muy bien bajo riego, pero muy pobremente bajo stress. Esto demuestra la necesidad de usar stress hídrico para que la variabilidad genética se exprese para esta característica.

Sin embargo, es imposible saber si las líneas que sincronizan bajo stress lo hacen por razones genéticas o porque estas líneas se encuentran bajo un menor stress debido a una mejor captación de agua.

Así mismo, una gráfica entre el rendimiento bajo riego normal y stress severo demuestra que es necesario usar viveros de sequía para seleccionar aquellas familias que se comportan bien bajo stress (Fig. 9). A pesar de existir una correlación positiva, la variabilidad demuestra que es imposible usar los rendimientos bajo riego para sequía. En general, las familias que rinden altamente bajo stress se comportan en la media del rendimiento bajo riego, y viceversa. Aparentemente hay un costo asociado en la resistencia a la sequía, que imparte una pequeña pérdida de rendimiento potencial en estos materiales.

Si uno selecciona en el vivero de sequía fuertemente en base a rendimiento de grano existe el peligro de que uno escoja simplemente los materiales más precoces (Fig. 10).

El rendimiento bajo stress, debido al tipo de stress hídrico impuesto en nuestros viveros, es fuertemente dependiente de la precocidad del material. Materiales precoces logran completar su ciclo con el agua disponible mejor que aquellos materiales tardíos. Debido a esta relación negativa entre fecha de antesis y rendimiento bajo stress, es necesario que uno manipule el programa de selección para mantener la fecha de floración constante.

Bajo riego normal, la dependencia de rendimiento y fecha de floración se rompe (Fig. 11). Esto es de esperarse ya que el vivero no está limitado por agua.

Líneas o familias que mantienen la transpiración deberán ser más frías que aquellas en las que la transpiración está restringida por stress hídrico. El uso de la temperatura foliar como método de selección teóricamente ayudaría a seleccionar aquellas líneas o familias que no están sufriendo de stress hídrico. En los viveros de sequía, usando una pistola infraroja (infrared gun) se midió la temperatura foliar varias veces durante la temporada. La correlación entre la temperatura foliar y el rendimiento bajo stress es bastante pobre (Fig. 12), a

pesar de su base teórica. Parte del problema es que en un vivero de sequía normalmente hay bastante suelo seco, expuesto a la incidencia solar, el cual contribuye con bastante advección (calor) confundiendo la medida del follaje. Si uno se acerca más y trata de medir la temperatura de hojas expuestas tratando de evadir el problema del suelo, entonces difícilmente se pueden escoger hojas con idéntica incidencia solar. El uso de métodos más remotos (fotografía aérea infraroja) probablemente mejoraría este método como sistema de selección.

Similarmente, los síntomas de marchitez o enrollamiento de hojas en maíz pueden ser usados para seleccionar aquellas familias o líneas que están encontrando agua. Calificaciones visuales de enrollamiento (1 = no enrollamiento, 9 = todo enrollado), también correlacionan bastante pobremente con el rendimiento bajo stress (Fig. 13). El enrollamiento como respuesta adaptiva a la sequía tiene un aspecto benéfico, pero también un aspecto negativo. Al enrollarse las hojas demuestran un stress hídrico bastante fuerte, y aquellas que no se enrollan pueden ser visualizadas como en un buen estado hídrico. Sin embargo, el enrollamiento protege a la hoja contra un mayor stress, ya que reduce la incidencia solar, mantiene las temperaturas más bajas y protege a la hoja contra la foto-oxidación. Sin embargo, hay un costo de una menor asimilación y fotosíntesis.

La capacidad de mantener el crecimiento y la elongación foliar son características deseables en la sequía. Sin embargo, nuevamente la correlación entre esta característica y el rendimiento bajo stress es bastante pobre, aunque existe claramente una tendencia positiva (Fig. 14). Esta característica en una sequía de tipo terminal (i.e., tipo mediterráneo) puede ser indeseable, ya que implica un mayor desarrollo foliar, un mayor uso de agua y una depleción de los recursos hídricos del suelo más rápidamente.

Bajo condiciones de stress hídrico, las plantas normalmente son afectadas en su capacidad de absorción de nutrientes del suelo. El contenido de clorofila en la hoja de la mazorca correlaciona fuertemente con el contenido de nitrógeno en la hoja. Líneas que mantienen un alto contenido de nitrógeno bajo stress son por lo tanto deseables. La correlación entre clorofila y rendimiento bajo stress es también pobre aquí (Fig. 15), aunque claramente existe una tendencia positiva.

Estos datos demuestran parte de los problemas en desarrollar criterios de selección en un programa de mejoramiento para sequía. Las características evaluadas, como la temperatura foliar, el enrollamiento, el fogueo, la clorofila, la elongación foliar relativa, teóricamente son deseables. Sin embargo, existe una correlación bastante pobre para todas estas características con rendimiento bajo stress.

## CONCLUSIONES

1. Es necesario usar un vivero de sequía para que la variabilidad genética para estas características se exprese adecuadamente.
2. Es necesario manejar agrónomicamente el stress correctamente para que el efecto simule realísticamente el ambiente para el cual se está llevando a cabo el mejoramiento.
3. En el caso de sequía, existen claramente interacciones de tipo genotipo x ambiente, el cual hace necesario la selección bajo stress.
4. El parámetro más importante de seleccionar es el del intervalo de anthesis y extrusión de estigmas (anthesis-silking interval). Si la planta no puede sincronizar las dos floraciones, las demás características adaptivas no valen mucho. La sincronización de floración masculina y femenina es una condición necesaria, pero no suficiente, para la producción bajo stress.
5. Es necesario mantener la producción de la fracción seleccionada bajo riego normal ya que los materiales deben comportarse bien en aquellas temporadas sin stress. Asimismo es necesario mantener la madurez del cultivo constante, para no seleccionar aquellas familias que escapan al stress.
6. Después que se ha logrado que la población sincronice la floración bajo stress, otras características deseables pueden ser seleccionadas, como enrollamiento, temperatura foliar, capacidad de ajustar osmóticamente, apertura de estomas, fogueo, clorofila, etc.

## BIBLIOGRAFIA

1. **BOYER, J. and MCPHERSON, HG.** 1976. *Physiology of water deficit in cereal grains*, pp 321-339 In: *Climate and Rice*, IRRI, 1976, Los Banos, Philippines.
2. **EDMEADES, G.O., FISCHER, K. and TMT ISLAM.** 1986. *Improvement of maize yield under drought stress*. SAFGRAD-OAU, *International Drought Symposium on Food Grain Production in Semi-Arid Regions of Sub-Sahara Africa*, May 19-23, 1986, Nairobi, Kenya.
3. **FISCHER, K.S., and PALMER, Afe.** 1984. *Tropical maize*, pp. 213-248, In: *The Physiology of Tropical Crops*, John Wiley and Sons, New York.
4. **FISCHER, K.S., JOHNSON, E. and EDMEADES, G.** 1983. *Breeding and selection for drought resistance in tropical maize*. CIMMYT, El Batan, Mexico, 19 p.
5. **HALL, A. et al.** 1982. *The effects of water stress and genotype on the dynamics of pollen-shedding and silking in maize*. *Field Crops Res.* 5:349-363.
6. **HSIAO, T. and BRADFORD, K.** 1982. *Physiological responses to moderate water stress*, pp. 264-324, In: *Physiological Plant Ecology II, Water Relations and Carbon Assimilation*, Springer - Verlag, Berlin.
7. **LEVITT, E.** 1980. *Stress Physiology of Plants*, Academic Press, New York.

FIGURA 1. Tuxpeno Sequia  
Tlalzapán 1987

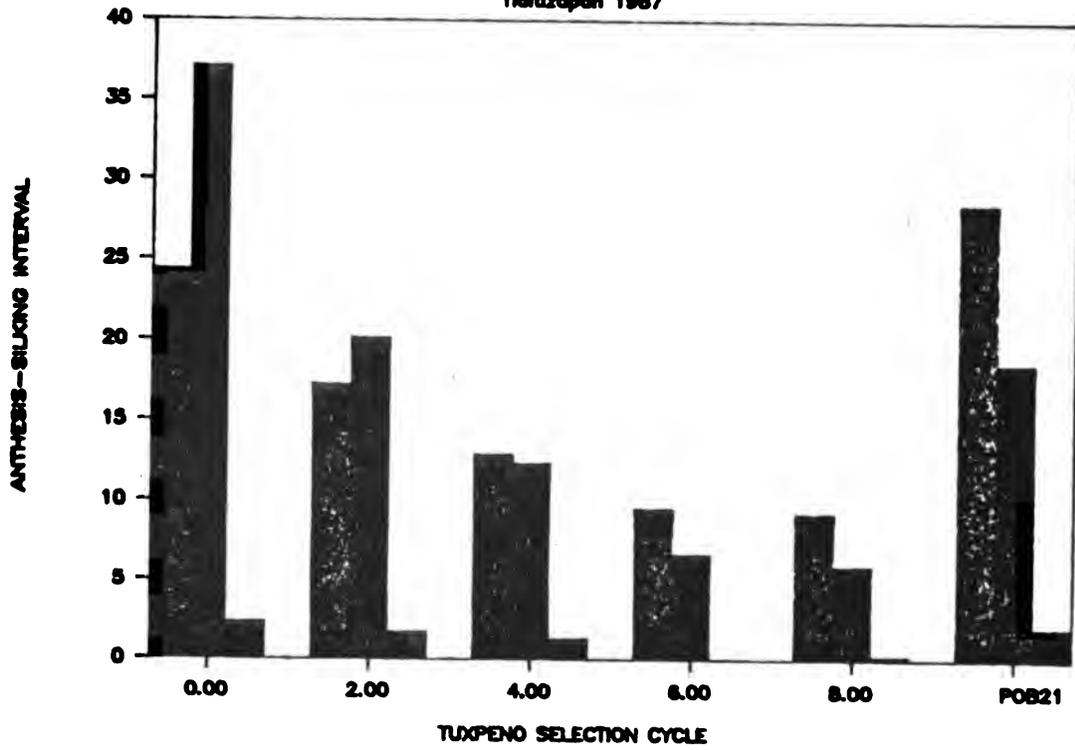


FIGURA 2. Tuxpeno Sequia  
Tlalzapán 1987

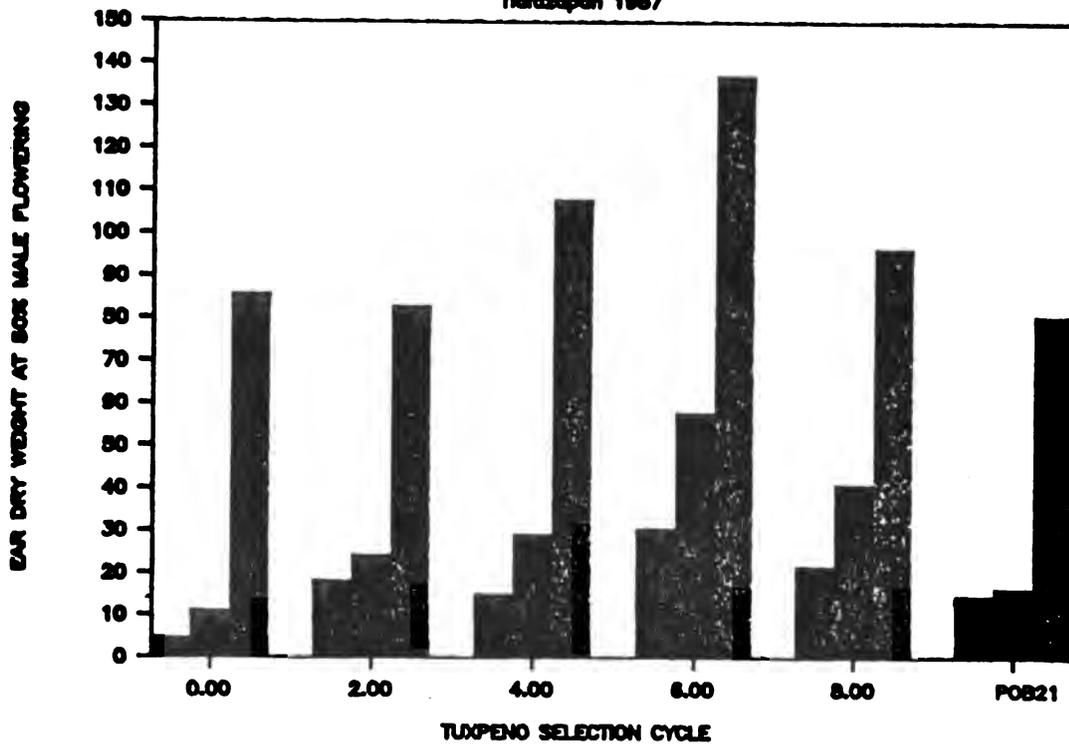


FIGURA 3. Tuxpeno Sequia  
Tlaxtepec 1987

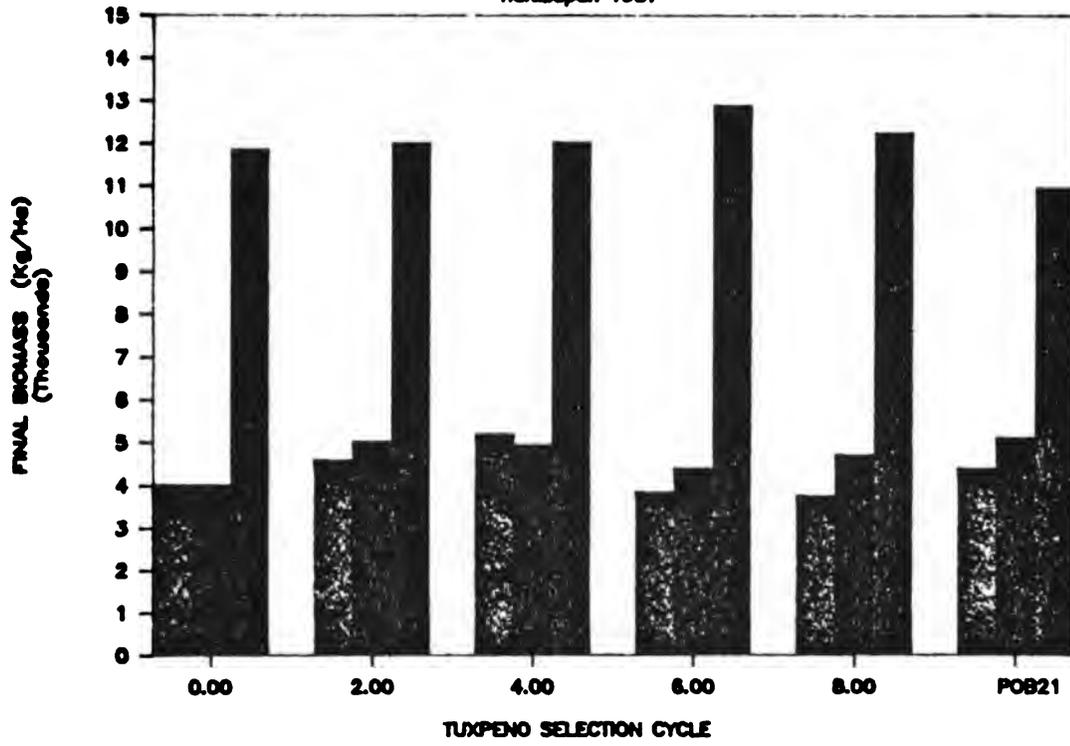


FIGURA 4. Tuxpeno Sequia  
Tlaxtepec 1987

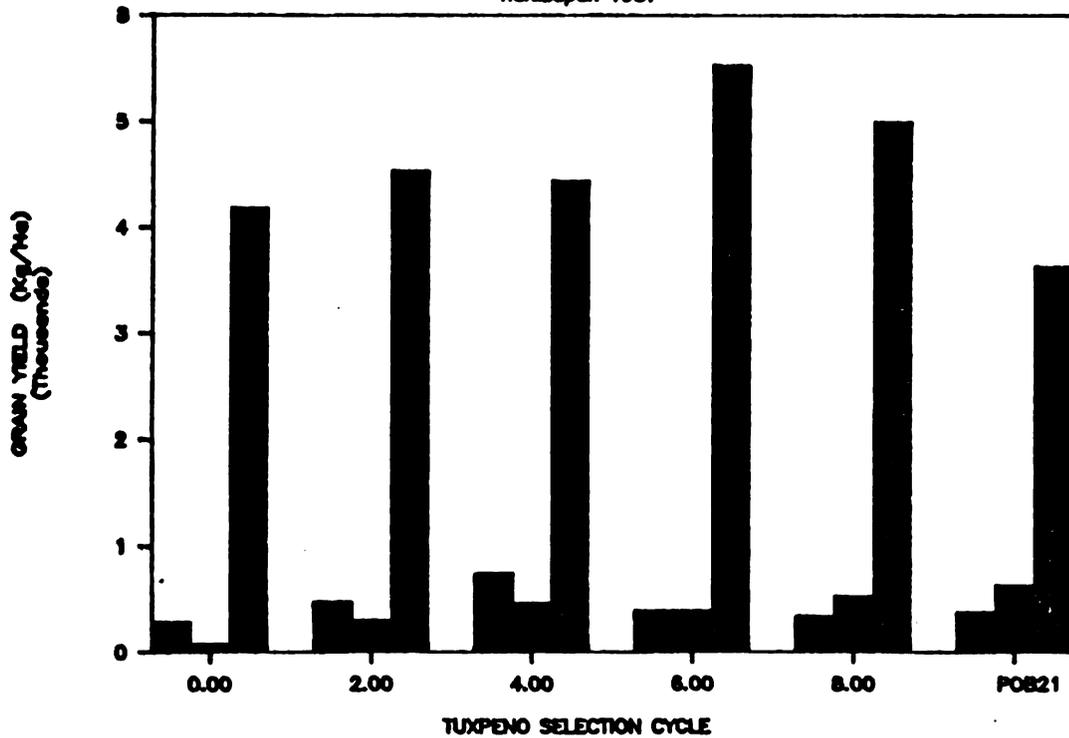


FIGURA 5. Tuxpeno Sequia  
Tlaltzapán 1987

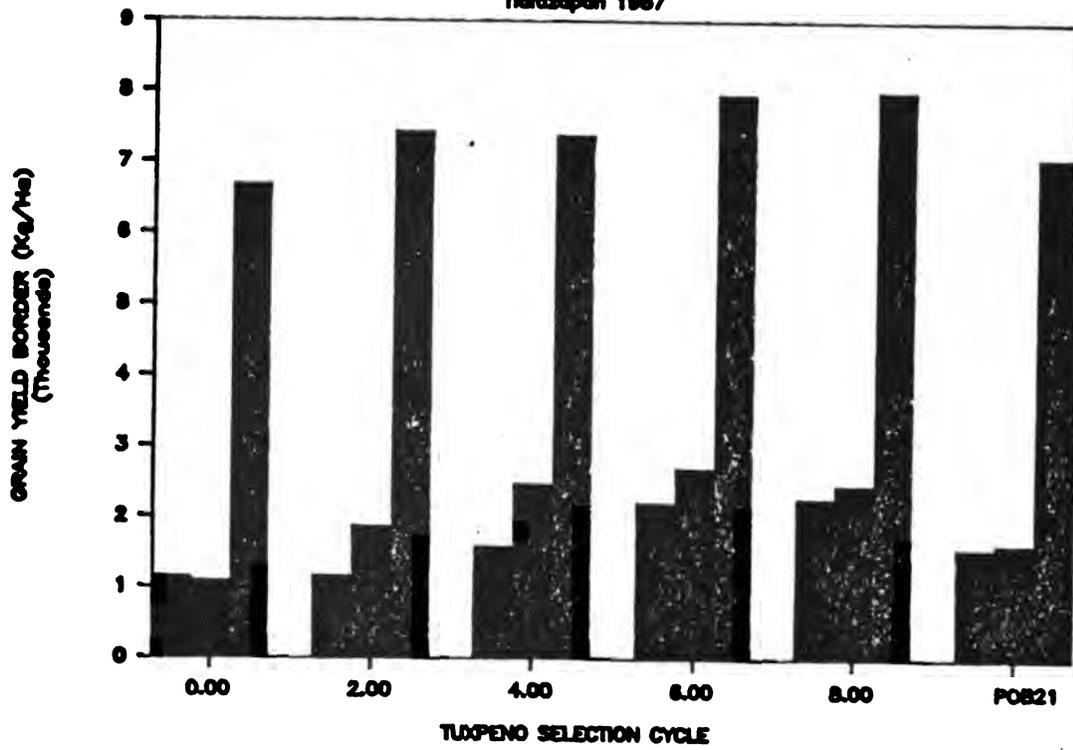


FIGURA 6. Pool 16  
Tlaltzapán 1987

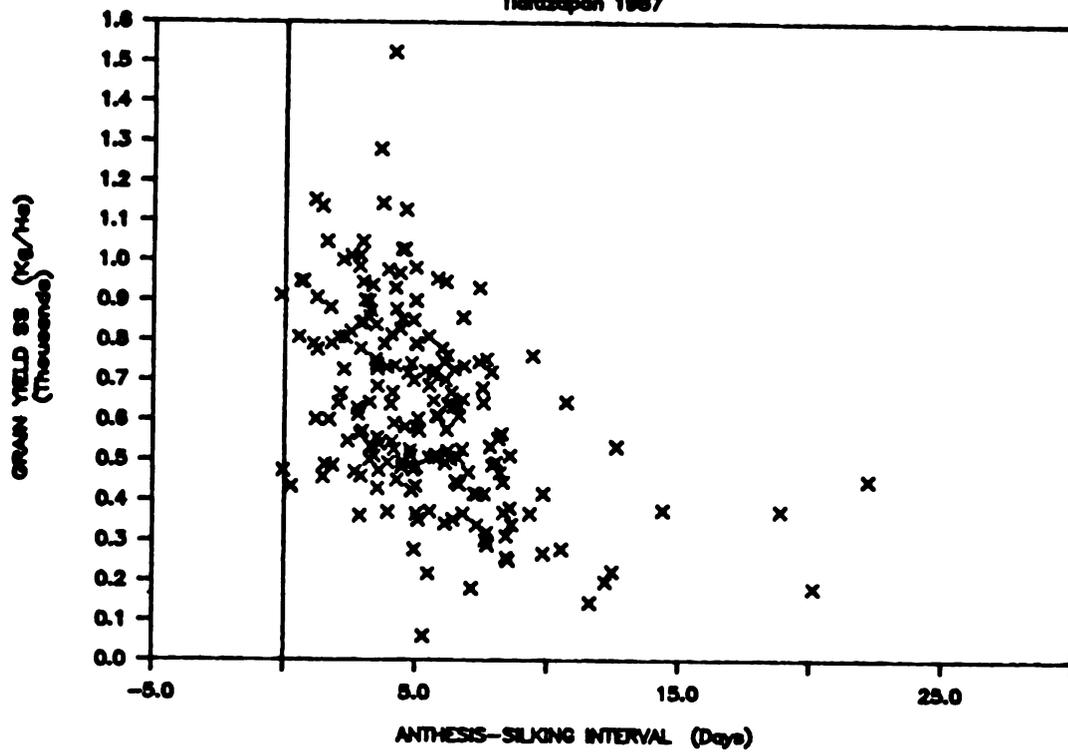


FIGURA 7. Pool 18  
Tlaltizapan 1987

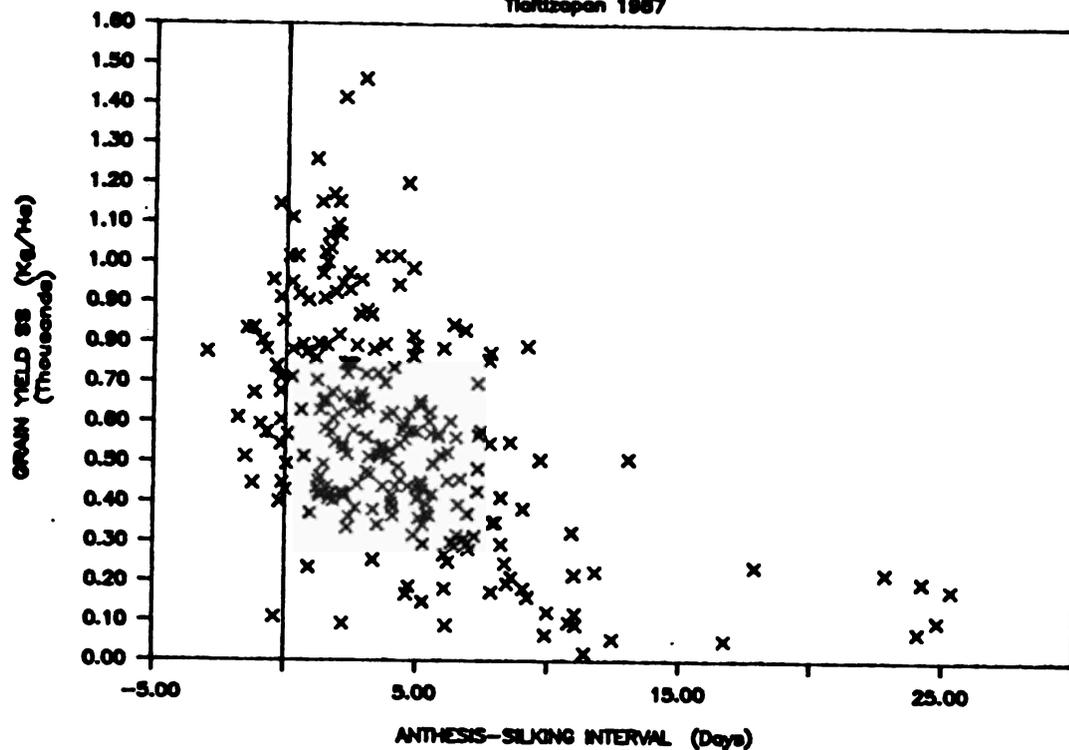


FIGURA 8. Pool 16  
Tlaltizapan 1987

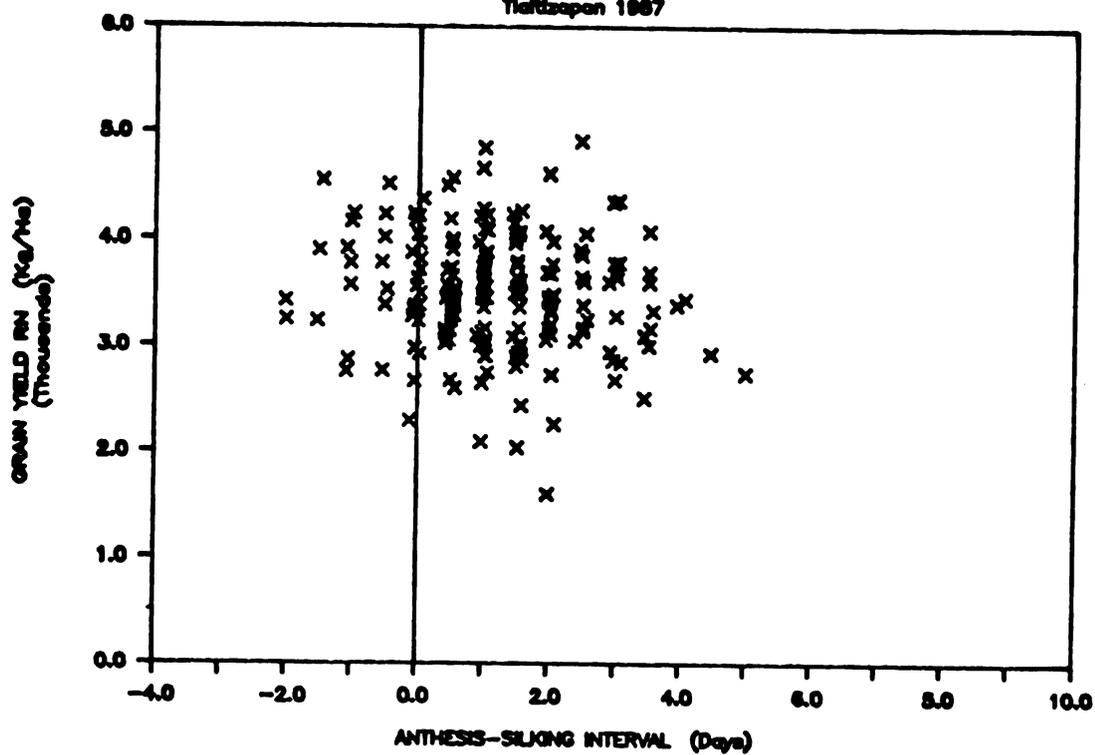


FIGURA 9. Pool 18

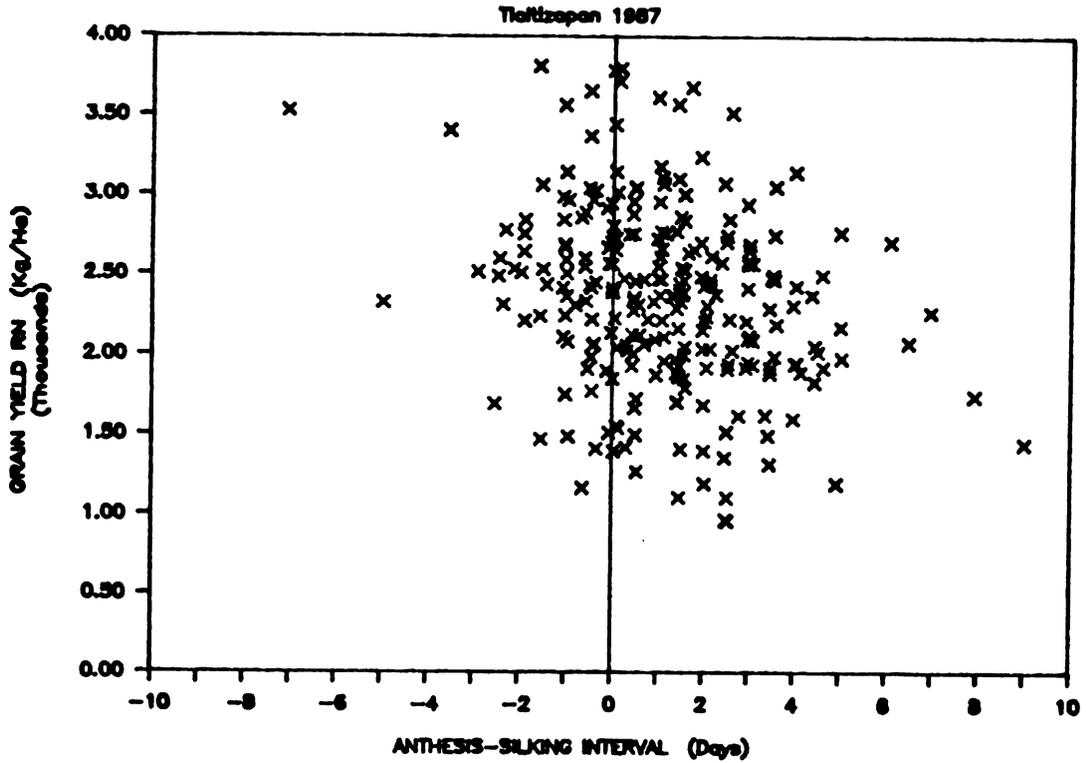


FIGURA 10. Pool 16

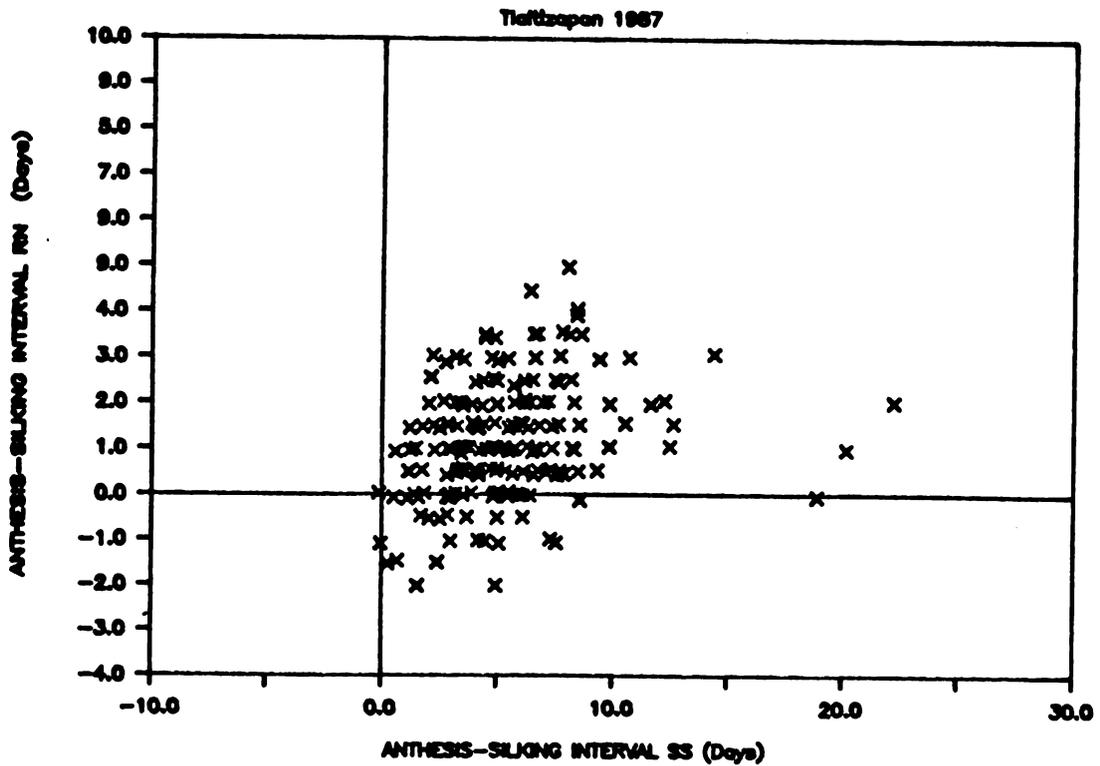


FIGURA 11. Pool 18

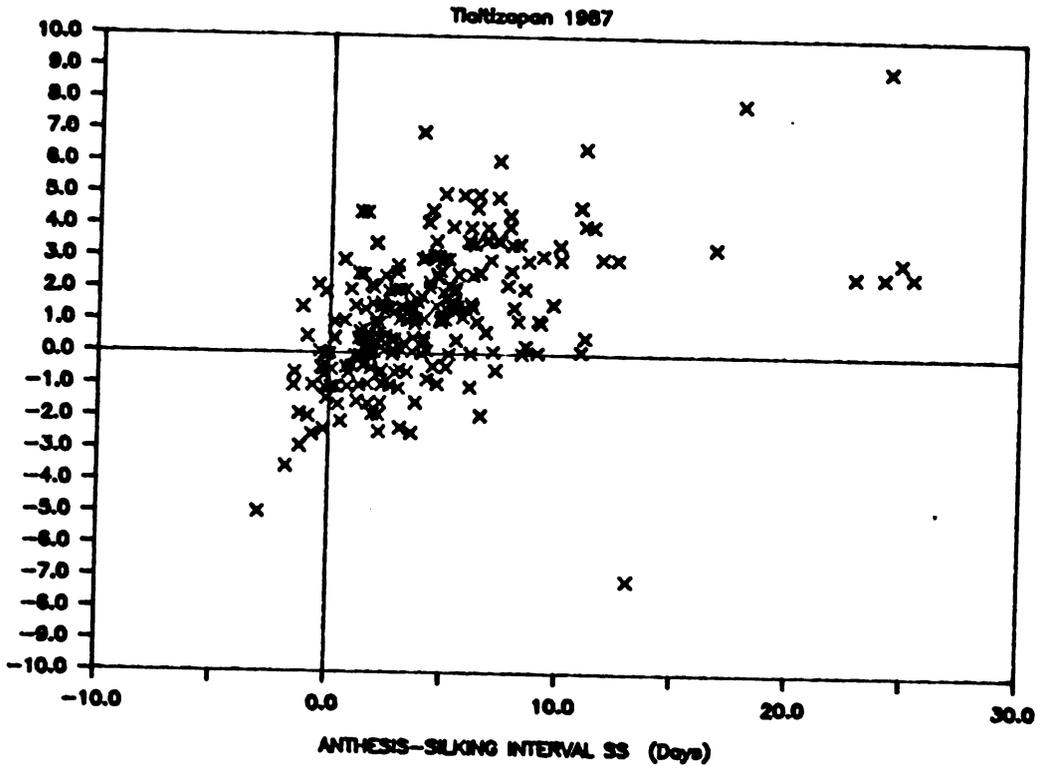


FIGURA 12. Pool 16

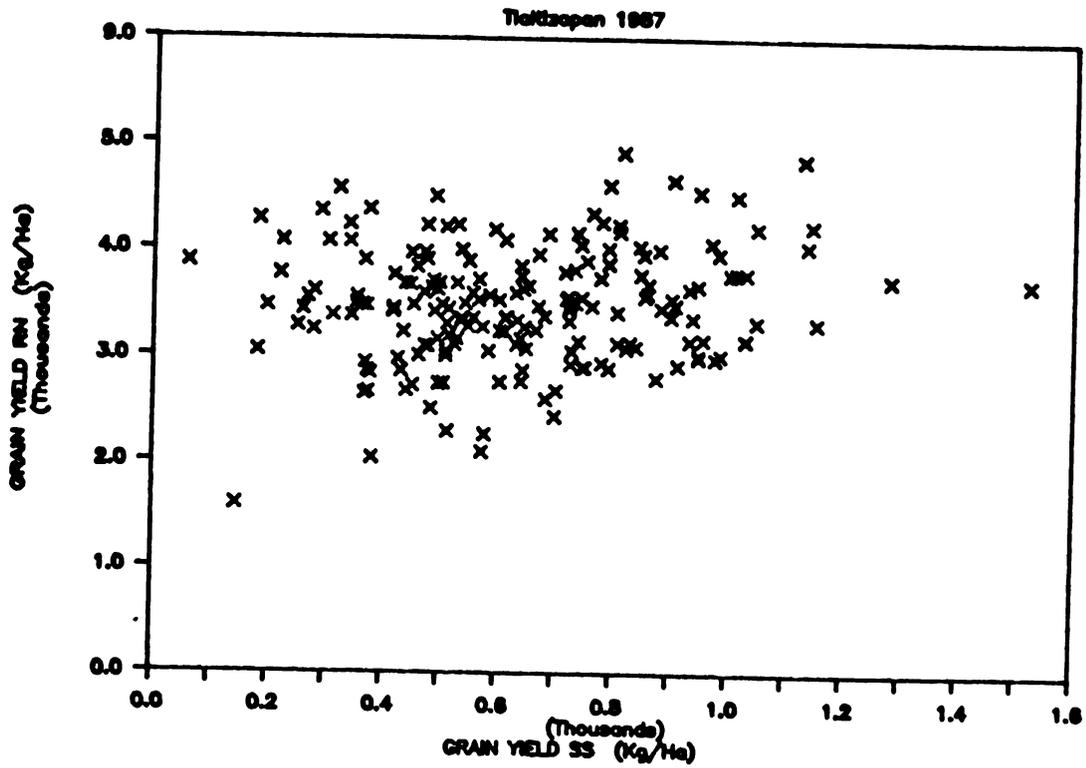


FIGURA 13. Pool 18

Tlaltizapan 1987

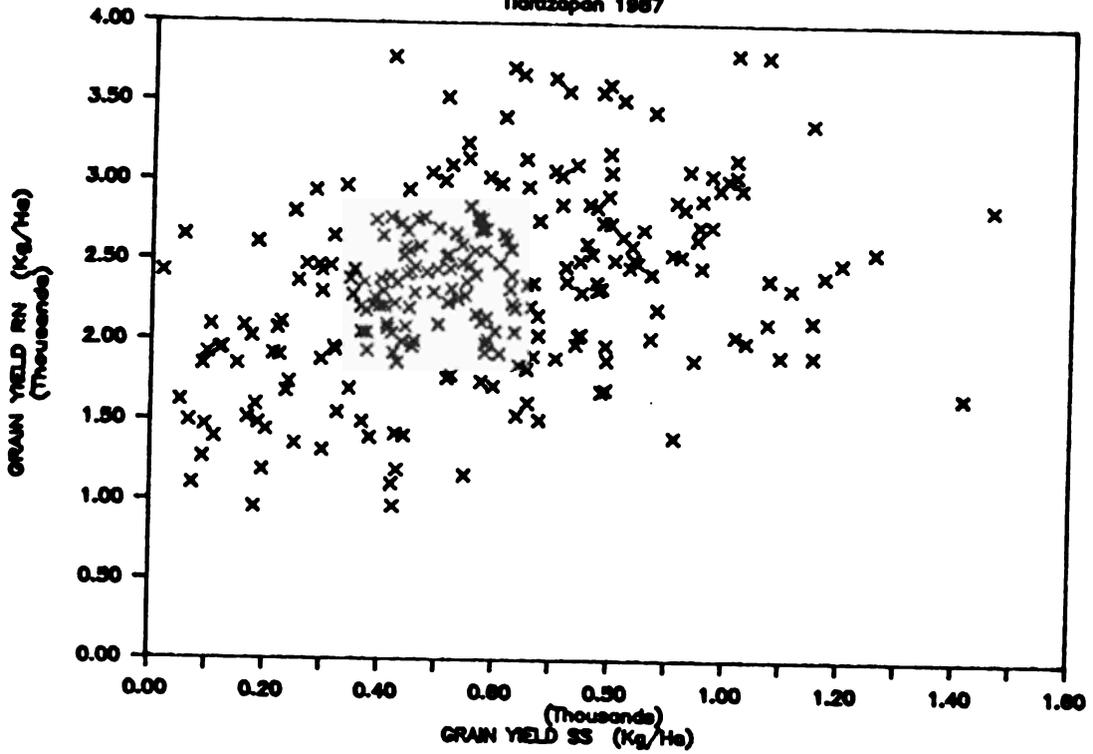


FIGURA 14. Pool 16

Tlaltizapan 1987

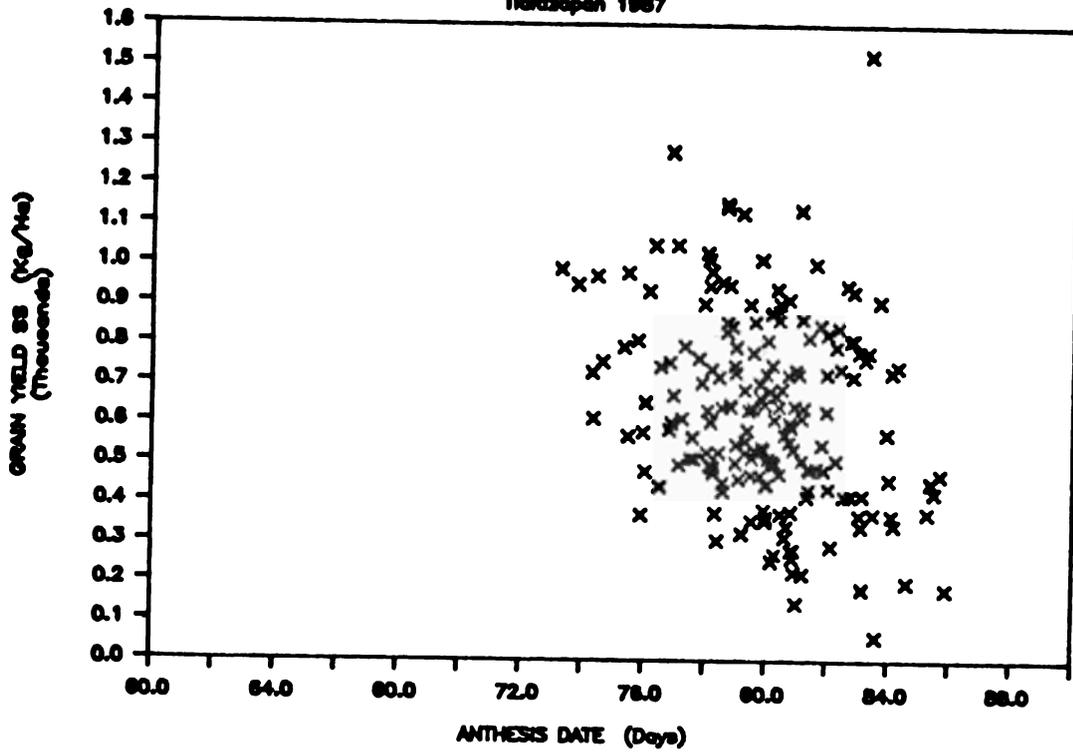


FIGURA 15. Pool 18

Tlatizapan 1987

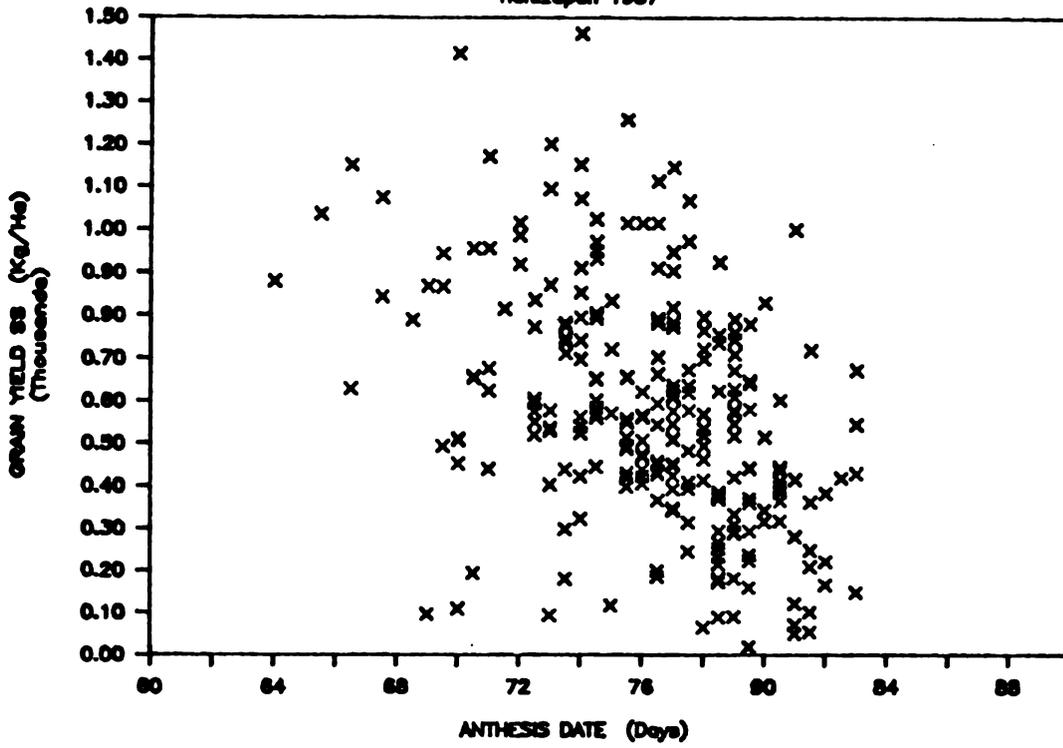


FIGURA 16. Pool 16

Tlatizapan 1987

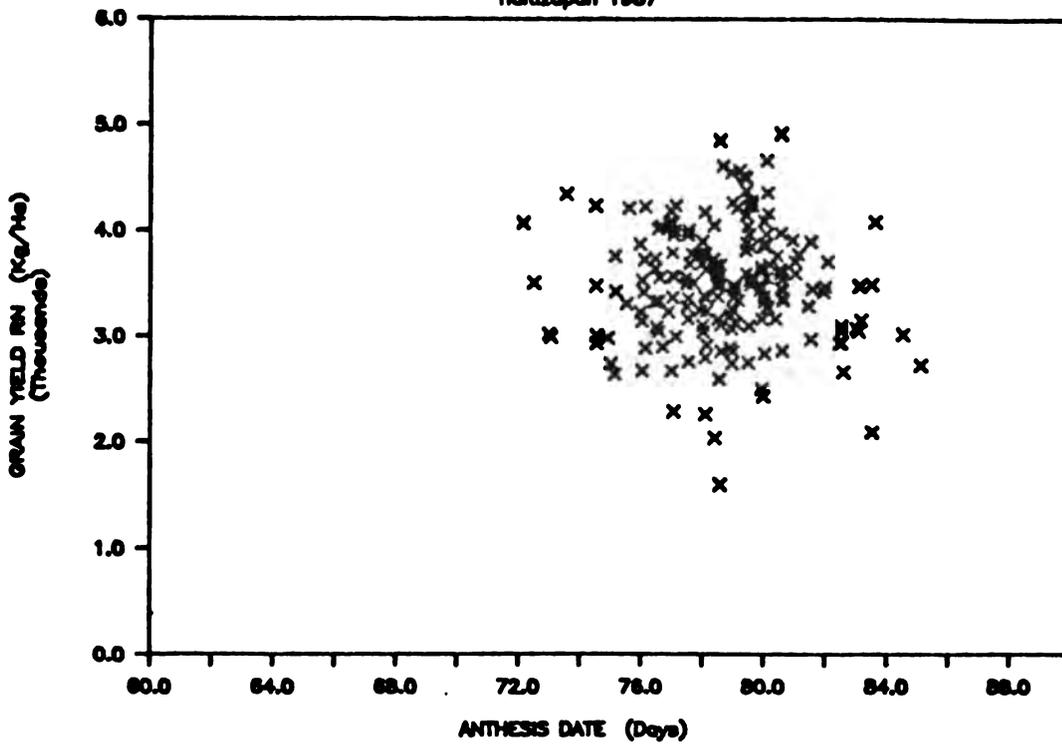


FIGURA 17. Pool 18

Tlalzapán 1987

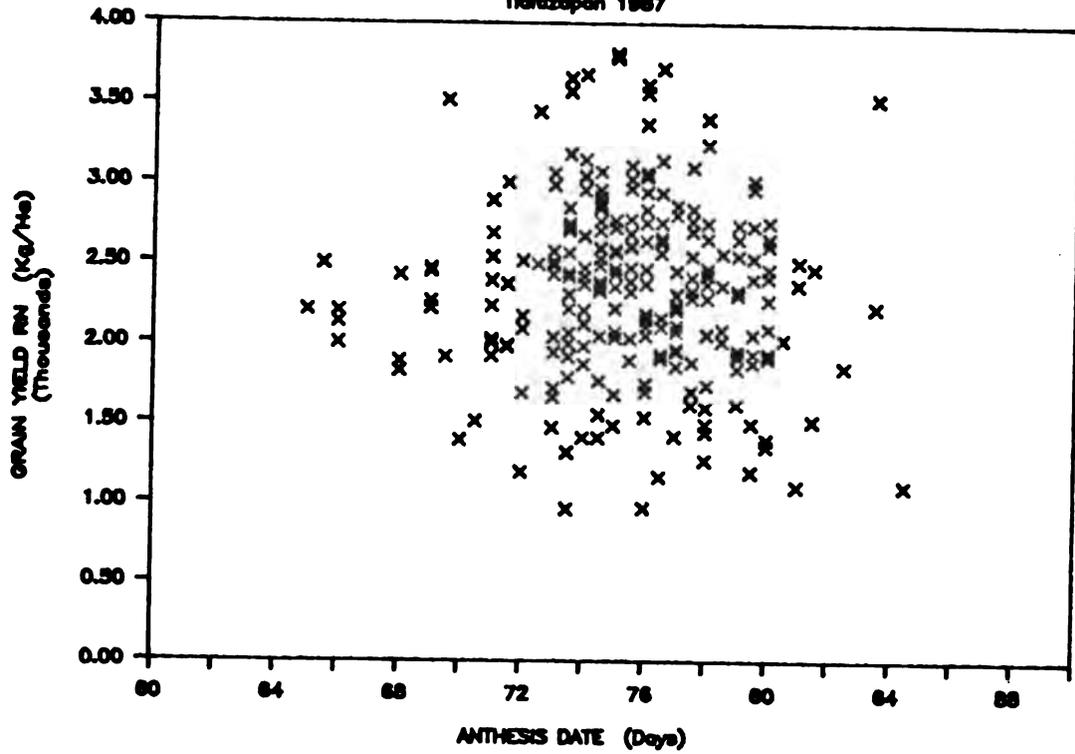


FIGURA 18. Pool 16

Tlalzapán 1987

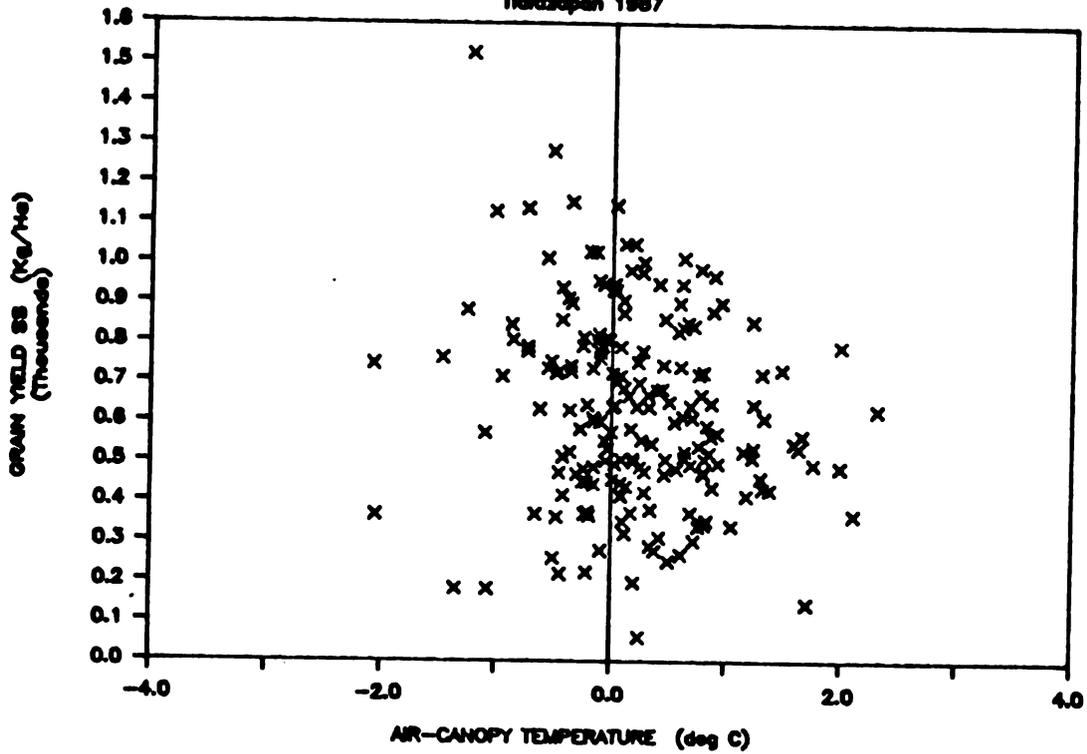


FIGURA 19. Pool 18

Tiftzopen 1987

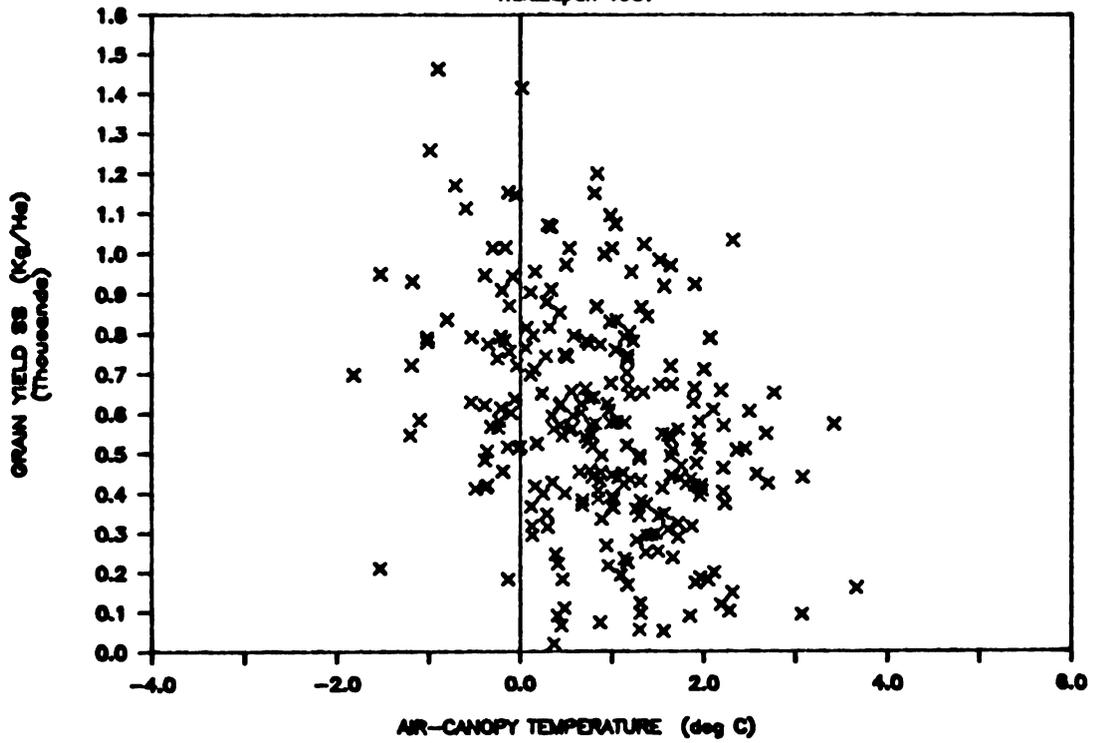


FIGURA 20. Pool 16

Tiftzopen 1987

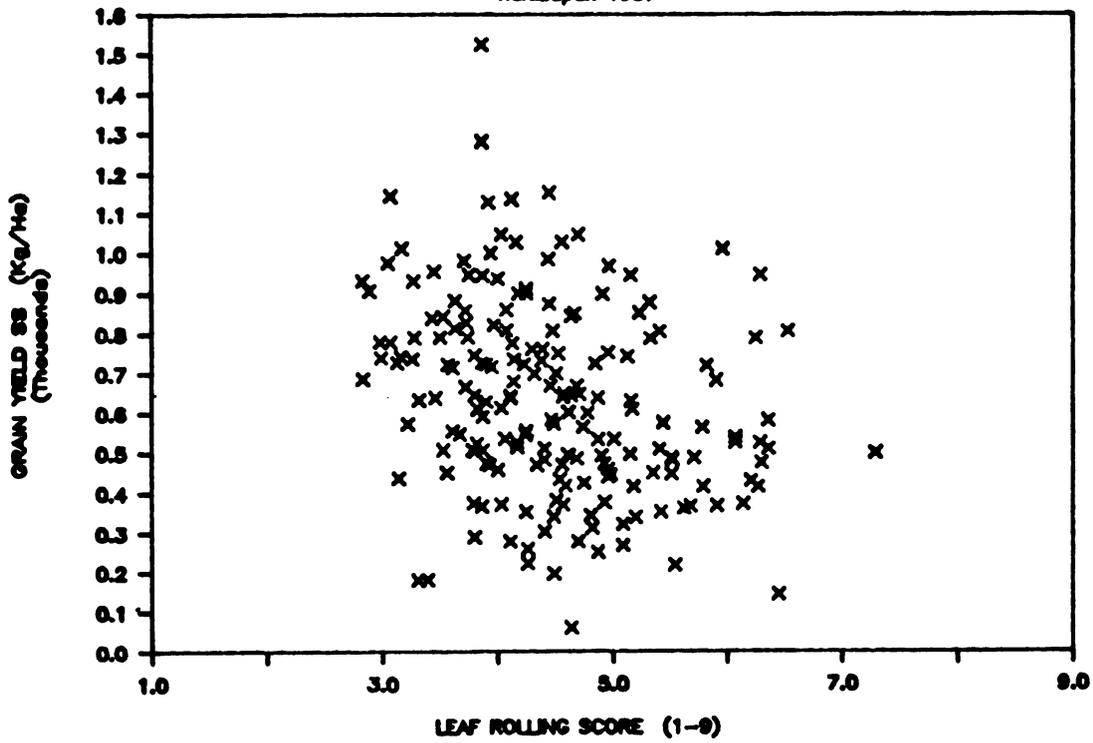


FIGURA 21. Pool 18

Tlatizapan 1987

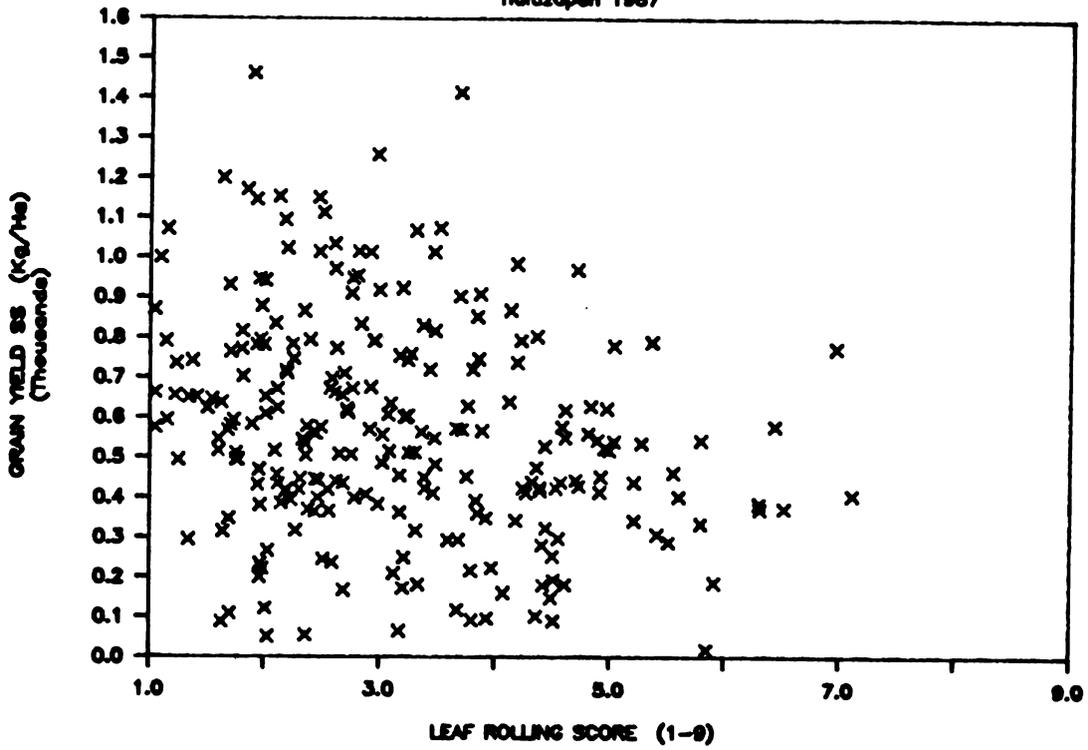


FIGURA 22. Pool 16

Tlatizapan 1987

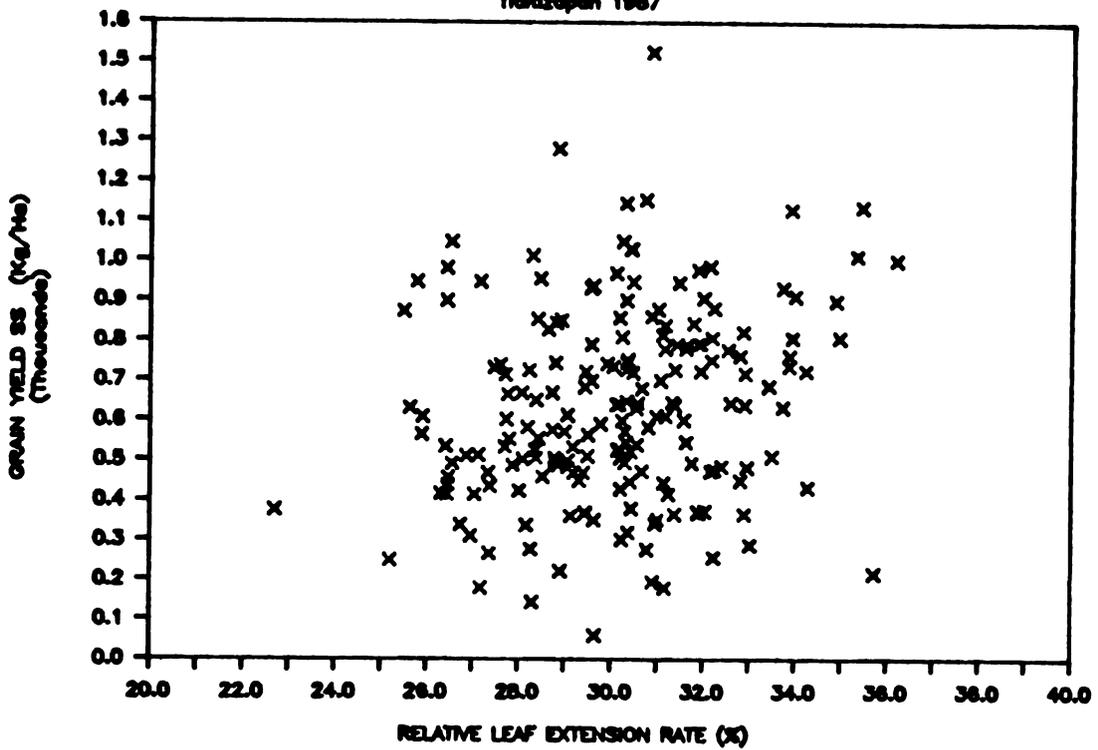


FIGURA 23. Pool 18

Tlaltizapan 1987

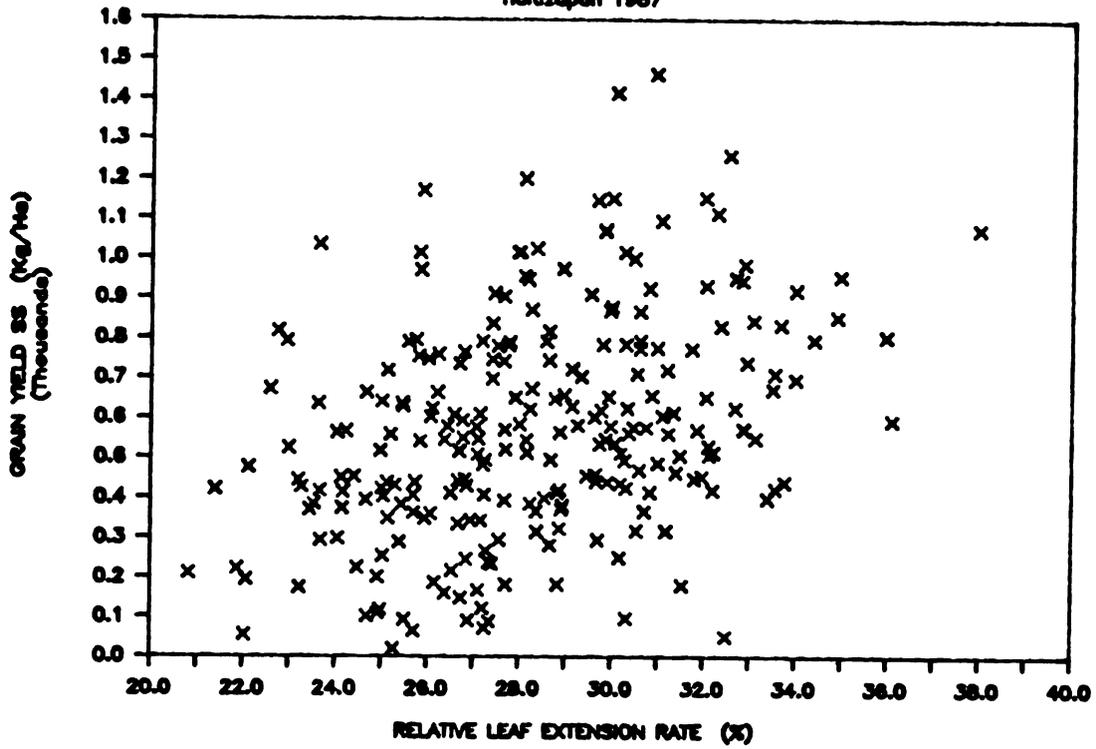


FIGURA 24. Pool 16

Tlaltizapan 1987

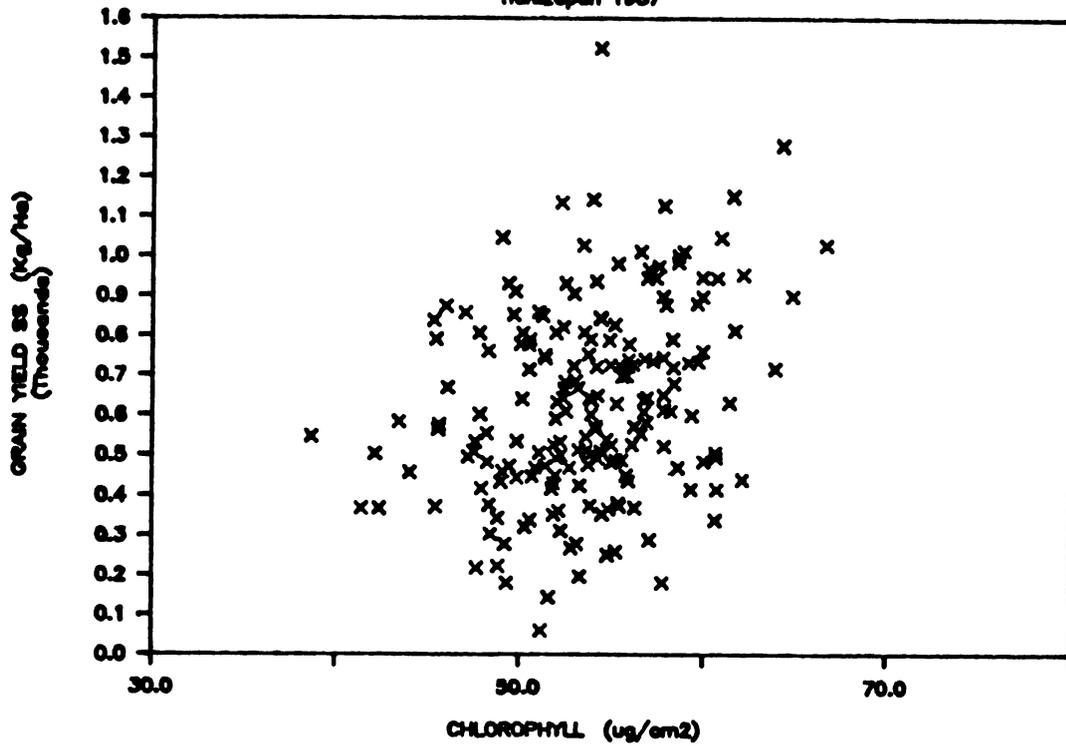


FIGURA 25. Pool 18

Tlaltizapan 1987

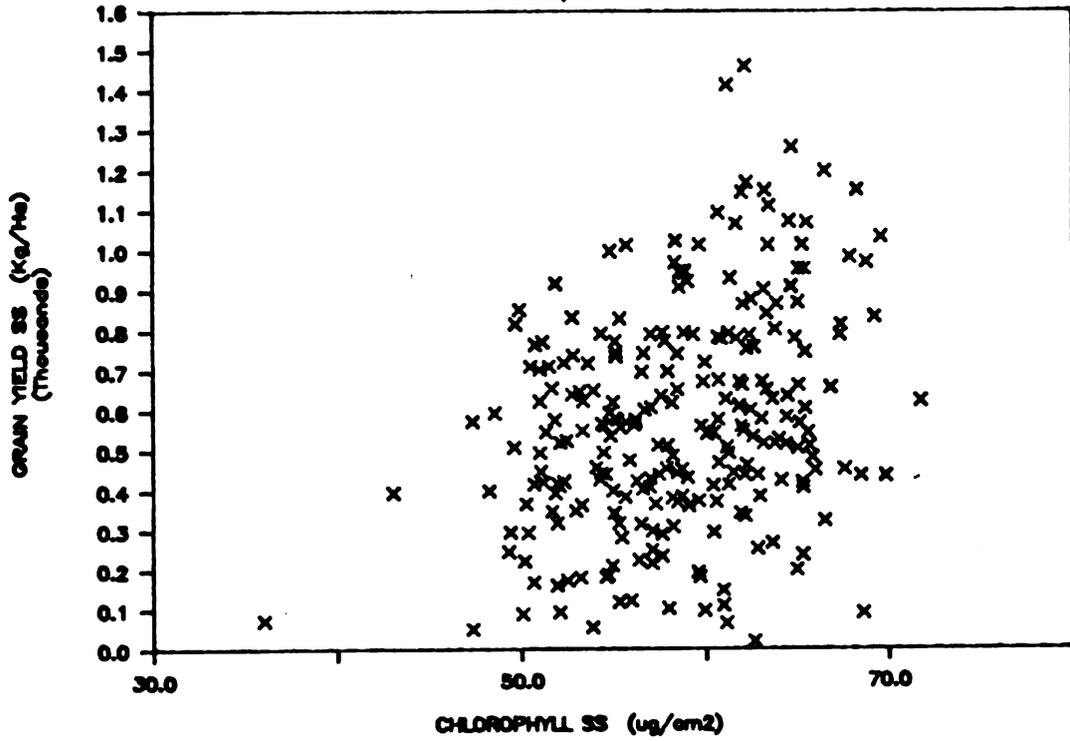


FIGURA 26. Pool 16

Tlaltizapan 1987

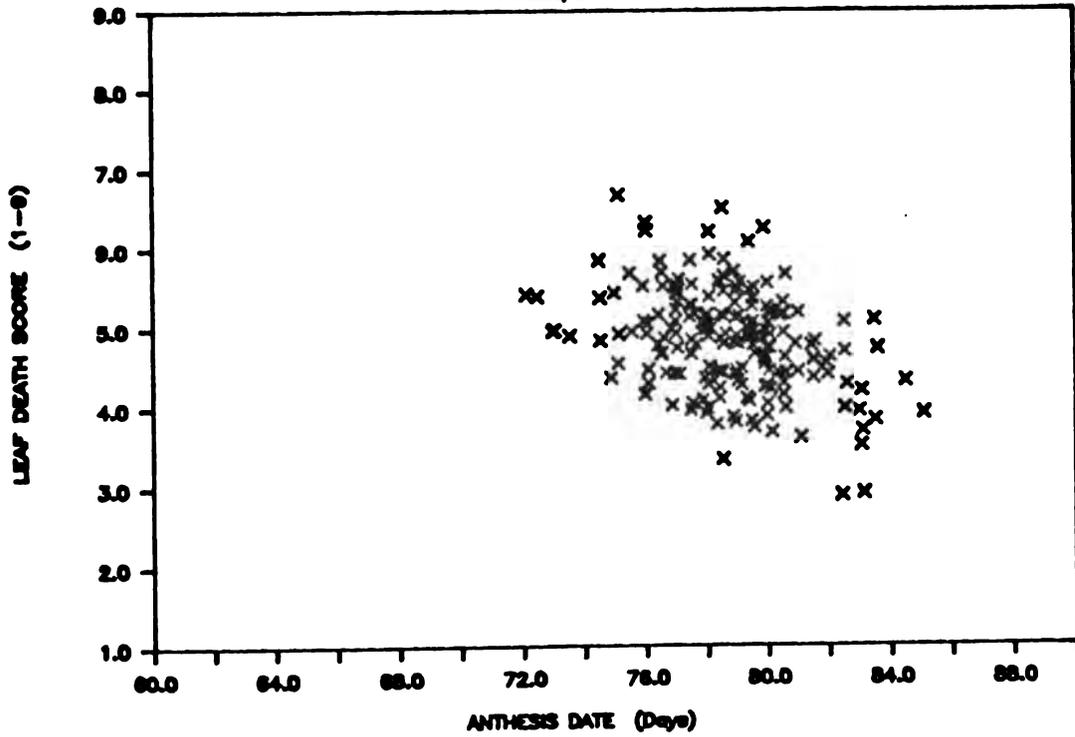


FIGURA 27. Pool 18

Tlatizapan 1987

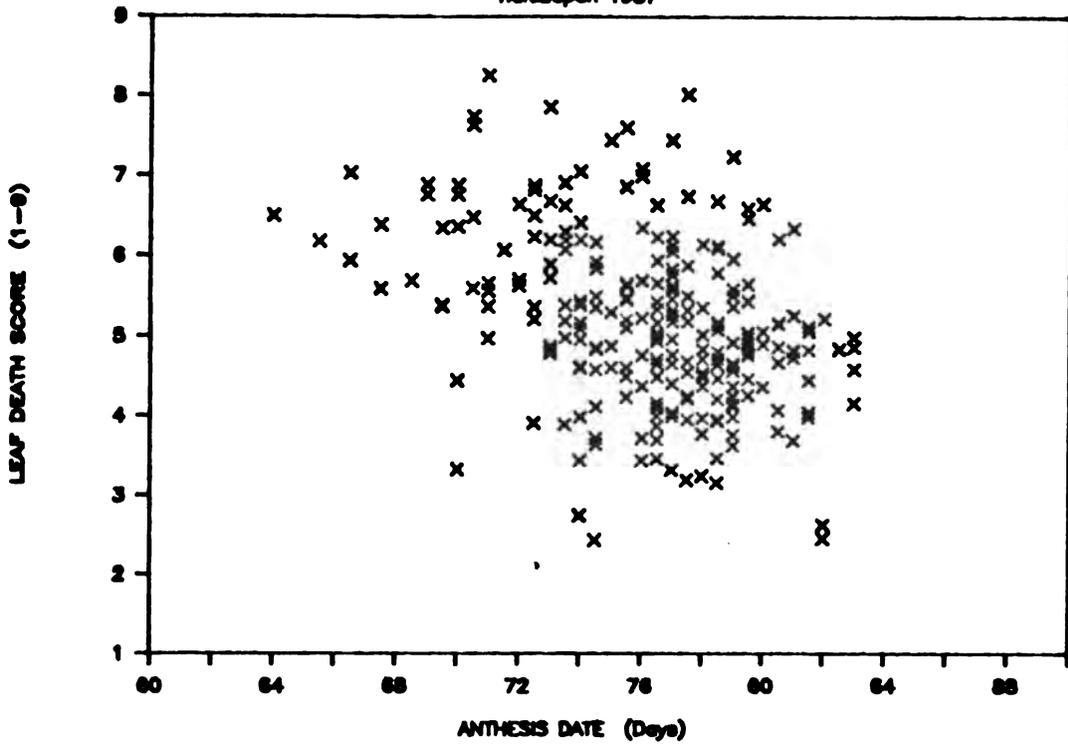


FIGURA 28. Pool 16

Tlatizapan 1987

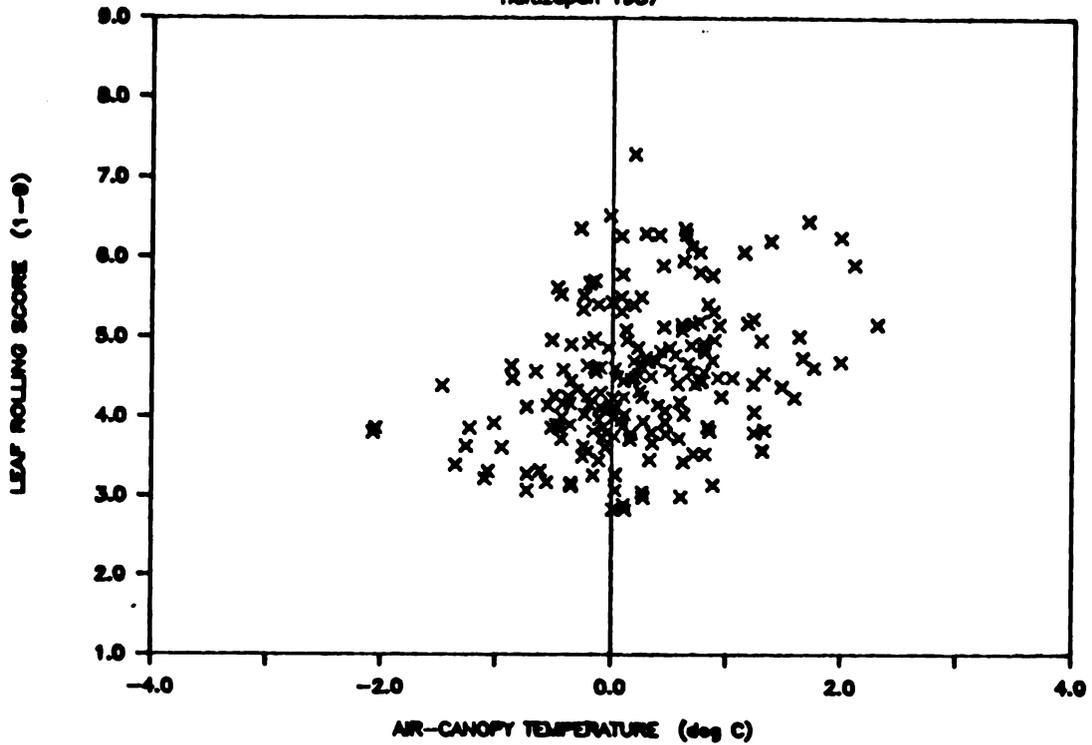


FIGURA 29. Pool 18

Tlaltizapan 1987

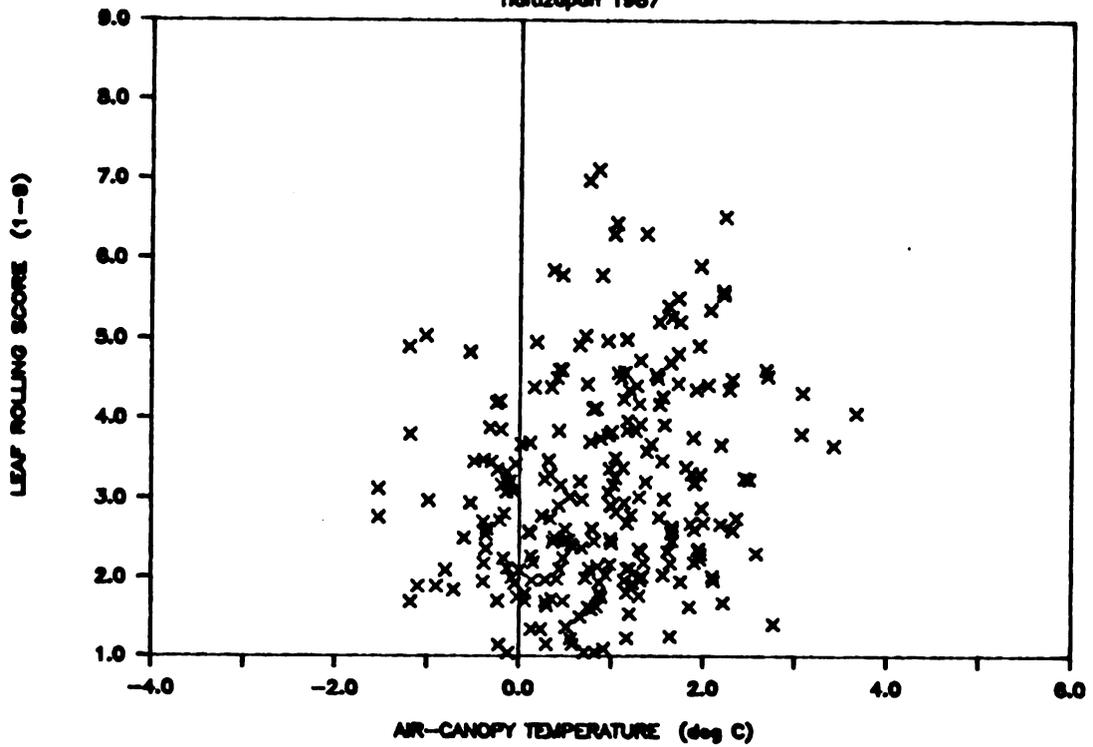


FIGURA 30. Pool 16

Tlaltizapan 1987

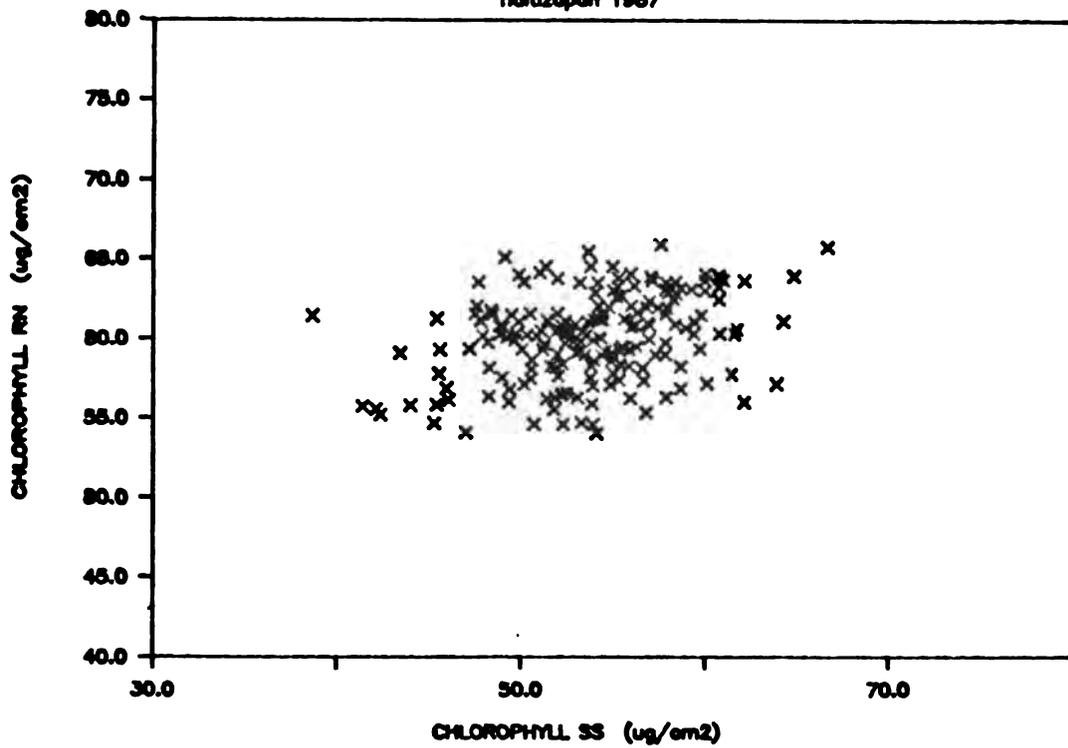
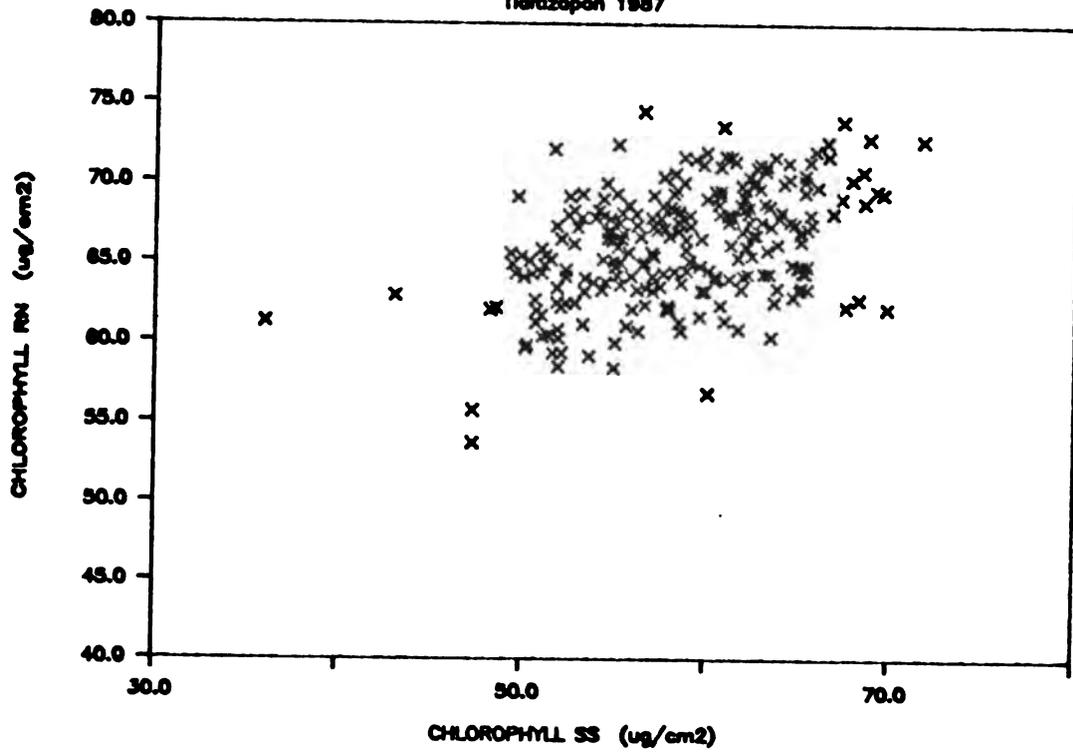
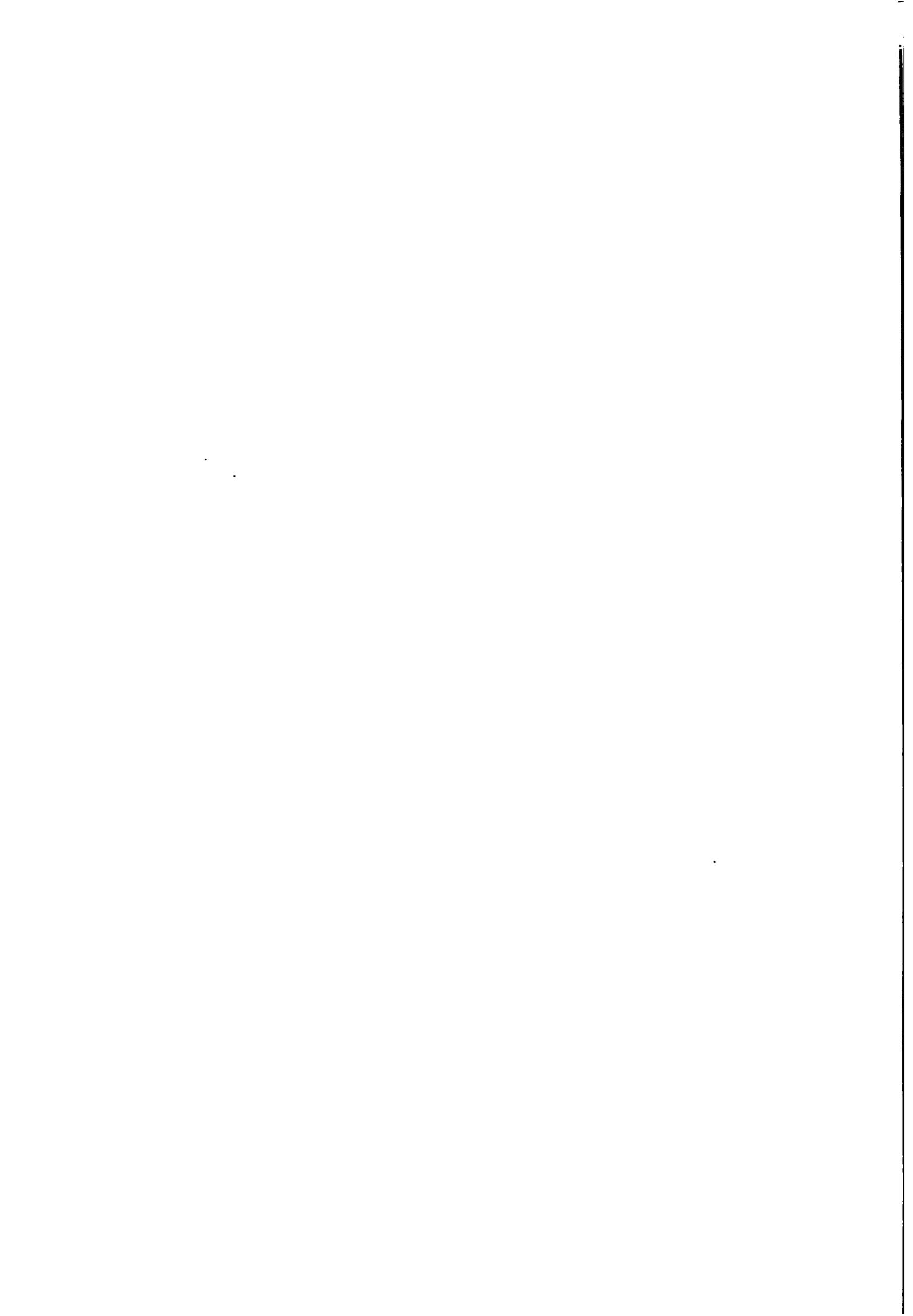


FIGURA 31. Pool 18

Tlalizapan 1987





# EFECTOS DEL EXCESO DE HUMEDAD Y ALTAS TEMPERATURAS DURANTE LA FLORACION EN MAIZ

*Jorge Bolaños \**

*Renee Lafitte \**

## I. EXCESO DE HUMEDAD - INUNDACION Y SATURACION HIDRICA DEL SUELO

Generalmente cuando se habla de los efectos del stress hídrico en maíz se refiere a situaciones de falta de agua o sequía. Sin embargo, el exceso de agua también puede limitar la productividad del maíz, especialmente si períodos de lluvias excesivas coinciden con la floración. Exceso de agua o inundaciones del suelo son problemas comunes en los trópicos húmedos y semi-secos, los cuales ocupan hasta el 70% de la región tropical (Brewbaker, 1985). Excesos de agua también pueden limitar la productividad en regiones templadas, se estima que más del 50% del área arable de los Estados Unidos requieren de drenaje para la producción agrícola eficiente (Fansey and MacDonald, 1985).

En estas regiones los problemas de exceso de agua son agravados además por bajas temperaturas en el suelo. En las regiones tropicales, los problemas

---

\* *Agrónomos/Fisiólogos del Programa de Maíz, CIMMYT, México.*

de exceso de agua pueden ocurrir durante cualquier época del cultivo (germinación, establecimiento, etapa vegetativa, floración, llenado de grano), pero en esta discusión únicamente nos limitaremos a discutir los efectos durante la floración.

## La floración

El período que se extiende desde dos semanas antes hasta dos semanas después de la floración ha sido identificado como un período crítico en el desarrollo del maíz (Early *et al.*, 1967; Prime, 1971; Kiriny and Ritchie, 1985). Niveles de sequía o baja radiación solar que tienen un impacto relativamente menor en la productividad del maíz cuando ocurren durante los estados de desarrollo vegetativo o llenado de grano tienen un impacto muy severo si ocurren durante este período crítico de la floración (Fischer and Palmer, 1984). Los eventos de crecimiento que ocurren durante esta etapa son: desarrollo y crecimiento de los estigmas, antesis, fertilización y el período lento de división celular endospermal. Generalmente stress de cualquier índole (sequía, nutrientes, radiación, densidad) producen un retardamiento en la emergencia de los estigmas, aumentando el intervalo de tiempo entre la floración masculina y femenina. Si este intervalo se prolonga demasiado, la probabilidad de encontrar polen viable para la fertilización de los estigmas decrece rápidamente, con consecuencias de un menor número de granos por mazorca e inclusive hasta mazorcas completamente vanas (Tollenaar, 1977). Aunque el retardamiento de la emergencia de los estigmas puede resultar en una escasez de polen, esta no parece ser la causa principal de la reducción de granos. Por lo menos en el caso de la sequía, el aborto de los sacos embrionarios tiene como consecuencia un número reducido de granos fertilizados a pesar de polinizaciones manuales de estigmas tardíos (Moss and Downey, 1971). Si el stress es severo, puede resultar en el aborto de mazorcas enteras (Fischer and Palmer, 1984).

Los factores casuales que llevan a un crecimiento retardado de los granos y la mazorca a causa de stress durante la floración aún no han sido identificados. Sin embargo, parece existir un consenso en la literatura que una reducción en la fotosíntesis por planta debido al stress ambiental durante la floración restringe el desarrollo de los granos y de la mazorca (Edmeades and Daynard, 1979). Esta

reducción en la fotosíntesis por planta parece ser la causa principal de mala fertilización y desarrollo de los granos. La reducción en la fotosíntesis por planta parece ser el elemento mediador entre todos estos stress ambientales, como la sequía, alta densidad, baja fertilidad, inundación o efectos de temperatura. Sin embargo, en el caso de la sequía, además de la reducción de la fotosíntesis por planta causada por el stress hídrico, el crecimiento y desarrollo de los estigmas, es también afectado por el stress (Hall et al. 1982, Fischer and Palmer 1984).

El stress de exceso de agua sobre el cultivo de maíz puede ser analizado como un conjunto de varios stress: menores niveles de radiación debido a mayor nubosidad y lluvias, saturación hídrica del suelo y condiciones de anoxia radicular, y efectos directos de alta humedad relativa atmosférica. Cada uno de estos factores serán analizados por separado, debido a que un período de lluvias excesivas puede incluirlos todos.

### **Radiación solar**

La cantidad de radiación fotosintéticamente activa disponible para un cultivo claramente depende de las horas de luz intensas durante el día. Esta relación puede ser formulada de la siguiente manera:

$$\frac{R_g}{R_a} = a + \frac{n}{N}$$

donde,  $R_g$  es la radiación total medida en la superficie del cultivo,  $R_a$  es la radiación atmosféricamente posible (depende de la latitud y época del año), "a" y "b" son coeficientes experimentalmente derivados, "n" es el número de horas luz del día, y "N" es el número de horas luz atmosféricamente posibles. La relación entre  $R_g/R_a$  y  $n/N$ , es generalmente lineal para una localidad dada y los coeficientes a y b deben ser determinados para esa localidad. Las horas luz también están relacionadas con la lluviosidad.

En los trópicos, la productividad del maíz depende fuertemente de la can-

tividad de radiación interceptada por el cultivo. En un estudio de 41 diferentes siembras mensuales en Hawaii, la producción de grano estuvo relacionada con la cantidad de radiación solar incidente por los 4 meses de duración del cultivo con un coeficiente de correlación de 0.785 (Jong et al. 1982). En este estudio, todos los componentes de producción fueron afectados por el nivel de radiación. En estos casos, a mayor radiación interceptada, mayor producción de materia seca y grano.

Cuando la radiación es restringida específicamente durante la floración (natural o artificialmente), el efecto primario es una reducción en el número de granos por mazorca. En un estudio con la población de maíz Tuxpeno, reducciones artificiales de radiación por sombreo causaron una reducción de 85% del número de plantas con mazorca, y en un 70% del número de granos por mazorca en relación a los testigos (Fischer and Palmer 1983). El tamaño y la duración de esta fase sensitiva a la sombra varía con el genotipo (Kiriny and Ritchie 1985).

Mientras que muchos investigadores concluyen que el efecto principal de una radiación baja es una reducción en la fotosíntesis por planta, es posible que la nutrición mineral también pueda ser un factor importante. Una relación estricta parece existir entre el flujo de carbón y nitrógeno hacia el grano en desarrollo durante el período de llenado de grano (Swank *et al.*, 1982). Inclusive después de sólo un día de sombreo, la absorción de N por plantas de maíz se redujo en 47% (Massimino *et al.*, 1981). La variación en la disponibilidad de nutrientes hacia el grano en desarrollo puede también ser un factor importante en ambientes de baja radiación solar.

### **Temperaturas bajas**

En los trópicos, condiciones nubladas no necesariamente están asociadas con bajas temperaturas. Sin embargo, temperaturas bajas pueden acompañar períodos lluviosos. Por lo tanto, es necesario mencionar los posibles efectos de bajas temperaturas durante la floración. Los maíces tropicales tienden a tener una temperatura óptima para el desarrollo mayor que los maíces templados (Duncan and Hesketh, 1968). La relación entre la fotosíntesis y la temperatura es normal-

mente curvilínea, con una temperatura óptima para la fotosíntesis cerca de los 30 grados C (Jones, 1985). Una reducción de 12 grados C de temperatura teóricamente reduciría la fotosíntesis por planta cerca de 50%, si este stress ocurriera durante la floración pudiera tener repercusiones directas y más profundas en la productividad.

En un estudio realizado en la India sobre condiciones climáticas y productividad de maíz por 12 años, temperaturas por arriba del promedio durante la floración incrementaron el rendimiento del maíz (Huda et al., 1976). Estos resultados sugieren que las temperaturas bajas eran un limitante en la producción.

### **Saturación hídrica del suelo**

Condiciones lluviosas pueden conducir a una saturación hídrica parcial o completa del suelo. El maíz es particularmente sensitivo a suelos inundados, el crecimiento radicular es drásticamente restringido cuando la fracción porosa del suelo llena de agua, aumentó del 60 al 80% (Grable and Seimer, 1968).

Más de una semana de tiempo puede necesitar transcurrir después de una saturación hídrica del suelo para restaurar las tasas mínimas apropiadas de difusión de gases de 35 ug/cm<sup>2</sup>.min (Erickson, 1982). Reducciones de corto plazo en la tasa de difusión de oxígeno después de una lluvia, puede influir negativamente en la productividad del maíz, especialmente en suelos arcillosos, donde estas tasas se mantienen bajas por períodos más largos. El daño causado por baja difusividad del oxígeno es más severo en climas cálidos donde la respiración radicular es más rápida (Miller, 1986).

En estudios hechos en laboratorios, la sensibilidad del maíz a inundación ha sido encontrada similar en todos los estados de desarrollo investigados incluyendo la floración (Dutham et al., 1982; Bhan, 1977). En un estudio realizado en el campo durante condiciones de lluvias monónicas, exceso de lluvia durante la floración y el llenado de grano redujeron el rendimiento (Huda et al., 1976). Sin embargo, no se pudo separar los efectos de exceso de lluvia y menor radiación solar sobre la productividad.

La inundación del suelo, generalmente, está asociada con tasas menores de absorción de nutrientes del suelo y con un menor contenido de N, P y K en el grano (Chandhary *et al.*, 1975). Los daños causados por inundación, algunas veces pueden ser aliviados por aplicaciones de fertilizante (Jones, 1986). La fotosíntesis es afectada negativamente por inundación, y alteraciones en el nivel de fitohormonas también ocurren (Jackson and Drew, 1984). En otros cereales, inundación durante la floración muchas veces conlleva a esterilidad del polen, comenzando en el ápice de la espiga (Glinski and Stepniewski, 1986); pero estos efectos aún no han sido investigados en el maíz.

Todos estos efectos pueden ser bastante deprimentes en la producción si ocurren durante la floración.

### **Estrategias de mejoramiento genético**

A pesar de que la variabilidad genética para la tolerancia al exceso de humedad durante la floración aún no ha sido reportada para maíz, numerosos reportes si existen sobre la variabilidad existente para los principales componentes de tal stress, como son, bajo nivel de radiación solar, temperaturas frías e inundación.

Muchos investigadores han enfatizado la necesidad de seleccionar para tolerancia a alta densidad (Blum, 1985). La alta densidad poblacional reduce la cantidad de radiación disponible por planta y, por lo tanto, sirve de simulación a otros stress, como poca intensidad solar debido a nubosidad, sequía, defoliación, etc. En maíz existe una variabilidad genética bastante grande para estas características, y muchos programas de mejoramiento ya incluyen ensayos de alta densidad en sus estrategias.

Variabilidad genética también ha sido reportada para tolerancia a temperaturas frías (Jones, 1985). La inclusión de esta característica en una estrategia de selección está justificada solamente si el daño por bajas temperaturas existe. Esta situación es poco probable en el trópico bajo, pero los rendimientos del maíz de altura son típicamente limitados por bajas temperaturas. La mayor parte de

la investigación efectuada hasta ahora se ha concentrado en el crecimiento temprano de maíz templado bajo condiciones frías, pero muchas de las técnicas usadas aquí son fácilmente transferibles a programas de mejoramiento de maíz de altura.

Dos respuestas a inundación han sido identificadas como posibles fuentes de tolerancia a ese stress: incrementos en la actividad enzimática de dehidrogenasa de alcohol (ADH) y la formación de aerenchyma (espacios aéreos en el tejido) en los tejidos radiculares (Jones, 1985). Genotipos que poseen altos niveles de ADH cuando sujetos a condiciones de anoxia radicular, asimismo como aquellos que producen tejidos aerenchymáticos, son más tolerantes a inundación. Selección directa para cualquiera de estas características es difícil y solamente sería factible si inundaciones crónicas afectan al cultivo y prácticas agronómicas (drenaje, labranza, etc.) no pueden ser implementadas para resolver los problemas.

### **Estrategias de manejo agronómico**

Las opciones agronómicas para reducir los efectos nocivos del exceso de agua están enfocadas en el alivio o en la compensación del daño causado por la saturación hídrica del suelo. Drenaje por nivelación o la instalación de tubos de drenaje han mejorado significativamente la productividad en suelos pesados con problemas de saturaciones hídricas (Cannell and Jackson, 1981). Diferentes tipos de labranza pueden alterar el tiempo que el suelo pasa bajo condiciones saturadas. El efecto de prácticas de "zero-labranza" o de "labranza-mínima" en la aeración del suelo todavía no es del todo clara; mientras ciertos reportes indican niveles más altos de oxígeno, otros reportan el efecto contrario. Estos resultados conflictivos pueden ser causados por diferentes tipos de suelo, en cuyo caso, recomendaciones de sistemas de labranza deberán ser específicas para cada suelo.

Uno de los efectos más importantes de inundación es la pérdida de N por denitrificación. La aplicación de fertilizantes nitrogenados después de inundación ha aliviado los efectos negativos del stress.

## II. EFECTOS DE ALTA TEMPERATURA

### Stress de alta temperatura

Stress de alta temperatura ocurren periódicamente en los trópicos, normalmente en asociación con stress hídricos. Estos stress ocurren típicamente en ambientes de alta radiación solar y poca disponibilidad de agua (i.e., desiertos, zonas áridas y semi áridas) donde la energía incidente no puede ser disipada por la evapotranspiración. Sin embargo, en relación con otros stress ambientales (sequía, nutrientes, frío, etc.) existe relativamente poca información sobre la tolerancia al exceso de calor en las plantas (Blum, 1982; Levitt, 1980). Levitt (1980) ha clasificado la resistencia de las plantas a altas temperaturas en: 1) aquellas que evaden el calor; y, 2) aquellas que lo toleran.

En las plantas la evasión del calor está asociada con la evasión del stress hídrico. La carga de calor se incrementa y la temperatura foliar sube por arriba de la ambiental cuando la transpiración es limitada por stress hídrico (Levitt, 1980). Los mecanismos de evasión de calor aquí consisten en reducir la radiación incidente sobre el cultivo (color de hojas, ángulo de exposición, tamaño de hojas, movimientos foliares para evadir radiación, etc.), o incrementar el "coupling" entre las hojas y el aire con mejor transferencia convectiva de calor (tamaño de las hojas, orientación hacia el viento, etc.).

La alta temperatura también confunde el efecto del stress hídrico, ya que incrementa exponencialmente la demanda evaporativa del ambiente. Las respuestas fisiológicas, morfológicas y agronómicas del cultivo al stress de alta temperatura son bastante similares al stress hídrico, como enrollamiento de las t hojas, déficit hídricos, muerte y desecación foliar, pérdida y senectud foliar, cerramiento de estomas, etc. (Levitt, 1980; Blum, 1985). Debido a la similitud de estos dos stress, programas de mejoramiento genético para tolerancia a sequía normalmente incluyen mejoramiento a alta temperatura, debido a lo parecido de los factores ambientales.

Cuando los procesos de evasión fallan y las temperaturas foliares suben por arriba de niveles sub-letales (i.e., arriba de 45 grados C), la tolerancia al

calor juega un papel importante (Levitt, 1980). Aún no existe un consenso claro sobre los mecanismos y la manera en la cual el exceso de calor afecten a la planta. Una examinación de la literatura revela que los datos todavía son fragmentados y controversiales (Berry and Raison, 1981). Muchos de los efectos de alta temperatura se han estudiado principalmente a nivel celular y subcelular, con consecuencias aparentes a niveles superiores de organización. Denaturación de proteínas, actividad enzimática, imbalances metabólicos, destrucción de membranas, reducción en actividad fotoquímica, respiración, translocación, etc., han sido documentados ampliamente como consecuencias del exceso de calor (Levitt, 1980). Steponkus (1981) ha propuesto que la disrupción de la integridad estructural de la membrana por el exceso de calor puede ser el mecanismo mediativo de estos procesos.

Parte de la confusión sobre los efectos de altas temperaturas vienen de que el efecto claramente depende de la intensidad y la duración del stress.

Los efectos de alta temperatura pueden afectar al cultivo en cualquier estado de desarrollo. En el período de germinación y establecimiento del cultivo, alta incidencia solar en conjunto con escasez de agua, pueden resultar en temperaturas ambientales en exceso de 45 grados C. En días soleados, la temperatura de la superficie del suelo, cuando seco, puede sobrepasar los 60 grados C, temperaturas claramente letales para el cultivo. Estas cargas energéticas tienen que ser disipadas por procesos evapotranspirativos, los cuales exceden la capacidad de las plantas de absorber agua del suelo, con consecuencias de déficit hídricos. Aún en condiciones irrigadas, las plantas pueden sufrir de déficit hídricos por altas temperaturas. Por lo tanto, los efectos de alta temperatura, pueden afectar gravemente al cultivo en su etapa de establecimiento.

Los efectos de alta temperatura pueden ser fatales desde el punto de vista agronómico si ocurren durante el período crítico de la floración en maíz. La polinización y fertilización son fuertemente afectadas por altas temperaturas. Altas temperaturas causan esterilidad del polen, anteras que no abren, polen que rápidamente muere y el bien conocido caso de "fuego de espigas" (tassel-blasting).

Las estigmas también se desecan rápidamente, haciendo que la fertilización y el número de granos por mazorca sea negativamente afectado (Lonquist and

Jugenheimer, 1943; Tatum and Kehr, 1951; Pearson and Hall, 1984). Sin embargo, todavía no está claro si la pérdida de viabilidad del polen es causada por altas temperaturas o por baja humedad relativa (alta demanda evaporativa), a pesar de experimentos diseñados para resolver tal problema (Herrero and Johnson, 1980). Déficit hídricos, en ausencia de altas temperaturas o baja humedad relativa, no parecen afectar la viabilidad del polen (Herrero and Johnson, 1981; Hall *et al.*, 1982). Sin embargo, el efecto de déficit hídricos si está bien establecido en el aborto de sacos embrionarios en los estigmas (Moss and Downey, 1971). Ya sea por esterilidad del polen, abortos después de la fertilización, incapacidad del polen de germinar en los estigmas, disecación de los estigmas, etc., el hecho es que altas temperaturas durante la floración en maíz repercuten directamente en el número de granos por mazorca, en muchos casos produciendo plantas completamente vanas.

Así mismo, el maíz tiene una temperatura óptima para fotosíntesis cerca de los 30 - 40 grados C (Fischer and Palmer, 1984). Temperaturas ambientales en exceso de este óptimo reducen la fotosíntesis por planta, teniendo un impacto directo en la productividad. Si las temperaturas suben en exceso de 45 grados Centígrados, los efectos sobre el aparato fotosintético pueden ser irreversibles (Berry and Raison, 1981).

### **Mejoramiento genético para tolerancia a alta temperatura**

Debido a la asociación estricta entre el stress hídrico y el stress de altas temperaturas, los programas de mejoramiento para un tipo de stress normalmente asumen que la resistencia para el otro stress será también adquirida. Muchos investigadores usan rutinariamente exceso de calor para seleccionar para sequía. Asimismo, otros investigadores seleccionan familias o líneas que logran mantener la transpiración ante stress de disecación para tolerancia a exceso de calor ya que se mantendrán más frías por el enfriamiento transpirativo (Blum, 1985). En Nebraska, correlaciones positivas han sido obtenidas entre el stress de disecación y de exceso de calor (Sullivan and Blum, 1970; Sullivan, 1972).

Selección directa para lesiones de tipo celular y subcelular es claramente

imposible. Por lo tanto, manifestaciones a niveles más superiores de organización son usados como criterios de selección. La selección de genotipos superiores en resistencia a exceso de calor requiere la aplicación de una cantidad definida y predeterminada de calor en cierto estado de desarrollo del cultivo. Sullivan y coinvestigadores (Sullivan and Ross, 1983) han usado extensivamente la evaluación de tolerancia a calor y sequía por un test de pérdida de electrolitos de discos de tejido foliar después de expuesto a un tratamiento de stress severo. Discos de hoja de diferentes genotipos son expuestos en agua a 50-55 grados C por 15 minutos y la pérdida de electrolitos es evaluada a continuación (Sullivan and Ross, 1983). Este ensayo es rápido y simple, permitiendo evaluar una gran cantidad de genotipos. Una dosis de altas temperaturas presumiblemente afecta la integridad de la membrana celular, y la pérdida de electrolitos cuando puesta en agua pura permite evaluar cuales genotipos sufren una menor lesión. Este método de selección correlacionado bastante bien ( $r = 0.69$ ) con un ensayo de rendimiento para sorgo en el campo en Nebraska en 15 localidades durante un verano particularmente caliente (Sullivan and Ross, 1979). Este método pudiera ser usado también en un esquema de selección para sequía.

Un ensayo similar ha sido usado para evaluación de la resistencia de plántulas al exceso de calor, donde las plántulas son expuestas a temperaturas altas y luego evaluadas para tolerancia.

### **Alternativas agronómicas para alta temperatura**

Es casi virtualmente imposible la modificación del ambiente para la reducción de altas temperaturas a escala agronómica. Lo más realista es manipulación de fechas de siembra, o la precocidad del material para evitar tener el cultivo durante los períodos de altas temperaturas. El maíz no es particularmente resistente a sequía o altas temperaturas, así que otra posibilidad sería la de usar otro cultivo, como sorgo.

## BIBLIOGRAFIA

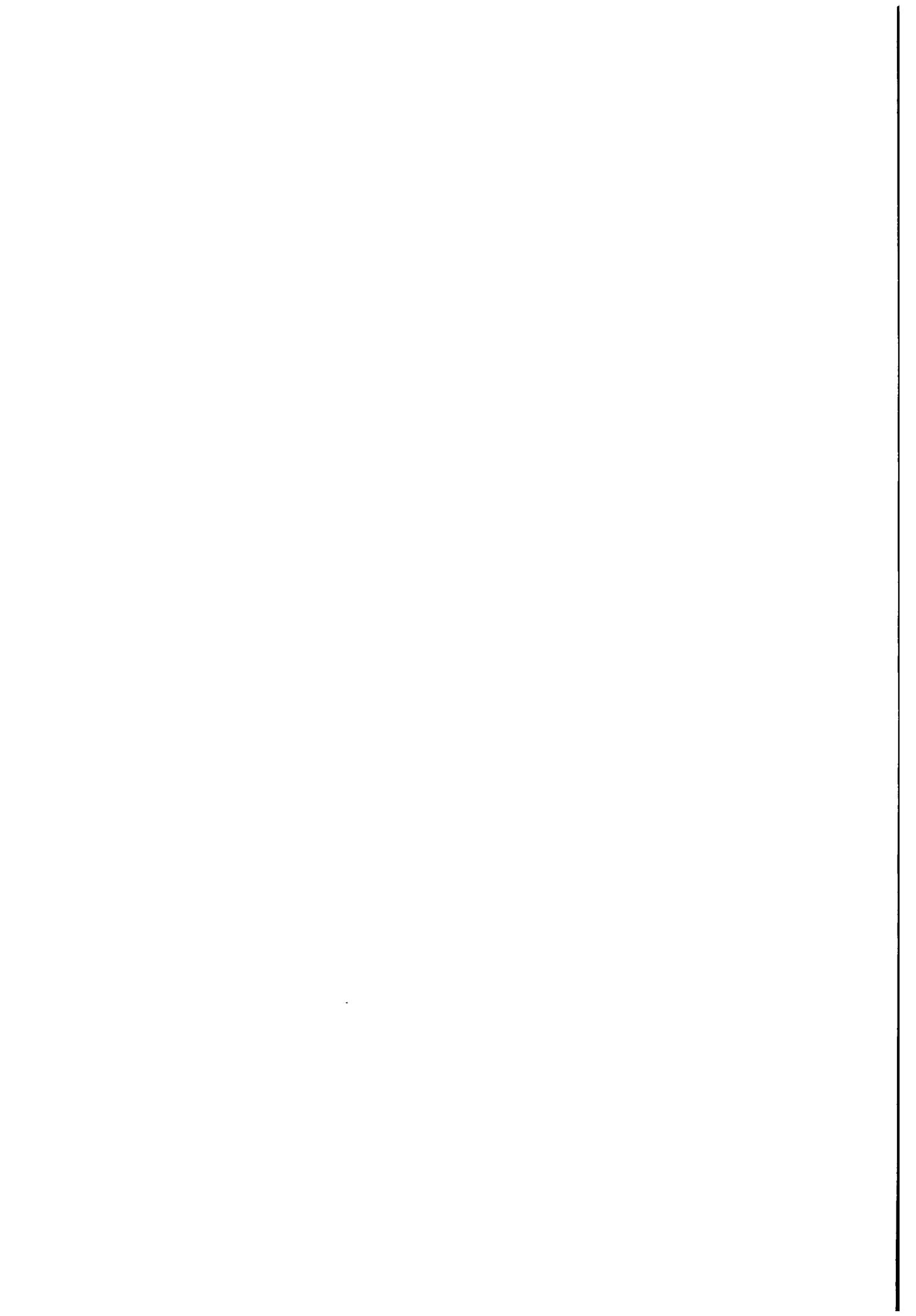
1. BERRY, J. and RAISON, J. 1981. Responses of macrophytes to temperature. In: O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond and H. Zieger (eds.) *Physiological Plant Ecology I, Responses to the Physical Environment*. Springer Verlag, New York, pp. 277-338.
2. BHAN, S. 1977. Effect of water logging on maize. *Indian J. Agric. Res.* 11: 147-150.
3. BLUM, A. 1985. Breeding crop varieties for stress environments. In: *CRC Critical Reviews in Plant Sciences*, vol. 2 (3), pp. 199-238.
4. BLUM, A. 1983. Breeding programs for improving crop resistance to water stress. In: C.D. Raper and P.J. Kramer (eds.) *Crop Reactions to Water and Temperature Stresses in Humid, Temperate Climates*. Westview Press Inc, pp. 263-275.
5. BREWBAKER, J. 1985. The tropical environment for maize cultivation. In: A. Brandolini and F. Salamimi (eds) *Breeding strategies for Maize Production Improvement in the Tropics*. FAO. pp. 47-77.
6. CANNELL, R. and JACKSON, M. 1981. Allevating aeration stresses. In: G.F. Arkin and H.M. Taylor (eds.) *Modifying the Root Environment to Reduce Crop Stress*. ASAE Monograph N<sup>o</sup> 4. ASAE. St. Joseph, MI. pp. 141-194.
7. CHAUDHARY, T. BHATNAGER, V. and PRIHAR, S. 1975. Corn yield and nutrient uptake as affected by water-table depth and soil submergence. *Agron. J.* 67: 745-749.
8. DUNCAN, W. and HESKETH, J. 1968. Net photosynthetic rates, relative leaf growth rates and leaf number of 22 races of maize grown at eight temperatures. *Crop Sci.* 8:

9. **DUTHION, C., DEVROE, C. and MORTIER, J. 1982. *Effects d'une courte periode d'exces d'eau sur la croissance et la production du maïs. Agronomie 2: 125-131.***
10. **EARLY, E. et al. 1967. *Effects on shade applied at different stages of plant development on corn (Zea mays L.) production. Crop Sci. 7:151-156.***
11. **ERICKSON, A. 1982. *Tillage effects on soil aeration. In: Predicting Tillage Effects on Soil Physical Properties and Processes. American Society of Agronomy, Madison, WI. pp. 91-104.***
12. **FAUSEY, N. and McDONALD, M. Jr. 1985. *Emergence of inbred and hybrid corn following flooding. Agron. J. 77: 51-56.***
13. **FISCHER, K. and PALMER, A. 1984. *Tropical maize. In: P.R. Goldsworthy and N.M. Fisher (eds.) The Physiology of Tropical Field Crops. John Wiley and Sons, New York, pp. 213-248.***
14. **FISCHER, K. and PALMER, A. 1983. *Maize. In W.H. Smith and S.J. Banta, eds., Potential Productivity of Field Crops Under Different Environments. IRRI Los Banos, Philippines.***
15. **GRABLE, A. and SEIMER, E. 1968. *Effects of bulk density, aggregate size and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 32:180-186.***
16. **HALL, A. et al. 1982. *The effects of water stress and genotype on the dynamics of pollen-shedding and silking in maize. Field Crops Res. 5: 349-363.***
17. **HERRERO, M. and JOHNSON, R. 1981. *Drought stress and its effect on maize reproductive systems. Crop Sci. 21: 105-110.***
18. **HUDA, A., GHILDYAL, B. and TOMAR, V. 1976. *Contribution of climatic***

variables in predicting maize yield under monsoon conditions. *Agricultural Meteorology* 17: 33-47.

19. JACKSON, M. and DREW, M. 1984. Effects of flooding on growth and metabolism of herbaceous plants. In: T.T. Kozlowski (ed.) *Flooding and Plant Growth*. Academic Press. N.Y., pp. 47-128.
20. JONES, C. 1985. *C4 Grasses and Cereals*. John Wiley and Sons. N.Y.
21. JONG, S., BREWBAKER, J. and CHONG HEE LEE. 1982. Effects of solar radiation on the performance of maize in 41 successive monthly plantings in Hawaii. *Crop Sci.* 22: 13-18.
22. KINIRY, J. and RITCHIE, J. 1985. Shade-sensitive interval of kernel number in maize. *Agron. J.* 77: 711-715.
23. LEVITT, J. 1981. *Responses of Plants to Environmental Stresses*, vol I. Academic Press, New York.
24. LONNQUIST, J. and JUGGENHEIMER, R. 1943. Factors affecting the success of pollinations in corn. *Agronomy Journal* 35: 923-933.
25. MASSIMINO, D. et al. 1981. The effect of a day at low irradiance of a maize crop. I. Root respiration and uptake of N, P and K. *Physiol. Plant* 51: 150-155.
26. MILLER, D. 1986. Root systems in relation to stress tolerance. *Hort Science* 21: 963-970.
27. MOSS, G. and DOWNEY, L. 1971. Influence of drought stress on female gametophyte development in corn (*Zea mays* L.) and subsequent grain yield. *Crop Sci.* 11: 368-372.
28. PRINE, G. 1971. A critical period for ear development in maize. *Crop Science* 11: 782-786.

29. **STEPONKUS, P. 1981. Responses to extreme temperature: cellular and sub-cellular basis. In: O.L. Lange *et al.* (eds.) *Physiological Plant Ecology I: Responses to the Physical Environment*. Springer Verlag, New York. pp. 371-401.**
30. **SULLIVAN, C. and ROSS, W. 1979. Slecting for drought and heat resistance in grain sorghum. In: H. Mussell and R.C. Staple (eds.) *Stress Physiology in Crop Plants*. John Wiley and Sons, New York. pp. 263-281.**
31. **SULLIVAN, C. and BLUM, A. 1970. Breeding for heat tolerance in sorghum. In: *Proc. 25th Annual Corn and Sorghum Research Conference, American Seed Trade Assoc., Washington, D.C.* pp. 55-66.**
32. **SWANK, J. *et al.* 1982. Interaction of carbon and nitrogen metabolism in the productivity of maize. *Plt. Physiol.* 70: 1185-1190.**
33. **TATUM, L. and KEHR, W. 1951. Observations of factors affecting seed-set with inbred strains of dent corn. *Agron. J.* 43: 270-275.**



## SELECCION PARA LA TOLERANCIA A BAJA DISPONIBILIDAD DE NITROGENO EN EL MAIZ

*Renee Lafitte y Gregory O. Edmeades \**

La productividad de las plantas en la mayor parte de la biósfera está limitada por el suministro de nitrógeno. Los ecosistemas agrícolas no son la excepción de esta regla; estimamos que la disponibilidad de N es el principal factor limitante de la producción en más del 20% de la superficie arable de la tierra. En casi toda esta superficie, la escasez de N podría teóricamente superarse agregando fertilizantes nitrogenados al sistema. En la práctica, por cuestiones de costo, abastecimiento o manejo, no siempre se aplica fertilizante de nitrogenado en cantidades suficientes para vencer la deficiencia de este elemento. Quisiera describir, en esta ocasión, un programa de selección para lograr la tolerancia del maíz a la escasez de N, que esperamos ayudará a aumentar la producción de maíz en aquellas áreas donde el suministro de N restringe la producción. También el mejoramiento de los genotipos del maíz puede hacer más eficiente la recuperación y el uso de los fertilizantes nitrogenados.

Cualquier programa de selección para mejorar la utilización de los elementos nutritivos debe tener en consideración la dinámica de dichos elementos en

---

\* *Agrónomos/fisiólogos, Programas de Maíz. CIMMYT, México.*

el sistema suelo-planta. El nitrógeno se encuentra en el suelo en forma orgánica o mineral. El suministro de N orgánico es grande -- 2,000 a 10,000 kg/ha en la capa de arado -- pero se vuelve accesible muy lentamente, a una tasa de 1 a 3% anual.

Por lo general, el nitrógeno que aprovechan las plantas se encuentra en forma de nitragos, propensos a perderse en la zona de la raíz. La pérdida de N se produce por lixiviación o por volatilización y tiende a aumentar según aumenta la aplicación de N al cultivo.

El suministro de nitrógeno al sistema de cultivo proviene de la mineralización del N orgánico (20 a 300 kg de N/ha/año), la fijación de N asociativa (estimados de 0.002 a 1 kg de N/ha/día para gramíneas asociadas con *Azospirillum*), la fijación de N por bacterias de vida libre (0 a kg de N/ha/año), la fijación simbiótica de N (50 a 100 kg de N/ha/años en cultivos de leguminosas) y el N que se encuentra en la lluvia y el polvo (4 a 8 kg de N/ha/año) (Sánchez, 1977). Los rendimientos de cereales están directamente relacionados con la utilización de N; por consiguiente, es de esperar que el mejoramiento en la recuperación de N del suelo o la mayor eficiencia con que se utilice dicho N para producir grano aumentará los rendimientos. En muchos países en desarrollo, el rendimiento del maíz es del orden de 1 t/ha, y aproximadamente 30 kg de N/ha son extraídos del suelo por las plantas para producir el grano. Es probable que estos 30 kg/ha representen aproximadamente la cantidad que pueden proporcionar anualmente los suelos tropicales (Sánchez, 1977).

Existen varias maneras de mejorar el comportamiento del maíz que se cultiva en condiciones de bajo N. La absorción de N puede ser mayor si se aumenta el enraizamiento o se produce mayor afinidad por el nitrato en las enzimas transportadoras. Esta estrategia tendría, además, la ventaja de mejorar también la recuperación del fertilizante nitrogenado en condiciones de alto N. La variación genética se ha destacado en el maíz por la tasa de absorción de N (Chevalier y Schrader, 1977).

Otra manera de mejorar el comportamiento del maíz con bajos niveles de N es aumentar la cantidad de materia seca producida por unidad de N en

la planta. Esta característica, conocida como "eficiencia de la utilización de nitrógeno", puede estar relacionada con los patrones de particionamiento del N, o con la eficiencia con que la planta utilice la radiación en la fotosíntesis. Se ha informado que hay variación genética en la eficiencia de utilización de nitrógeno en varios cultivos (Maranville *et al.*, 1980; O'Sullivan *et al.*, 1984).

Por último, es posible aumentar la fracción de N de la planta que pasa al grano, con el consiguiente aumento en el rendimiento de este. En el maíz, un incremento en el peso del grano se relaciona estrechamente con un aumento en el contenido de nitrógeno del mismo (Swank *et al.*, 1982; Tsai *et al.*, 1980). Si pudiera movilizarse un mayor porcentaje del complemento de N vegetativo de la planta al grano, sería un aumento concomitante en el rendimiento del grano. Se ha encontrado que el índice de nitrógeno de la cosecha (N del grano/N total de la planta) varía según los genotipos del maíz (Pollmer *et al.*, 1979).

Cualquiera de estas estrategias es aceptable para mejorar el comportamiento en medios con niveles de N bajos. De hecho, es generalmente difícil determinar la causa de un mejor rendimiento si no se hace un extenso muestreo de la biomasa y no se llevan a cabo análisis de laboratorio. De cualquier modo, los análisis de laboratorio son necesarios para descubrir el valor potencial de los materiales no mejorados.

Esto nos lleva a tratar la metodología de la selección. Estamos evaluando tres sistemas generales de selección: La selección recurrente de familias de hermanos completos a partir de materiales mejorados; la evaluación de cruzamientos superiores entre familias S1, y la selección de genotipos superiores de materiales no mejorados o no probados. Presentaremos estos tres enfoques por separado:

#### **1. Selección de familias de hermanos completos dentro de una población mejorada**

Se ha sugerido que los genes de tolerancia a limitantes ambientales existen con bastante frecuencia en los materiales mejorados y que los individuos o familias que los presentan pueden identificarse mediante técnicas de selección

apropiadas. Sobre la base de la literatura existente, no fue posible elegir la estructura familiar óptima para realizar la selección para la tolerancia a limitantes ambientales de N en el maíz; si bien algunos autores han informado que el desempeño de los híbridos refleja el comportamiento de líneas endocriadas en ambientes con bajos niveles de N (Smith, 1934), otros investigadores han encontrado que la respuesta de líneas endogámicas se correlaciona mal con el rendimiento de los híbridos (Balko y Russell, 1980). En el presente estudio se utilizó una estructura de familias de hermanos completos porque este sistema permite un ciclo de selección corto (un ciclo por año), así como un ambiente relativamente consistente (la selección de familias siempre se hace en el ciclo de verano), y se evita el riesgo de seleccionar caracteres que se manifiestan de manera diferente en distintos niveles de endogamia.

Estudios preliminares han indicado que la variedad experimental Across 8328 tiene un desempeño relativamente bueno con niveles de N altos y bajos. En el ciclo de verano de 1986 se inició un programa de selección recurrente. Ahora, se está evaluando el primer ciclo de selección, de modo que no es posible en este momento presentar los resultados. Sin embargo, quisiéramos describir brevemente el sistema de selección que utilizamos y las observaciones que hemos realizado.

Cuando la selección se efectúa únicamente en condiciones de escasez de N, el cultivo tiende a un buen desempeño en ambientes adversos, pero el potencial de rendimiento puede perderse en condiciones ambientales favorables (Muruli y Paulsen, 1981). Como no estamos dispuestos a sacrificar el rendimiento que se obtiene cuando existen buenas condiciones, nuestras selecciones se llevan a cabo en materiales cultivados tanto a niveles de fertilidad bajos como altos. El alto nivel de N es de 200 Kg N/ha. Para el rendimiento de bajo N, el cultivo se siembra en un bloque en el que se ha agotado el contenido de N quitando la biomasa de cuatro ciclos de maíz y al que no se ha añadido fertilizante nitrogenado. El rendimiento de grano en la parte de bajo N tiende a ser, en promedio, aproximadamente la mitad del rendimiento que se obtiene cuando el nivel de N es alto. La variabilidad del suelo tiende a aumentar a medida que disminuye el nivel de N. Para hacer selecciones en condiciones de elevada variabilidad ambiental, utilizamos un diseño simple en látice alfa

(0,1) con 8 a 10 familias por bloque. Se ha encontrado que este diseño es aproximadamente dos veces más eficiente en el tratamiento de bajo N como un diseño de bloques completos al azar. La progenie de hermanos completos se cultiva en niveles de N tanto altos como bajos en dos o tres repeticiones. La razón para utilizar dos niveles de N se pone en manifiesto cuando se examina la relación entre los rendimientos en esos dos niveles (Figura 1). Si bien estos rendimientos se correlacionan en cierta forma en los dos niveles, no es posible identificar con precisión las familias que producen altos rendimientos cuando el N es escaso, sobre la base de su desempeño en condiciones de alta fertilidad.

Para seleccionar las familias que habrían de recombinarse, se consideraron, además del rendimiento, varios caracteres secundarios (Cuadro 1) que se seleccionaron porque cumplieran las condiciones que definen criterios suplementarios de selección útiles, es decir, que se relacionan estrechamente con el rendimiento, pueden medirse con facilidad y es posible que sean más heredables que el rendimiento. Las relaciones entre el rendimiento del grano en condiciones de bajo N y los caracteres secundarios de selección se muestran en las figuras 2, 3, 4 y 5. Las correlaciones de estos caracteres con el rendimiento medio en condiciones de escaso N se enumeran en el Cuadro 2. Estos caracteres secundarios se han incluido en un Índice de selección junto con los rendimientos en condiciones de alto y bajo N; el Índice se utiliza también para mantener constantes la altura de la planta y la fecha de floración masculina (estimadas en condiciones de alto nivel de N). En el primer ciclo de selección se empleó una presión de 20% (de 247 familias seleccionadas, se escogieron 50) y se formaron, además, "variedades experimentales" mediante cruzamientos entre las diez mejores o peores familias, al respecto de los caracteres utilizados en el Índice de selección o combinaciones de dichos caracteres. Estas variedades experimentales se están evaluando en un ensayo repetido para estimar el avance de un ciclo de selección y cuantificar el valor de los diferentes caracteres incluidos en el Índice de selección.

## **2. Evaluación de las cruzas entre plantas S1 superiores**

En el transcurso de un ensayo de variedad realizado en el ciclo de invierno de 1986 en Poza Rica, se identificaron 32 plantas con un crecimiento significati-

vamente mejor que el de las plantas vecinas en condiciones de escaso N. La identificación se hizo antes de la floración considerando la mayor altura de las plantas y el color verde más oscuro de las hojas. Estos individuos se identificaron en 13 materiales diferentes. Después de la autofecundación de las plantas individuales, las familias S1 se cruzaron para producir familias F1. Estos materiales se evaluaron en un ensayo repetido durante el invierno de 1986. Para compensar la gran variabilidad presente en el bloque experimental, se sembró una variedad testigo (KSX-2301, un híbrido de Tailandia por lo común tolerante a condiciones adversas) cada séptimo surco. Los rendimientos de las cruzas se expresaron como porcentaje del promedio de los rendimientos de los testigos sembrados a ambos lados, y ese porcentaje se multiplicó por el rendimiento medio de los testigos de esa repetición. Dos repeticiones se sembraron en condiciones de alto N y 3 en bajo N.

Los rendimientos de las cruzas fueron de 1 a 5 ton/ha cuando el N era escaso y de 2.3 a 9 ton/ha en condiciones de N elevado. Las cruzas cuya madurez era similar a la de los testigos tuvieron por lo general un rendimiento más alto que estos. La relación entre los rendimientos en los dos niveles de N fue semejante a la observada en la progenie de Across 8328; el mejor desempeño en condiciones favorables de N no significó un mejor comportamiento en condiciones deficientes de N. Si bien al parecer existe cierta correlación (Figura 6) está en el resultado de haber incluido en el ensayo genotipos con madurez distinta (la floración, estimada en condiciones desfavorables de N, osciló entre 69 y 113 días). El rendimiento en condiciones de alto N no se correlaciona, en ninguna madurez con el rendimiento en condiciones de bajo N. Si bien los rendimientos de las entradas precoces fueron muy bajos en condiciones deficientes de N, estos materiales no presentaron menor tolerancia a dichas condiciones que las entradas tardías o intermedias, como se observa en la gráfica la relación de los rendimientos (-N/+N) con la fecha de floración (Figura 7). Debido a los diversos tipos de madurez incluidos en el ensayo, la selección se hizo principalmente sobre la base de la razón entre los rendimientos en bajo N y en alto N. Las cruzas que mostraron reducciones menores del 45% en el rendimiento se analizaron separándolos en tres grupos según la madurez. Para cada clase de madurez se seleccionaron aquellas cruzas cuyo rendimiento fue superior a una desviación standar por encima de la media en condiciones de bajo N y que

no caía por debajo del promedio del rendimiento en condiciones favorables de N. Familias seleccionadas y sus rendimientos se muestran en el Cuadro 2. Los rendimientos de las fracciones seleccionadas fueron un 12% mayores que el promedio del ensayo en condiciones favorables de N y aproximadamente un 33% mayores en condiciones deficientes de N. De las 32 líneas S1, 23 se identificaron como progenitores de cruzas superiores. La autofecundación de estas líneas debe entonces continuarse para desarrollar materiales endogámicos tolerantes a condiciones de escaso N. Las cruzas seleccionadas pueden incluirse en un complejo de materiales adaptados a niveles de N bajos.

### **3. Evaluación de fuentes de materiales no mejorados o no probados**

Aunque dentro de las poblaciones mejoradas parece que hay variación genética en la tolerancia a condiciones deficientes de N, es probable que haya mayores variaciones entre los materiales. Es posible que los materiales no mejorados muestren un rango de tolerancia a condiciones adversas de N de tipo y grado diferentes, es decir, que presenten respuestas excepcionales ante deficiencias de N; respuestas que no se encuentran en poblaciones mejoradas que se han seleccionado durante muchos ciclos en condiciones de alto grado de fertilización de N. Para analizar las respuestas al N de materiales no mejorados o no probados, se sembró en ambas condiciones de N un ensayo con un diseño en látice cuadrado con dos repeticiones. Treinta y ocho de las entradas incluidas en el ensayo se seleccionaron del Banco de Germoplasma del CIMMYT, de acuerdo con su adaptación (colecciones que se hubieran hecho a menos de 600 m de altura) y raza. Las razas se escogieron según la fertilidad esperada de los tipos de suelo comunes en sus áreas de adaptación. Se incluyeron, además, en el ensayo ocho entradas procedentes de la Región Andina consideradas tolerantes a condiciones de alto contenido de aluminio, así como varias entradas del programa de fisiología del CIMMYT, que se esperaba que fueran tolerantes a condiciones ambientales de stress, y otros materiales del CIMMYT que todavía no habían sido evaluados bajo condiciones desfavorables de N.

Debido a la heterogeneidad de los materiales que se deseaba evaluar, el rendimiento de grano por sí solo no es un buen indicador de las respuestas excepcionales a condiciones deficientes de N. Es obvio que los materiales mejo-

rados tendrán mayores índices de cosecha y mejores rendimientos de grano que los materiales del Banco, pero estas características no pueden emplearse para identificar fuentes de tolerancia superiores a condiciones adversas de N. Se decidió que todas las entradas debían compararse, no ya entre sí, sino según su propio comportamiento con niveles de N bajos.

En este ensayo se midieron tanto los rendimientos de grano como los de la biomasa. No sobresalió ninguna raza particular ni ningún tipo de material; en la mayoría de los grupos se observó un amplio rango de respuestas. Los materiales procedentes del Banco tuvieron rendimientos generalmente bajos (Figura 8); en estas figuras las letras "A", "F" y "Q" indican materiales mejorados. El desempeño de algunos materiales mejorados fue bastante bueno tanto en condiciones favorables como desfavorables de N; no obstante, la producción de la mayoría de esos genotipos fue solo un poco mayor que la de los materiales no mejorados en condiciones deficientes de N. La razón entre el rendimiento de grano en condiciones de escaso N y el rendimiento de grano en condiciones favorables de N fue mayor de 0.5 solo en 25 de los 64 genotipos estudiados. Desde ese punto de vista, los materiales mejorados sufrieron un cambio ligeramente mayor que los procedentes del Banco. Los promedios de los rendimientos de biomasa de los materiales mejorados y no mejorados en condiciones deficientes de N fueron similares (450 gramos por metro cuadrado, en comparación con 427 gramos por metro cuadrado) (Figura 9). Este punto nos recuerda que la gran parte de los avances en el mejoramiento del maíz consistía en cambiar el índice de la cosecha. Algunos materiales, tanto mejorados como no mejorados, dieron un índice de cosecha reducido en condiciones de escaso N, mientras que en otros materiales aumentó (Figura 10). Las razas Nat-tel, Zapote Chico y Salvadoreño mostraron poca reducción en el índice de cosecha en condiciones de bajo N. En base a los datos que existen ahora, se seleccionaron 9 materiales (Cuadro 3); estos formaron un compuesto genético con tolerancia a condiciones de bajo N.

## CONCLUSIONES

En este momento podemos decir que hay variación genética tanto en los materiales mejorados como en los no mejorados. Se puede identificar genotipos que sobresalen en condiciones de bajo N sin perder rendimiento en alto nitrógeno. Estamos evaluando tres sistemas para hacer dicha selección. Esperamos que será posible recomendar uno de los sistemas e identificar los mecanismos que confieran superioridad en condiciones de bajo N en el futuro.

## BIBLIOGRAFIA

1. **BALKO, L. and RUSSELL, W. 1980. Effects of rates of nitrogen fertilizer on maize inbred lines and hybrid progeny. I. Prediction of yield response. *Maydica* 25:65-79.**
2. **CHAVALIER, P. and SCHRADER, L. 1977. Genotypic differences in nitrate absorption and partitioning of N among plant parts in maize. *Crop Sci.* 17:897-901.**
3. **MARANVILLE, J., CLARK, R. and ROSS, W. 1980. Nitrogen efficiency in grain sorghum. *J. Plant Nutrition* 2:577-589.**
4. **MURULI, B. and PAULSEN, G. 1981. Improvement of nitrogen use efficiency and its relationship to other traits in maize. *Maydica* 26:63-73.**
5. **O'SULLIVAN, J., GABELMAN, W. and GERLOFF, G. 1974. Variation in the efficiency of nitrogen utilization in tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) grown under nitrogen stress. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 99:543-547.**
6. **POLLMER, W., EBERHARD, G., KLINE, D. and DHILLON, B. 1979. Genotypic control of nitrogen uptake and translocation in maize. *Crop Sci.* 19:82-86.**

7. **SANCHEZ, P. 1977. *Properties and Management of Soils en the Tropics.* John Wiley and Sons, N.Y. 618 pp.**
8. **SMITH, S. 1934. *Response of inbred lines and crosses in maize to variations in nitrogen and phosphorus supplied as nutrients.* J.Am. Soc.Agron. 26:785-804.**
9. **TSAI, C., HUBER, D. and WARREN, H. 1980. *A proposed role of zein and glutelin as nitrogen sinks in maize.* Plant Physiol.66:330-333.**

**Table 1. Correlation coefficients observed between grain yield at low N and other variables in an evaluation of 11 varieties and in an evaluation of full-sib progeny of Across 8328**

	Correlation coefficient	
	Varieties (1986A)	Progeny (1986B)
Grain yield, high N	0.25	0.46**
Chlorophyll at flowering -N	0.88**	0.80**
Chlorophyll 3 weeks after flowering -N	0.88**	0.80**
Ear leaf area, low N	0.75**	0.61**
Anthesis-silking interval, low N	-0.67*	-0.58**
Total plant N, low N <sup>a</sup>	0.79**	0.74**
Nitrogen harvest index, low N <sup>a</sup>	0.76**	0.74**
Total biomass, low N <sup>a</sup>	0.97**	0.78**
Green leaves below the ear, 69 DAP <sup>b</sup>	-	0.75**
Green leaves below the ear, 82 DAP <sup>b</sup>	-	0.74**

\* Significant at 0.05 probability level.

\*\* Significant at 0.01 probability level.

<sup>a</sup> Measured for a subset (73) of the full-sib families evaluated.

<sup>b</sup> Not measured in the variety evaluation.

CUADRO 2. Cruzas seleccionadas.

**SELECTED CROSSES:**

ENTRY	PARENTS	YIELD
Late: 94 DTF		
37	T.P.B. X Suwan 8222	-N = 449 G/M2
47	T.P.B. X KSX 2301	(330 G/M2)
50	Ferke 8427 X T.P.B.	+N = 701 G/M2
60	Suwan 8222 X T.P.B.	(641 G/M2)
79	R.A.8321 X T.P.B.	
85	R.A.8321 X Suwan 8222	
88	Suwan 8222 X T.P.B.	
91	Suwan 8222 X Suwan 8222	
96	Suwan 8222 X Across 8328	
115	Pool 23 X Suwan 8222	
119	Pool 23 X R.A.8321	
132	Across 8328 X Suwan 8222	

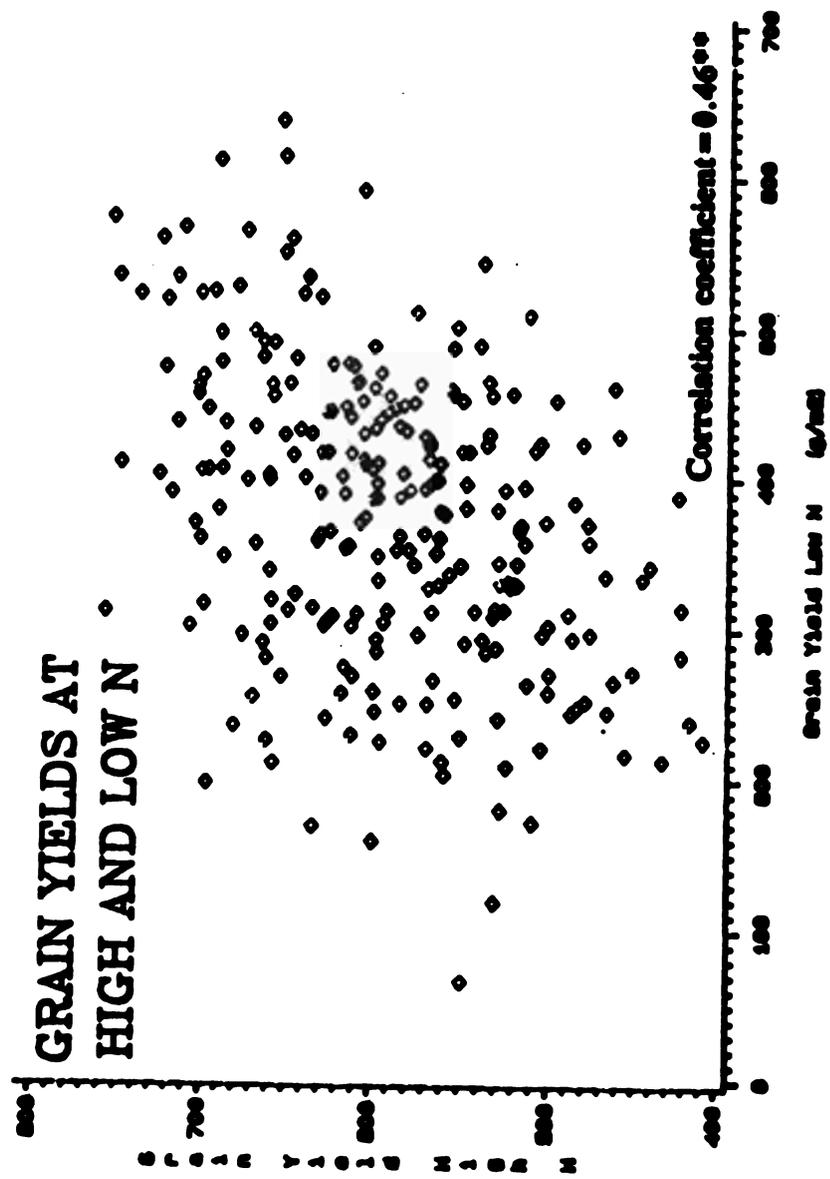
**SELECTED CROSSES:**

ENTRY	PARENTS	YIELD
Early: 80 DTF		
5	Suwan 2 X Suwan 2	-N = 293 G/M2
14	Suwan 2 X Suwan 2	(221 G/M2)
76	Pool 15 X Pool 16	+N = 436 G/M2
134	Across 8330 X Suwan 2	(390 G/M2)
138	Pool 15 X Suwan 2	
Intermediate: 88 DTF		
12	Sel.Precos X R.A.8321	-N = 344 G/M2
29	T.P.B. X Sel.Precos	(262 G/M2)
118	Pool 23 X Across 8330	+N = 534 G/M2
130	Across 8328 X Across 8330	(461 G/M2)
137	Across 8330 X Suwan 8222	

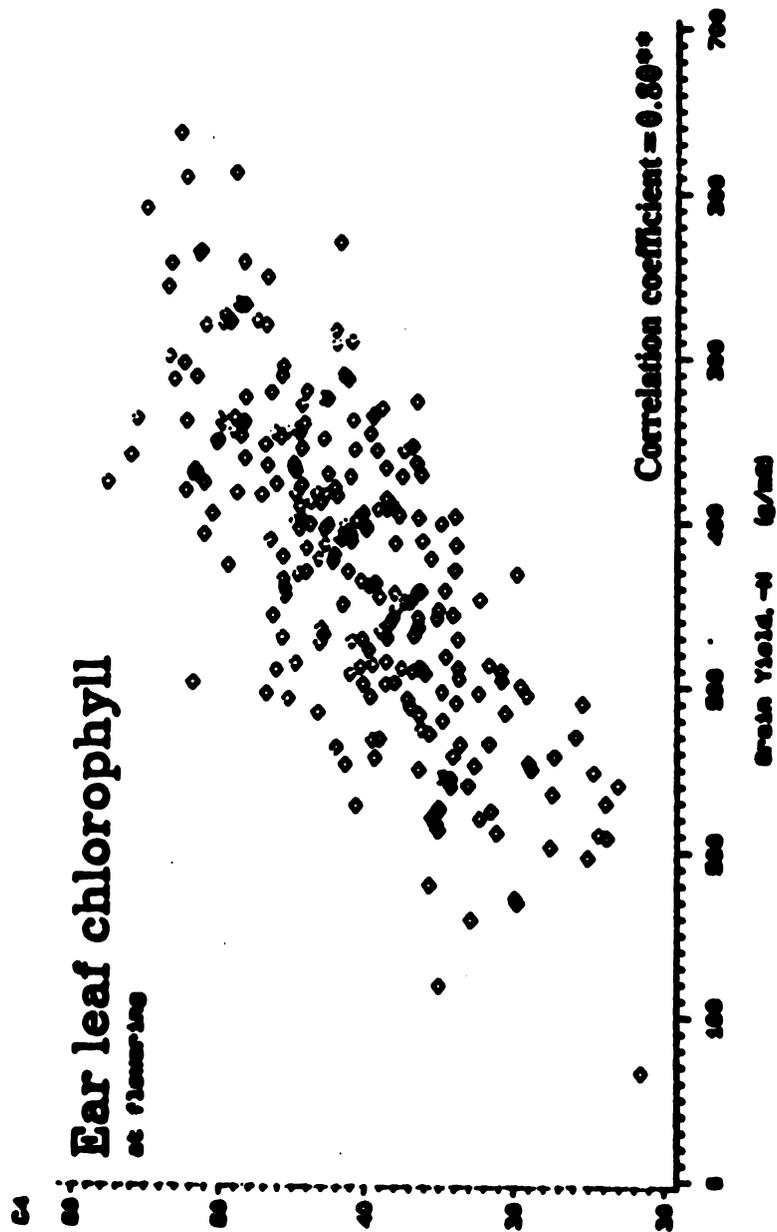
CUADRO 3. Fuentes seleccionadas en base de rendimiento de biomasa, alto valor de -N/+N, y poco efecto en índice de cosecha.

**SELECTIONS FROM SCREEN OF SOURCES:  
(HIGH BIOMASS YIELD, HIGH -N/+N GRAIN RATIO, SMALL EFFECT  
OF N STRESS ON HARVEST INDEX)**

<b>Entry:</b>	<b>Guatemala GP-17-3A</b>	<b>CONITECO</b>
	<b>Campeche GP-6</b>	<b>DZIT-BACAL</b>
	<b>Chiapas GP-3</b>	<b>DZIT-BACAL</b>
	<b>Nicaragua GP-66A</b>	<b>SALVADORENO</b>
	<b>Nicaragua GP-67</b>	<b>SALVADORENO</b>
	<b>Brazil CMS-36</b>	
	<b>Peru Marginal 28</b>	
	<b>Population 64, Blanco dentado-2 QPM</b>	
	<b>Population 63, Blanco dentado-1 QPM</b>	
	<b>LaPosta Maximum leaf extension (physiology)</b>	



**Figure 1. Relationship between yield at low N and yield at high N for 247 full-sib families of Across 8328.**



**Figure 2. Relationship between grain yield at low N and the chlorophyll concentration of the ear leaf at flowering, low N, for 247 full-sib families of Across 8328.**

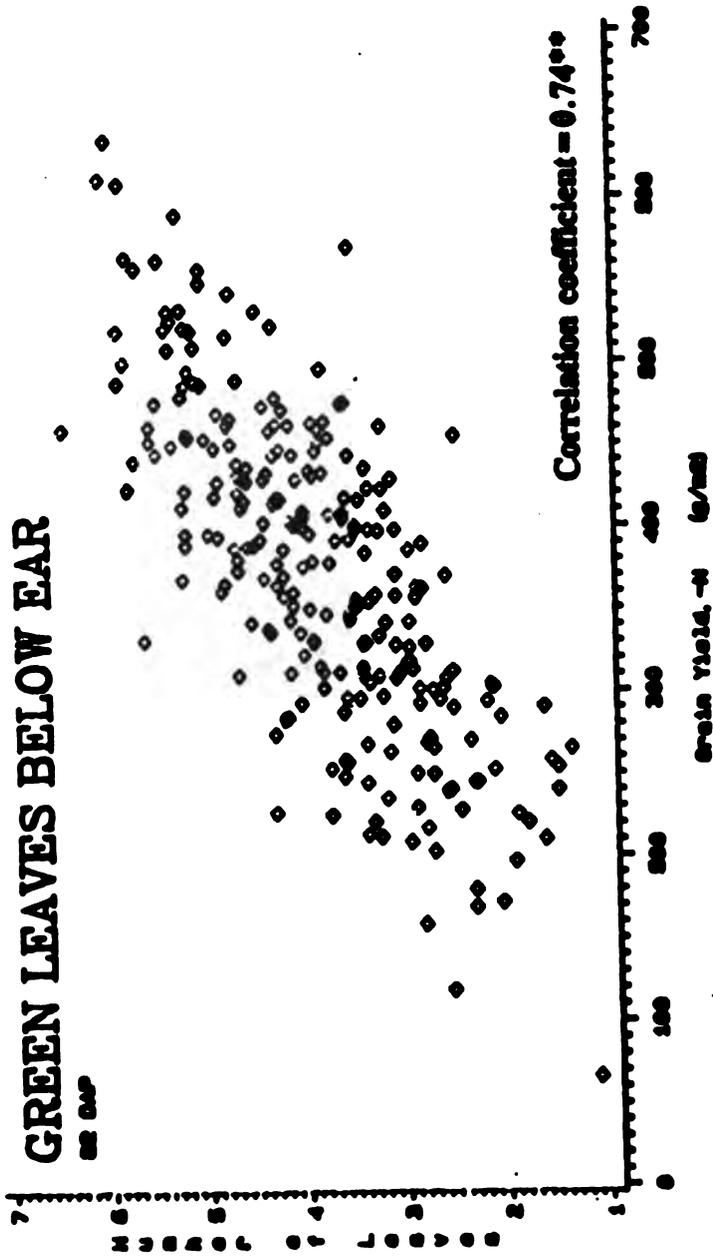


Figure 3. Relationship between grain yield at low N and the number of green leaves below the ear at 82 days after planting (3 weeks after flowering), low N.

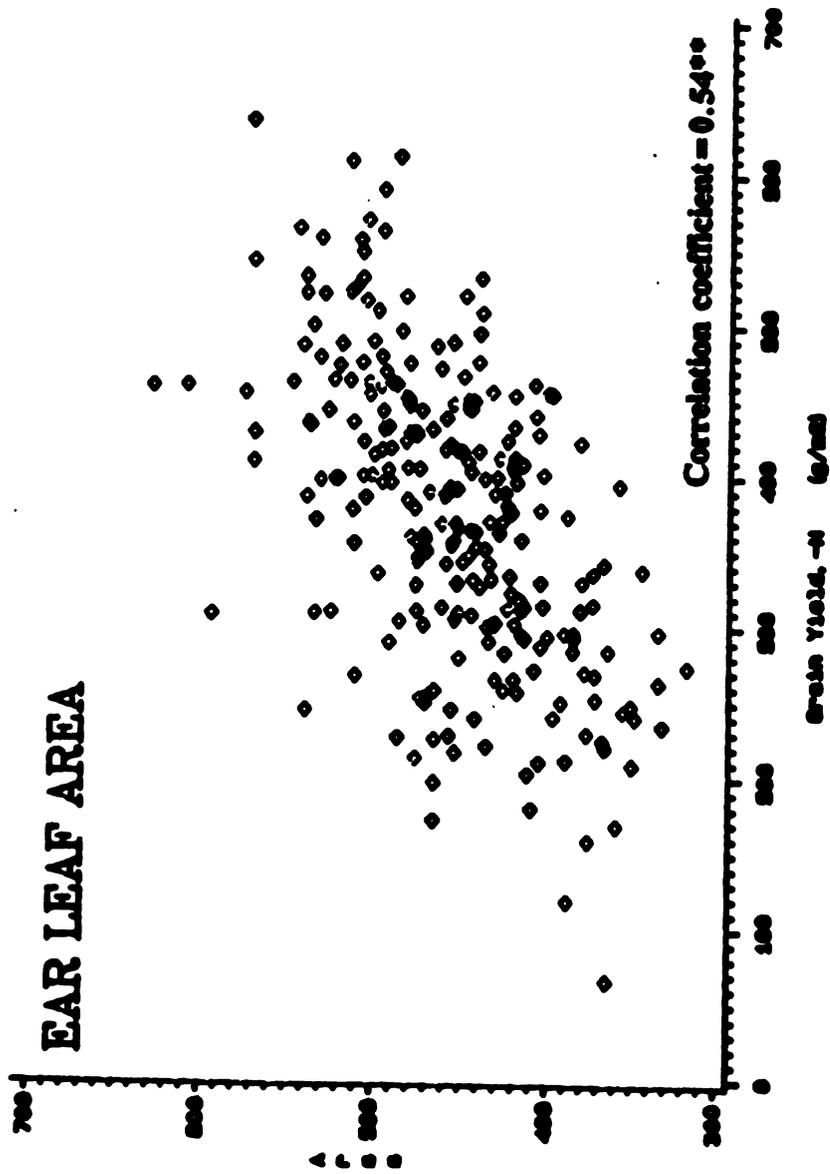
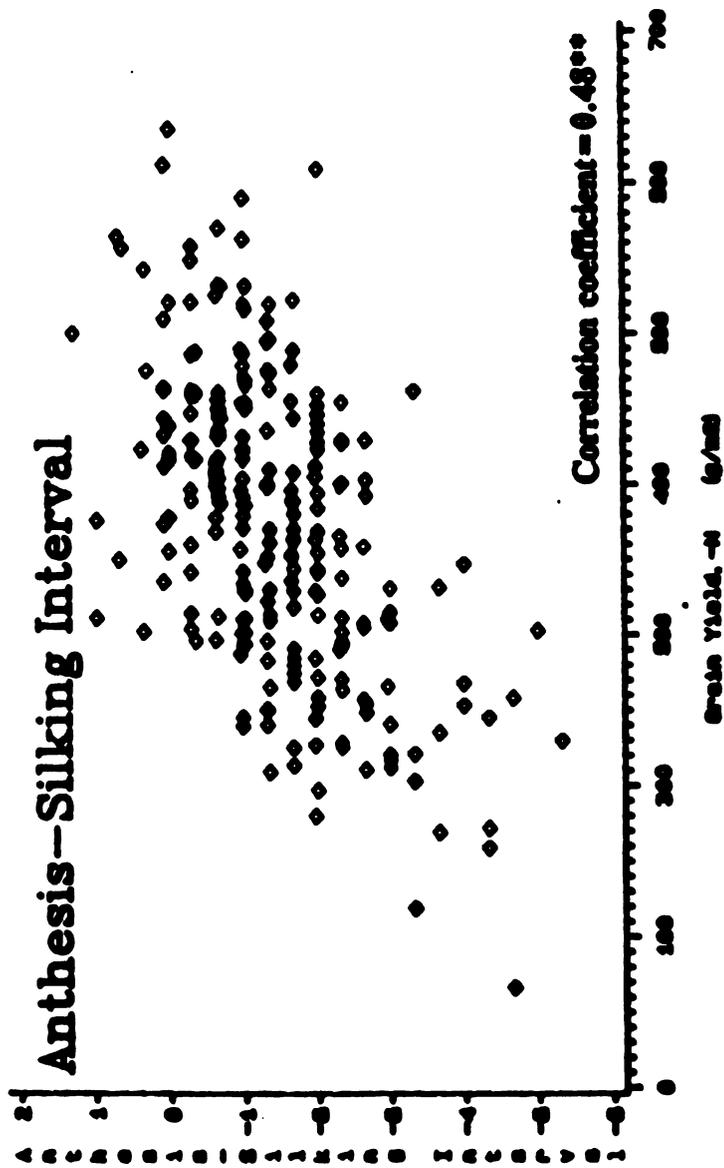


Figure 4. Relationship between grain yield at low N and ear leaf area ( $\text{cm}^2$ ), low N, for 247 full-sib families of Across 8328.



**Figure 5. Relationship between grain yield at low N and the anthesis-silking interval (days), low N, for 247 full-sib families of Across 8328.**

Figura 6. Rendimiento de cruza entre plantas S1.

# GRAIN YIELDS OF S1 CROSSES

Poza Rica 87A PARC. 601 and 602

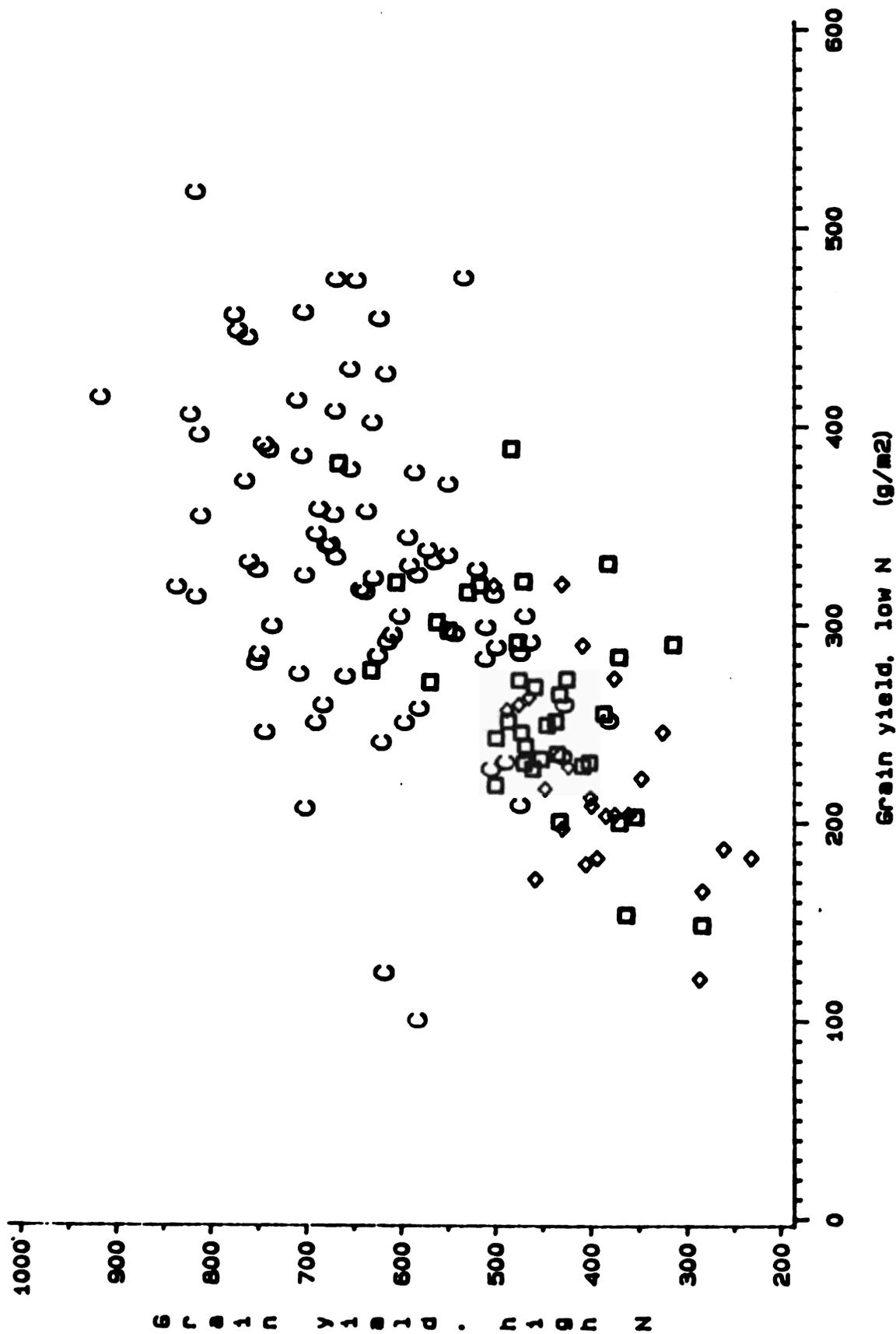


Figura 7. Reducción en Rendimiento vs. Madurez.

# YIELD REDUCTION VS. MATURITY

POZA RICA 87A PARC. 601 and 602

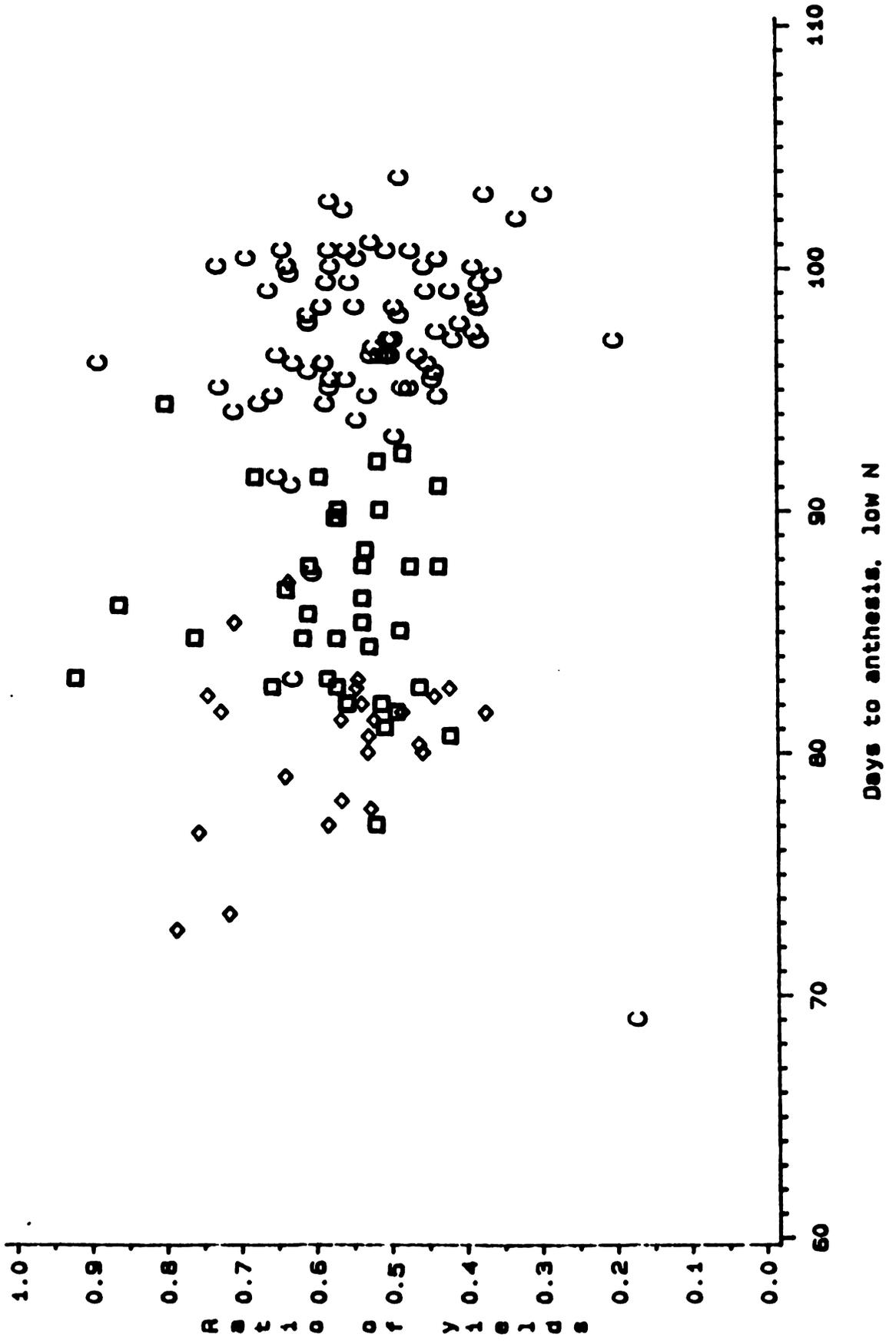


Figura 8. Rendimiento de fuentes.

# GRAIN YIELDS OF SOURCE MATERIALS

Poza Rica 87A

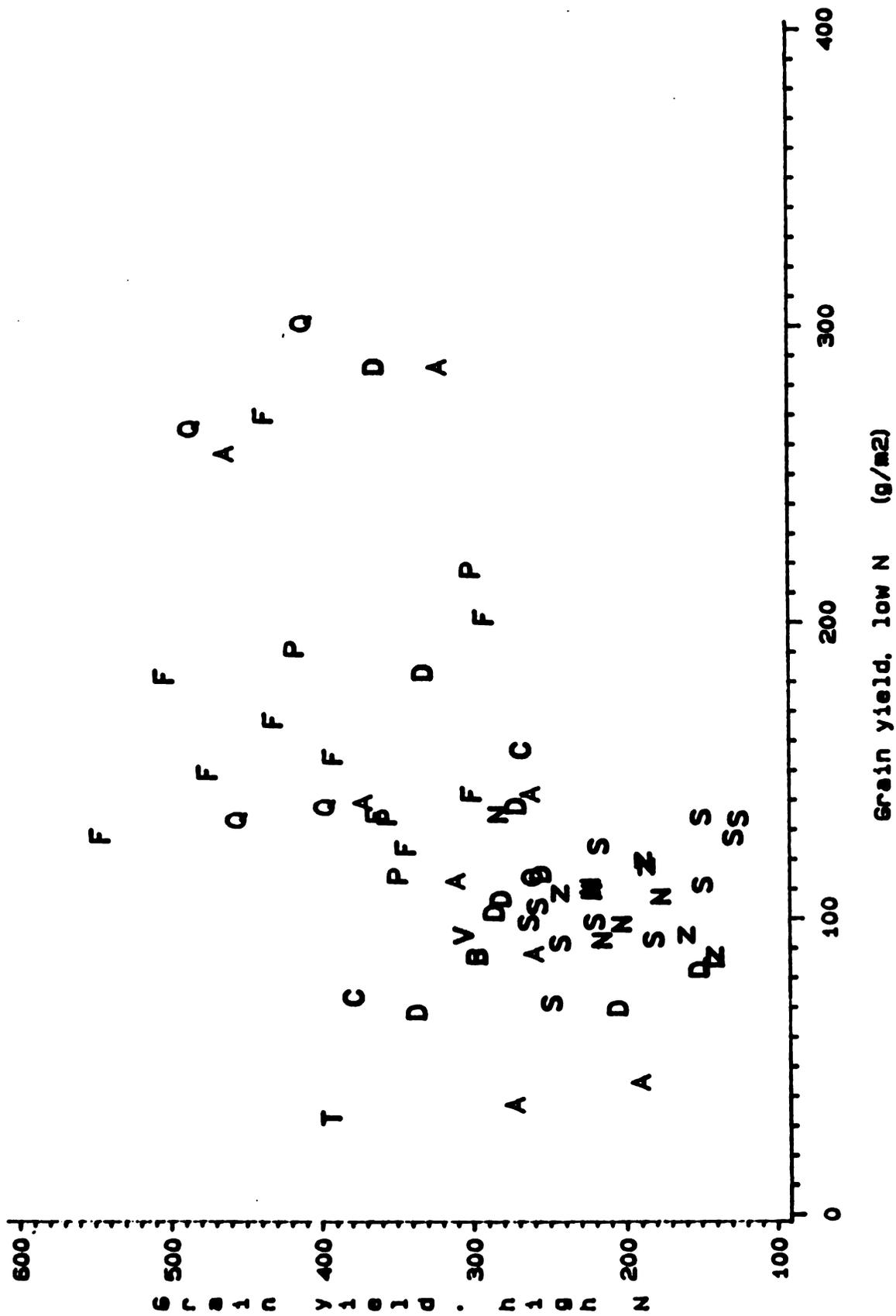


Figura 9. Rendimiento de biomasa de fuentes.

# BIOMASS YIELDS OF SOURCE MATERIALS

Poze Rice 87A

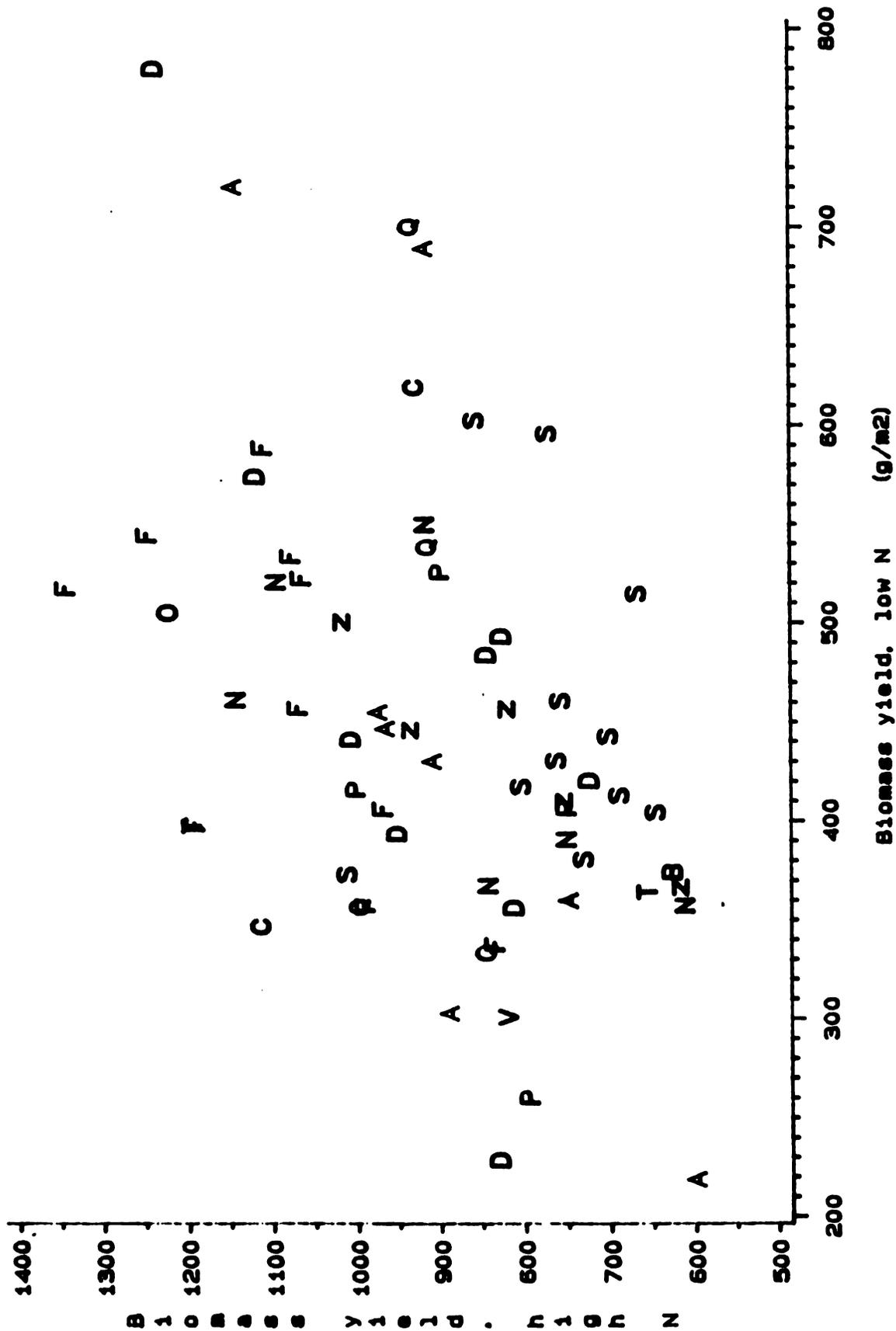
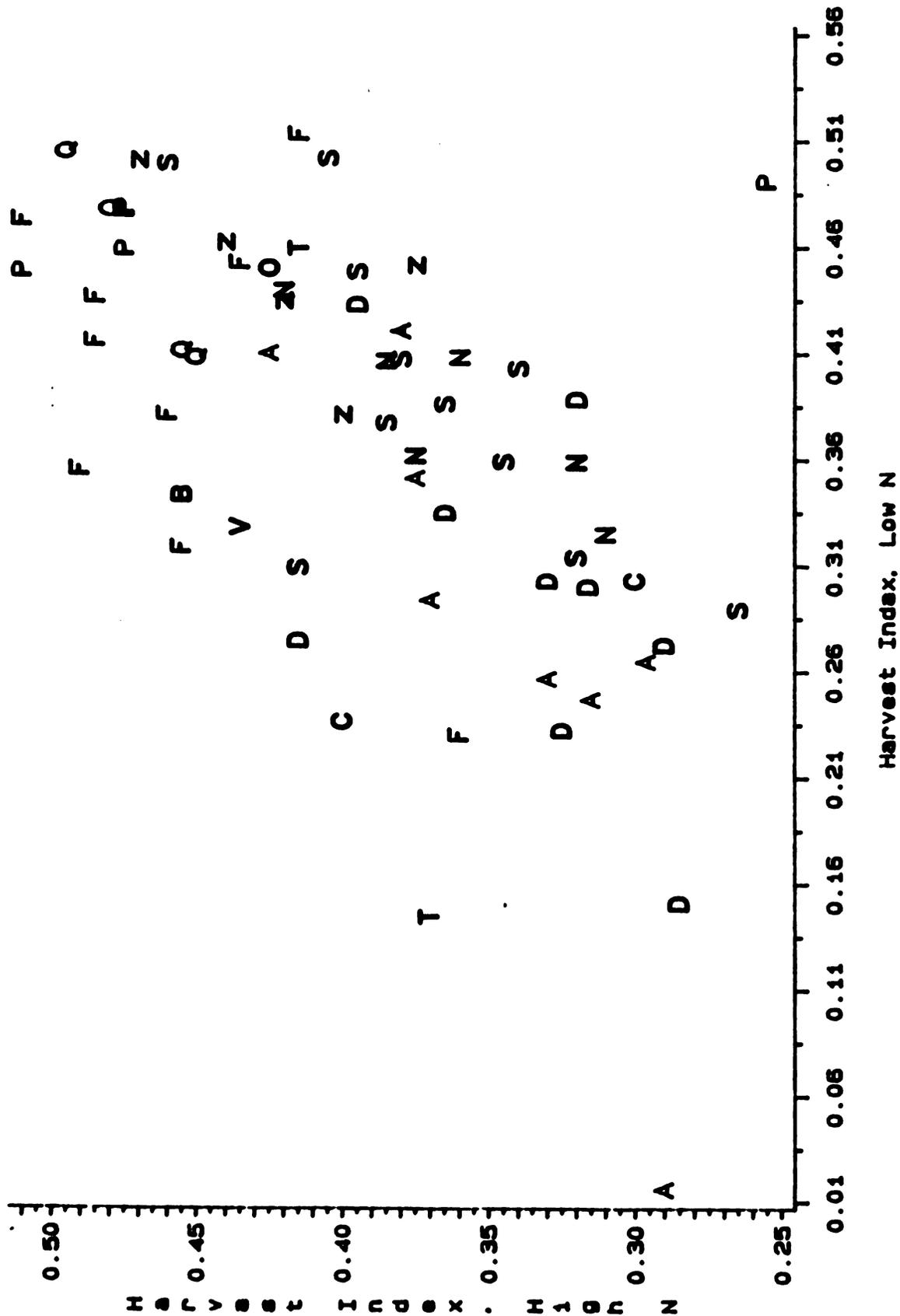
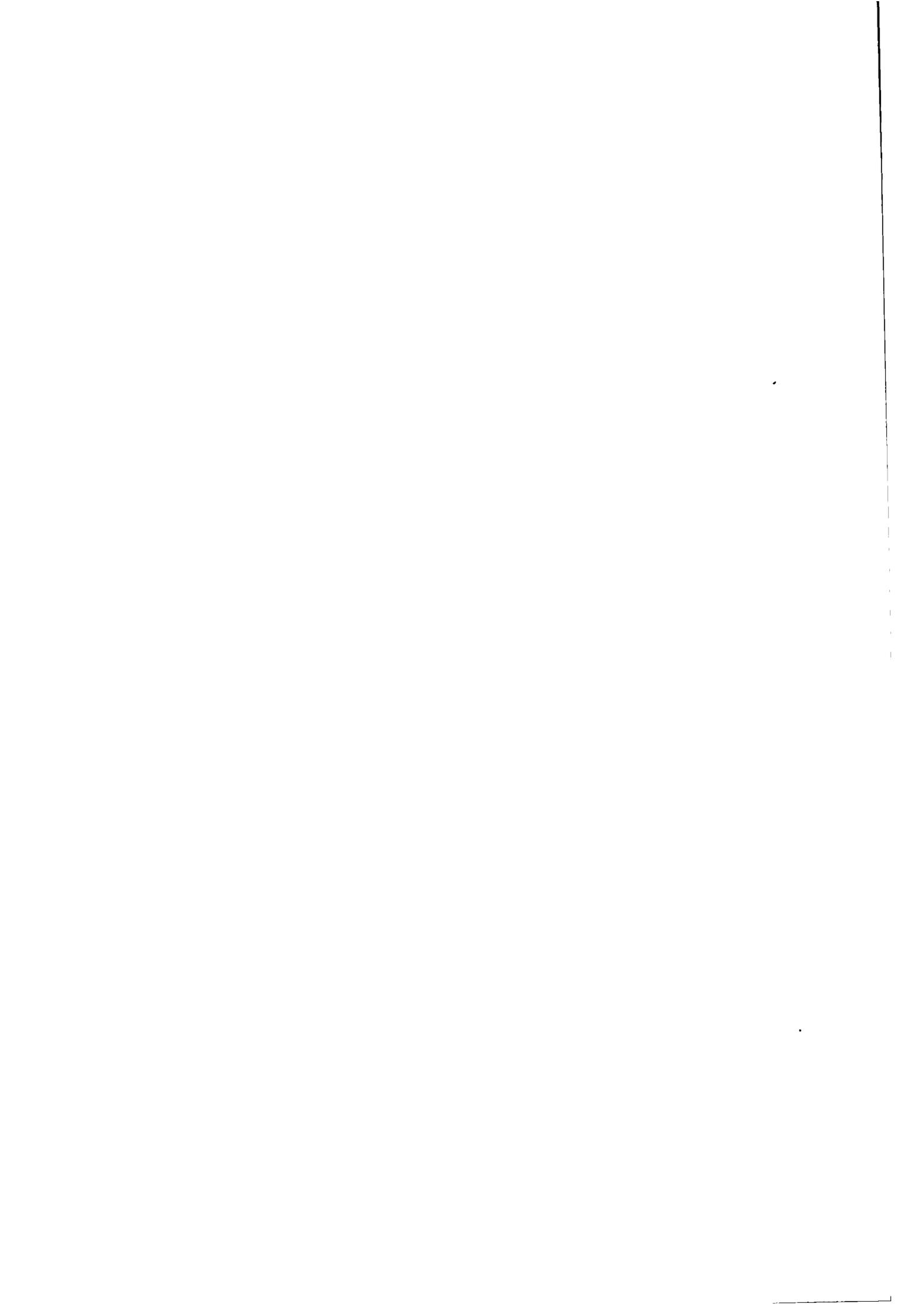


Figura 10. Indices de cosecha de fuentes.

# HARVEST INDICES OF SOURCE MATERIALS

Poza Rice 67A





# FACTORES AMBIENTALES EN LA PRODUCCION DE MAIZ EN BOLIVIA

**B. R. Torrico \***

El cultivo de maíz en Bolivia se encuentra en diversas regiones agrícolas del país, desde las zonas bajas (220 msnm) hasta las regiones ubicadas en altitudes aproximadas a los 3000 msnm. A través de todas estas áreas de producción de maíz se pueden distinguir cuatro regiones principales.

## **1. Valles Mesotérmicos**

Representan el 66% de la superficie total cultivada y se encuentran ubicados entre los 1800 y 2900 msnm, en los Departamentos de Chuquisaca, Cochabamba, Potosí, La Paz y Tarija, con temperaturas medias anuales que fluctúan entre los 15.5 y 18 grados C, con períodos secos entre 5 - 6 meses y precipitaciones que fluctúan entre los 450 y 650 mm al año.

En esta región se distinguen dos modalidades de siembra: en la zona Norte y Central, las siembras son realizadas con la humedad residual del año anterior (durante los meses de septiembre y octubre), bajo este sistema las plantas

---

\* *Departamento de Fitotecnia, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Simón, Bolivia.*

presentan deficiencias de humedad (encarrujamiento de las hojas) durante las primeras fases de crecimiento de las plantas, que a la vez, determinan un desarrollo lento debido a una actividad metabólica también lenta. Al iniciar la temporada de lluvias, las plantas aceleran su metabolismo y la velocidad de crecimiento se acentúa. En estas condiciones de cultivo, los rendimientos son bajos, comparados con algunas regiones en las que se dispone de riego. Este sistema de siembra esporádicamente está expuesto al daño ocasionado por heladas tardías.

Estudios realizados por el Centro Fitotécnico Pairumani indican el comportamiento de germoplasma de la Faja Maicera, identificado como resistente a la sequía, que bajo las condiciones de cultivo en los valles de Cochabamba. Esta resistencia no se ha manifestado debido a las diferencias de disponibilidad de humedad durante el ciclo de cultivo de maíz de la Faja Maicera donde las plantas desarrollan en buenas condiciones de humedad, hasta la etapa de floración, de manera que la resistencia adquirida es para las últimas fases de desarrollo de las plantas, ocurriendo todo lo contrario en las condiciones ecológicas de los valles bolivianos. Un resultado similar se observó con el germoplasma con el gene latente de México.

En la región Sur de los valles, las deficiencias de humedad limitan una siembra temprana y las actividades de preparación del terreno inician juntamente con la temporada de lluvias (octubre - noviembre). En estas condiciones, el período de humedad resulta corto para completar el ciclo del cultivo de maíz, optándose por variedades muy precoces.

## **2. Llanos Tropicales semi-húmedos**

Ubicados en la región Centro Oriental del país en el Departamento de Santa Cruz, esta región constituye el 20% de la superficie total cultivada con maíz. En esta región se registra una temperatura media anual de 24.3 grados C, con una precipitación media anual de 1171 mm; presenta 3 meses secos, en esta región el maíz es sembrado al inicio de la temporada de lluvias (fines de septiembre - octubre).

La producción registra problemas esporádicos (inundaciones, sequía); sin embargo, debido al sistema mecánico de habilitación de tierras (desbosque) los terrenos presentan algunos problemas de nivelación y diferencias de fertilidad en el terreno por el acarreo de la capa arable para rellenar los hoyos que dejaron los árboles al ser eliminados con todo el sistema radical.

La distribución de la precipitación en esta región es presentada en el Cuadro 1.

### **3. Llanos y valles Subtropicales semi-secos**

Comprende los valles llanos del Sur y los llanos situados en la zona Central del Sur de Bolivia (valles de Santa Cruz, Chuquisaca y Tarija). El área maicera de esta zona, abarca el 10% de la superficie total cultivada. Esta región se caracteriza por sus elevados índices de evapotranspiración ( $EVT/P = 5.1$ ). En esta región se tienen precipitaciones que oscilan entre 550 y 800 mm, y una temperatura media anual que fluctúa entre el 18 y 25 grados C. La siembra de maíz en estas regiones es realizada después del inicio de la temporada de lluvias (diciembre-enero) y se observa deficiencias de humedad en los estados avanzados de desarrollo. Se han habilitado algunas zonas mediante el uso de variedades más precoces (110 - 120 días).

### **4. Llanos y pendientes Tropicales húmedos**

Ocupan el área contigua a las vertientes orientales de los Andes, en los Departamentos de Cochabamba y La Paz, y los llanos de los Departamentos del Beni y Pando. Estas áreas actualmente están en los planes de colonización del Gobierno a esta región le corresponde el 4% de la superficie total cultivada con maíz a nivel nacional.

Se caracteriza por una elevada precipitación pluvial, comprendida entre 1700 y 3956 mm con períodos secos que fluctúan de 0 a 4.5 meses y períodos húmedos que fluctúan de 4 a 7 meses.

CUADRO 1. Características de las zonas productoras de maíz en Bolivia

ZONA	ELEVACION (msnm)	TEMP. ANUAL $\bar{X}$ °C	ESCARCHA 0 Temp. Crit.	PRECIPITACION anual mm	Nº de MESES Secos Húmedos
<b>1. Valles Mesotérmicos</b>					
Cochabamba	2553	17.7	May-Sept.	477	6 1.5
Sucre	2750	15.3	Jun-Agost.	673	5.5 1.2
Tarija	1937	18	Jun-Agost.	576	5.5 2
<b>2. Llanos Tropicales semi-húmedos</b>					
Santa Cruz	437	24.3	0 C	1171	3 3
Montero	317	24.4	0 C	1308	3.5 3
Gral. Saavedra	536	23.7	0 C	1161	4.5 3
Algodonera	442	23	0 C	1251	3.5 2.5
<b>3. Llanos y Valles Sub-tropicales semi-secos</b>					
Valle Grande	1980	18.1	May-Sept.	683	5 1.5
Mairana	1350	21.4	Jun-Agost.	619	5.1 1
<b>4. Llanos y pendientes Tropicales húmedos</b>					
Chimore	300	24.5		3956	0 7
Rurrenabaque	200	25.8		1755	2.5 3
Coraico	1377	18.3		1227	3 0
Todos Santos	300	24.5		2907	0 6

Si bien esta región no presenta problemas de humedad, en cambio presenta problemas de lixiviación de elementos nutritivos del suelo, bajos niveles de pH; posible toxicidad de Aluminio , problemas de polinización de las plantas por aglutinación de los granos de polen, alta incidencia de enfermedades (*Fusarium cercospora*, etc).

En muchas áreas de esta región se presentan problemas de inundación, algunas veces temporales, continuas y a veces intermitentes que dificultan el cultivo de maíz. En estas regiones (llanura Beniana) y en otras demasiado húmedas (Chapare) la siembra de importancia se la realiza durante el invierno, cuando las aguas o la humedad han bajado. Este tipo de siembra está limitado a bajos rendimientos por cambios bruscos de temperatura registrados por efecto de los vientos fríos del polo Sur que producen cambios de más de 10 grados C en el transcurso de pocas horas sumados a este mismo factor se tiene el acame de plantas.

De todos los factores mencionados surge la necesidad de identificar germoplasma con resistencia a la sequía, para la región de los valles mesotérmicos como para los llanos y valles subtropicales semi-secos. Identificar germoplasma precoz para la región de los valles subtropicales y semi-secos.

Identificación de materiales con tolerancia a excesos de humedad y bajos niveles de pH.



# ALTERNATIVAS PARA LA PRODUCCION DE MAIZ EN SUELOS ACIDOS CON ALTOS CONTENIDOS DE ALUMINIO EN COLOMBIA

*Arnoldo Trujillo R. \**

## INTRODUCCION

En Colombia, alrededor de las 3/4 partes de los suelos agrícolos presentan problemas de acidez y el 40% de estos corresponden a suelos ácidos con altos contenidos de Aluminio. Estos suelos se presentan en forma de oxisoles y utisoles, y se caracterizan por su baja capacidad de retención de humedad, baja fertilidad caracterizada principalmente por deficiencias de P-N-K-Ca-Mg-S-B-Mo y Cu, alta acidez con pH menor de 5,0 y el Aluminio saturando el complejo de intercambio hasta en un 40 a 80%, alta capacidad de fijación del P por los óxidos e hidróxidos de Aluminio por lo que muchas veces este elemento no está disponible para las plantas y baja actividad microbiana.

La actividad agrícola de estas zonas, con suelos de este tipo, fundamentalmente es la ganadería en forma extensiva, con animales criollos que no dan los

---

\* I.A. Programa de Maíz. C.N.I. Palmira, Ap. Aéreo 233, Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

rendimientos deseados. La segunda actividad en importancia es el cultivo de maíz, el cual constituye un alimento básico de estas regiones. Pero los bajos rendimientos obtenidos con este cereal, debido principalmente a la utilización de semillas de variedades regionales (criollas y nativas), ya que no se tienen materiales mejorados que se adapten a estas condiciones de suelos, junto con la poca tecnificación del cultivo y la deficiente comercialización del producto, han ayudado a desplazar el cultivo y en el futuro puede desaparecer, si no se toman las medidas que ayuden a aliviar esta situación.

## **ALTERNATIVAS**

Para utilizar estos suelos ampliamente en la agricultura, se han dado varias alternativas:

1. Acondicionar el suelo al cultivo, es decir, aplicar una serie de enmiendas para mejorar principalmente las propiedades químicas del suelo.
2. Obtención de variedades mejoradas tolerantes a suelos con altos contenidos de Aluminio y bajos contenidos de fósforo.

### **Primera alternativa**

Los suelos ácidos, en general, son tóxicos para las plantas ya que ellos contienen cantidades excesivas de Aluminio soluble o cambiante. Los factores que afectan la toxicidad del Aluminio son: la concentración del Aluminio, el PH, la temperatura y la concentración de Ca y Mg.

Para las plantas en general, el exceso de Aluminio interfiere la división celular en el punto de crecimiento de las raíces, aumenta la rigidez de las paredes celulares por la formación de enlaces cruzados de peptinas, inhibe la duplicación del DNA, fija el P en formas menos disponibles en el suelo y la superficie de las raíces de las plantas, la respiración de las raíces disminuye, interfiere con las enzimas que controlan la fosforilación del azúcar y la acumulación de polisa-

cáridos en las paredes celulares, interfiere con la asimilación, transporte y uso de elementos esenciales como el Ca, Mg, K, P, y Fe, las raíces se tornan cortas y quebradizas, hay menos ramificación en las raíces laterales y son menos eficientes en la absorción de agua y nutrientes (Foy, 1983).

El Aluminio en el complejo de cambio de los suelos ácidos puede ser removido y precipitado por adición de Cal. Pero en áreas donde este producto es escaso y, además, no hay suficientes vías de penetración, al transporte de este producto al lugar donde se requiere, puede resultar bastante costoso.

En suelos que han recibido aplicaciones de Cal, se ha encontrado que el subsuelo puede presentar restricciones para el crecimiento radicular y por consiguiente la absorción de agua y nutrientes se ve perjudicada, esto debido a que las aplicaciones de Cal se realizan en los primeros 30 cm del suelo, incorporar la cal a mayor profundidad resultaría más costoso (Foy et al., 1965; Howeler y Cadavid, 1976).

Es conocido que la aplicación de Cal mejora la eficiencia de fertilización de P. Con una adición de 1.5 toneladas por hectárea para disminuir la saturación de Aluminio a 38%, las variedades de maíz requieren menos P aplicado para dar 80% de su rendimiento potencial (Salinas, 1978. Citado por Pandey et al., 1986).

### **Segunda alternativa**

Es la alternativa más viable y económica para dar solución a este tipo de problema. La obtención de variedades mejoradas con tolerancia a suelos con alto contenido de Aluminio, disminuiría los costos de producción por adecuación de suelos para el cultivo.

Evans y Kramprath (1970), citados por Pandey et al. (1986), demostraron que el maíz tolera hasta el 70% de saturación de Aluminio. Salinas (1978) citado por los mismos autores, consideró que el 63% de saturación de Aluminio puede ser una situación difícil para el maíz.

Neenam (1960) observó que la adaptabilidad de algunos cultivares a condi-

ciones ácidas era debido a su habilidad de tolerar altos niveles de Aluminio.

Debido a que el stress de Aluminio y de fósforo ocurren simultáneamente, la obtención de variedades mejoradas implicaría la selección conjunta para estos dos factores adversos (Sánchez y Salinas, 1981).

En el cultivo de maíz existe suficiente variación genética para tolerancia al Aluminio. En algunos países muchos investigadores han reportado la obtención de híbridos, compuestos y otros tipos de germoplasma que presentan tolerancia a altos contenidos de Aluminio y/o bajos niveles de P (Salinas, 1978; Magnavaca, 1983; Ayala *et al.*, 1981).

La herencia a la tolerancia al Aluminio ha sido estudiada ampliamente. Algunos investigadores sugieren que dicha tolerancia está controlada por un gene dominante con alelos múltiples (Rhue y Grogan, 1977 y otros investigadores citados por Pandey *et al.*, 1986).

Como solución a esta segunda alternativa, el Programa de Maíz y el Programa de Suelos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), iniciaron trabajos de investigación en 1978 en el C.R.I. La Libertad. Se recombinaron 33 maíces nativos que presentaron tolerancia a contenidos altos de Aluminio intercambiable en el suelo, de los cuales se seleccionaron 19 y se separaron por color de grano. En 1980 se sembraron en sendos lotes aislados para realizar selección masal estratificada en cada uno de ellos (MB.141 y MB.142). En 1984 se inició una modificación a la selección masal estratificada, intercalándose cada 5 surcos los mejores materiales básicos del C.N.I. Palmira.

En el semestre B del año 1984 se efectuaron las dos colecciones masales estratificadas sembrándose en los surcos de desespigamiento los cruzamientos obtenidos en el semestre anterior.

En 1985-A se inició la selección masal ambiental obteniéndose 4 subpoblaciones de maíz (dos de selección semestre A y dos de selección consecutiva semestre A y B).

En la actualidad se está realizando la evaluación de los diferentes ciclos de selección masal en MB.141 y MB.142.

Con el objetivo de utilizar los cruzamientos varietales obtenidos en años anteriores, con los dos MBs del C.R.I. La Libertad, se hicieron sendas mezclas balanceadas para recombinarlas en polinización controlada con mezcla de polen. Igualmente se hicieron mezclas balanceadas en los ciclos existentes de MB.141 y MB.142 para recombinación y evaluación posterior.

Con base en los resultados que se obtengan en las evaluaciones, se decidirá si se continúa con el mismo sistema de mejoramiento o se recurre a otro que permita ganancias a más corto plazo.

El Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), actualmente está trabajando en estrecha colaboración con el Programa Regional Andino de Maíz del CIMMYT sobre los siguientes aspectos:

1. Mejoramiento de algunos germoplasmas élites existentes por medio de la selección recurrente.
2. Transferir la tolerancia de Aluminio a germoplasmas élites.

El propósito de esta investigación es desarrollar poblaciones blancas y amarillas, de acuerdo a patrones heteróticos de materiales que se sepan poseen tolerancia al Aluminio y mejorar las poblaciones élites existentes para tolerancia a condiciones de suelos ácidos.

#### **BIBLIOGRAFIA**

1. AYALA, J., ARAUJO, S.M.C. de, CAGNIN, E. 1981. *Selecao de progenies de familias de meios irmaos de Composto Flint de milho (Zea mays L.) em solo acido. Cientifica, 1981, 9.1. 141-148.*
2. FOY, C.D. 1983. *Plant adaptation to mineral stress in problem soils.*

*Iowa St. J. Res.* 57: 339-354.

3. FOY, C.D. 1983. *The physiology of plant adaptation to mineral stress.* *Iowa St. J. Res.* 57: 355-391.
4. FOY, C.D. *et al.*, 1965. *Differential Al tolerance of two wheat varieties associated with plant-induced pH changes around their roots.* *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 29: 64-67.
5. HAWELER, R.H. and CADAVID, L.F. 1976. *Screening of rice cultivars for tolerance to Al toxicity in nutrient solutions as compared with a field screening method.* *Agron. J.* 68: 551-555.
6. MAGNAVACA, R. 1983. *Genetic variability and inheritance of aluminum tolerance in maize (Zea mays L.)* *Disseration Abstracts International, B*, 43. 7, 2-073 B.
7. NEENAM, M. 1960. *The effects of soil acidity on growth of cereals with reference to the differential reaction of varieties thereto.* *Plant soil* 12: 324-338.
8. PANDEY, S., GRANADOS, G. y HAAG, W. 1986. *Propuesta para un proyecto internacional de mejoramiento de germoplasma de maíz tolerante a problemas de suelos ácidos. Documento presentado en la XII Reunión de Maiceros de la Zona Andina, Quito, Ecuador, mimeografiado, 28 p.*
9. SALINAS, J. 1978. *Differential response of some cereal and bean cultivars to Al and P. stress in an Oxisol of Cental Brazil.* Ph.D. Thesis. Dept. Soil Sci. NCSU.
10. SANCHEZ, P. and SALINAS, J. 1981. *Low input technology for managing Oxisols and ultisols in tropical América.* *Adv. Agron.* 34: 279-406.

**CUADRO 1. Selección Masal Estratificada con MB,141.  
Localidad: C.R.I. La Libertad, 1984**

---

MB. 226	MB 223
MB. 26	MB 238 Sin S <sub>2</sub>
MB. 238 Sin 10 S <sub>2</sub>	MB 222 Sin S <sub>3</sub>
MB. 218	MB 224 Sin S <sub>3</sub>

---

**Poblaciones amarillas procedentes de Palmira, sembradas con MB.141 como hembras.**

**CUADRO 2. Selección Masal Estratificada en MB.142.  
Localidad: C.R.I. La Libertad, 1984**

---

MB. 230	MB.220
MB. 237 Sin S <sub>2</sub>	ICA V-258
MB. 23 Sin S <sub>2</sub>	MB.27
MB. 220 Sin S <sub>3</sub>	MB.23
MB. 227	MB.217

---

**Poblaciones blancas, procedentes de Palmira, sembradas con MB.142 como hembras.**

**CUADRO 3. Selección Masal Estratificada en 4 Subpoblaciones de maíz tolerantes a Aluminio. 1985A.**

---

1. MB. 141	Selección A	Lote aislado normal
2. MB. 142	Selección A	Lote aislado normal
3. MB. 141	Selección AE	Lote aislado con desespigamiento materiales amarillos de Palmira
4. MB. 142	Selección AB	Lote aislado con desespigamiento materiales blancos de Palmira

---

**CUADRO 4. Selección Masal Estratificada en 2 Subpoblaciones de maíz. 1985B.**

---

1. MB. 141	Selección AB	Lote aislado con desespigamiento materiales amarillos de Palmira
2. MB. 142	Selección AB	Lote aislado con desespigamiento materiales blancos de Palmira

---

**// RESULTADOS Y PROYECCIONES DE LA INVESTIGACION  
CON MAIZ DURO EN ZONAS DE ESCASA HUMEDAD DEL  
LITORAL ECUATORIANO**

**Segundo Reyes T. \***

**Daniel Alarcón C. \***

**INTRODUCCION**

En Ecuador se pueden considerar cuatro principales zonas de producción de maíz duro. La primera es la zona central del Litoral, que comprende especialmente la Provincia de Los Ríos, con una superficie cosechada en el año 1985 de 29.137 ha y un rendimiento promedio de 2.576 kg/ha; la segunda, es la Provincia del Guayas, particularmente Balzar, con una superficie cosechada de 26.915 hectáreas y una producción promedio de 2685 kg/ha; la tercera es Manabí con 55.973 ha cosechadas, de las cuales aproximadamente el 70% pertenece al área semiseca, con un rendimiento promedio de 1.361 kg/ha; y, la última es la Provincia de Loja que con 32.150 ha cosechadas y un rendimiento de 1.000 kg/ha.

---

\* *Técnicos del Programa de Maíz de la E.E. "Portoviejo" del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Ecuador.*

De estas cuatro grandes zonas de producción, las dos primeras presentan adecuadas precipitaciones que son suficientes para llenar las necesidades hídricas de las variedades comerciales de maíz que tienen ciclo vegetativo tardío. Sin embargo, en Manabí y Loja, la producción depende casi exclusivamente de las lluvias, siendo la escasez que oscila entre 350 y 450 mm y la mala distribución de las precipitaciones, uno de los principales factores para los bajos rendimientos.

Considerando esta situación, se puede notar que en el país se siembran más de 70.000 ha de maíz en áreas de bajas precipitaciones, donde las variedades tardías por tener un ciclo vegetativo largo y, consecuentemente, mayores requerimientos de humedad, la mayoría de las ocasiones presentan bajas producciones, motivo por el cual la investigación para estas zonas ha estado orientada a la obtención de genotipos precoces y con tolerancia a sequía.

### **1. Precocidad**

Tomando en cuenta las condiciones ambientales y las características económicas y técnicas, especialmente de los pequeños agricultores que siembran maíz en Manabí y Loja, se consideró prioritario la obtención de variedades precoces de polinización libre, las mismas que por su ciclo vegetativo corto en lugares de escasas o irregulares lluvias tengan mayor probabilidad de escapar a la sequía en el período de llenado de grano y presenten mayores rendimientos que las variedades tardías.

Para la consecución de este objetivo, inicialmente y durante varios años en fincas de agricultores de estas zonas secas se ha realizado la evaluación de variedades precoces e intermedias introducidas del CIMMYT, con la finalidad de determinar los genotipos más apropiados para estos ambientes.

Así, durante los años 1982, 1984, 1985 y 1986 se probaron varios materiales precoces e intermedios en localidades de baja precipitación de Manabí y Loja, cuyo promedio anual de lluvias está alrededor de los 400 mm, sobresaliendo las variedades de Suwan 8027, Satipo (1) 7931, INIAP 527, Poza Rica 7931 y Pichilingue 7931, las mismas que en el promedio de todas las localidades superaron

numéricamente en rendimiento a la variedad comercial tardía INIAP 526 (Cuadro 1).

En base a estos antecedentes, el INIAP, después de varios años de experimentación, entregó en 1986 a los agricultores de estas zonas de escasas lluvias la variedad INIAP 527 de altos rendimientos y con 20 a 25 días de mayor precocidad que otras variedades sembradas comercialmente. Esta decisión se la tomó considerando que este material se lo había mejorado en estas condiciones y de acuerdo a los resultados obtenidos en varios ensayos en Manabí y Loja donde INIAP 527 presentaba mejores rendimientos que INIAP 526 (Cuadro 2).

Del análisis de los datos del Cuadro 2, se observa que los rendimientos de INIAP 527 están relacionados con la cantidad de lluvias registrada, presentando en todas las localidades semisecas una mayor producción que INIAP 526, debido a que posiblemente su característica de precocidad le permite un mejor aprovechamiento de las reducidas precipitaciones que ocurren en un corto lapso de tiempo, escapando a la falta de lluvias que se produce en el período de llenado de grano.

## **2. Tolerancia a sequía**

En las zonas semisecas citadas las lluvias constituyen la única fuente de humedad en casi todos los predios dedicados a la siembra del maíz. Las precipitaciones además de ser escasas (400 mm) son generalmente mal distribuidas por lo que los períodos de sequía pueden ocurrir en muchos casos en la época de floración o en el llenado de grano, disminuyendo considerablemente la producción.

En las zonas anteriormente mencionadas, el maíz constituye una tradición y necesidad, siendo más conveniente tratar de obtener variedades tolerantes a la sequía antes que optar por sustituir este cultivo con otro.

Para el desarrollo de variedades tolerantes a la sequía no existe información suficiente y concreta sobre la metodología a seguirse. El Programa de Maíz de la E.E. "Portoviejo" comenzó sus trabajos sobre esta característica

CUADRO 1. Rendimientos promedios en kg/ha de algunas variedades precoces e intermedias de maíz en varias localidades de las Zonas Semisecas de Manabí y Loja durante cuatro años

VARIETADES	R E N D I M I E N T O S										$\bar{x}$
	PORTOV. 1982a	LOS AMAR. 1982a	LA SECA 1984a	SANCAN 1984a	PRTOV. 1984a	PORTOV. 1985a	PORTOV. 1986a	SANCAN 1986a	YAMANA <sup>1/</sup> 1986a	PINDAL <sup>1/</sup> 1986a	
SUWAN-8027	-	-	4.379	4.964	4.393	3.700	-	-	-	-	4.359
SATIPO (1)-7931	3.264	-	4.361	4.429	4.131	-	-	-	-	-	4.046
INIAP-527	2.625	2.213	4.522	4.659	4.064	2.876	3.879	4.830	4.996	3.896	3.856
POZA RICA-7931	3.256	-	4.848	4.337	4.578	2.967	3.702	4.159	3.558	2.975	3.809
PICHILINGUE-7931	3.217	-	4.291	4.840	4.230	2.089	-	-	-	-	3.733
INIAP-526	3.090	2.071	4.248	4.635	3.881	3.208	2.984	4.648	4.083	3.408	3.626
$\bar{x}$	3.091	2.142	4.442	4.629	4.213	2.968	3.522	4.547	4.213	3.427	

1/ Localidades pertenecientes a la Provincia de Loja.

CUADRO 2. Rendimientos promedios en kg/ha de INIAP-527 e INIAP-526 en varios ensayos realizados en la época de lluvias en Manabí y Loja durante el período 1983-1986 1/

AÑO	LOCALIDAD	PRECIPITACION	RENDIMIENTOS	
			INIAP-527	INIAP-526
1982	LOS AMARILLOS	300	2.213	2.071
1984	LA SECA	400	4.522	4.248
	SANCAN	422	4.659	4.635
	E.E. PORTOVIEJO	344	4.064	3.881
1986	SANCAN	300	4.827	4.645
	E.E. PORTOVIEJO	350	4.763	3.557
	YAMANA 2/	400	4.996	4.083
	PINDAL 2/	450	4.650	3.625
$\bar{x}$			4.337	3.843

1/ Promedio de días a floración de algunas localidades, 50 y 58 días para INIAP 527 e INIAP 526, respectivamente.

2/ Localidades pertenecientes a la Provincia de Loja.

ambiental mediante la prueba en varias localidades de baja precipitación de algunas variedades que en su evaluación preliminar habían mostrado buen potencial de rendimiento, sobresaliendo por su producción promedia en estos ambientes de relativa sequía Tuxpeño resistente a sequía y Poza Rica 8024 (Cuadro 3).

### **3. Proyecciones**

Considerando que el desarrollo de variedades mejoradas es un proceso continuo y dinámico, la proyección de la investigación sobre precocidad y sequía está orientada a la obtención de nuevas variedades que reemplacen a las que ya han sido liberadas, una vez que estas cumplan su ciclo para el cual fueron generadas.

En lo relacionado a la obtención de variedades precoces, en la actualidad se tiene generada una población precoz mediante la recombinación de algunas variedades precoces introducidas del CIMMYT con INIAP 527. A partir de esta población y mediante el método de mazorca por surco modificado, se tratará de desarrollar una nueva variedad de igual precocidad que INIAP 527 pero con mayor rendimiento.

En cuanto a tolerancia a sequía, los resultados preliminares indican el buen comportamiento de Tuxpeño resistente a sequía y variedades de la población 24 del CIMMYT.

A partir de Tuxpeño resistente a sequía C5 se obtendrán 250 líneas S1 con el fin de tener mayor uniformidad de este material en nuestras condiciones. Estas S1 serán evaluadas en diferentes presiones de humedad para seleccionar las mejores cuya recombinación generará una variedad sintética de maíz blanco con tolerancia a sequía.

En lo referente a maíces amarillos se evaluarán en condiciones naturales y bajo riego controlado en diferentes presiones de humedad las mejores variedades, entre ellas algunas pertenecientes a la población 24, para posteriormente de identificado el mejor material tratar de mejorarlo para rendimiento alto

CUADRO 3. Rendimientos promedios de algunas variedades de cuatro localidades en cuatro localidades de la Zona Semiseca durante el año 1984a.

VARIETADES	R E N D I M I E N T O S					$\bar{X}$
	LA SECA 400 mm	SANCAN 422 mm	LOS AMARILLOS 450 mm	PORTOVIEJO 344 mm		
TUXPEÑO RESISTENTE A SEQUIA	4.597	5.545	6.234	-	5.459	
POZA RICA-8024	4.711	5.207	5.674	5.038	5.158	
POBLACION AVANZADA AMARILLO CRIST.	5.636	4.409	5.730	4.505	5.070	
PICHILINGUJE-7828	4.552	4.210	6.044	5.226	5.008	
TUXPEÑO PLANTA BAJA	4.896	4.819	5.939	4.255	4.978	
FERKE (1)-7928	5.349	4.185	5.389	4.568	4.872	
POZA RICA-7931	4.849	4.238	5.789	4.578	4.864	
SUWAN-8027	4.380	4.965	5.564	4.394	4.827	
SINTETICO MEJORES LINEAS	5.192	4.162	5.731	4.024	4.778	
INIAP-527	4.522	4.659	5.514	4.064	4.690	
ACROSS-7726	4.266	4.242	5.674	4.243	4.607	
INIAP-526	4.248	4.635	5.584	3.862	4.586	
$\bar{X}$	4.764	4.607	5.739	4.435		

en condiciones adversas, tratando de obtener una variedad de maíz amarillo tolerante a sequía con buen potencial de rendimiento.

#### **BIBLIOGRAFIA**

1. **CIMMYT.** 1983. *Informe del CIMMYT 1982.* El Batán, México.
2. **FISCHER, K., JOHNSON, E. and EDMEADES, G.** 1984. *Mejoramiento Selección de Maíz Tropical para Incrementar su Resistencia a la Sequía.* CIMMYT, El Batán, México. 20 p.
3. **INIAP.** 1984. *Plan de Investigación 1984-1988.* Portoviejo, Ecuador. Estación Experimental "Portoviejo", Programa de Maíz. 36 página. (mimeografiado).
4. **MAG.** 1985. *Departamento de Estadísticas Agropecuarias.* Quito, Ecuador.
5. **MOLINA, J.** 1980. *Selección masal para resistencia a sequía en maíz.* Agrociencia, Chapingo, México. Nº 42. pp. 69-76.
6. **MUÑOZ, O., ORTIZ, J. y ANGELES, H.** 1971. *Problemas del mejoramiento de la producción bajo sequía en maíz.* IV Congreso Mexicano de Fitogenética. Esc. de Agric. Univ. de Guadalajara.
7. **PANDEY, S. et al.** 1982. *Desarrollo y mejoramiento de poblac. de maíz.* Trabajo presentado en la X Reunión de Maiceros de la Zona Andina. Santa Cruz, Bolivia, 1982.
8. **REYES, S. y ALARCON, D.** 1986. *INIAP 527, variedad precoz de maíz para zonas de menor humedad del Litoral ecuatoriano.* Boletín plegable Nº 92. INIAP.
9. **REYES, S. y ALARCON, D.** *Utilización de variedades precoces de maíz duro en zonas semisecas de Manabí y Loja, Ecuador.* Trabajo presentado en la XII Reunión de Maiceros de la Zona Andina. Quito, Ecuador, 29 sep. - 4 de oct. de 1986.

# MEJORAMIENTO PARA TOLERANCIA A FACTORES AMBIENTALES ADVERSOS

*Francisco Moreno A. \**

La designación misma del presente Seminario involucra lo que se ha llamado "Problemática del cultivo". Por tanto, haré una exposición brevísima de los factores adversos del cultivo de maíz en la Sierra del Ecuador.

## **A. Factores climáticos**

Bajas temperaturas, por lo general concomitantes con la presencia de patógenos que dañan la planta recién emergida. Discutiremos más adelante este punto.

Irregularidades en la distribución de lluvias. Incrementar los sistemas de riego.

## **B. Suelo**

(2.000 a 2.800 m de altitud).

Áreas marginales para el cultivo de maíz son aquellas que por su pronun-

---

\* *Profesional Agropecuario, Programa de Maíz, Santa Catalina, INIAP, Ecuador.*

ciada pendiente (más del 12%) presentan erosión tanto hídrica como eólica.

### **C. Manejo del cultivo**

Predomina el sistema tradicional de cultivo, lo que repercute en bajos índices de producción y productividad.

### **D. Riego y drenaje**

El cultivo de maíz aprovecha, predominantemente, las aguas lluvias. El riego es restringido por falta de asistencia técnica y medios económicos.

### **E. Germoplasma**

Cerca del 90% de las áreas maiceras son sembradas con variedades tradicionales, que, si bien cuentan con más aceptación comercial, sin embargo, son tardías. Tienen limitado rango de adaptación, son susceptibles a enfermedades y rinden poco.

### **F. Malezas**

Reconocido factor adverso cuya resultante definitiva es la disminución del rendimiento. Debemos promocionar sistemas perfeccionados de labranza y uso de herbicidas.

### **G. Enfermedades**

Pueden causar pérdidas económicas de consideración como consecuencia de pudriciones de la mazorca, vuelco por Erwinia y otras.

Debemos estudiar las correlaciones de enfermedades y nutrientes del suelo y aprovechar con más eficiencia la dotación de genes con que cuenta el maíz para conseguir resistencia.

## **H. Plagas**

El maíz amiláceo es atacado especialmente por *Elicoverpa* y *Euxesta* en planta. El grano almacenado es atacado preferentemente por el gorgojo *Paglocerus fforti*.

Los ataques de pájaros y roedores al cultivo merecen estudiarse a fondo y tomarse medidas pertinentes.

## **I. Semillas**

Se siente la urgente necesidad de promover una verdadera empresa de semillas.

## **J. Mecanización**

Se ha extendido la utilización de maquinaria agrícola en los suelos con pendientes de hasta 12% para labores de preparación.

Falta mecanizarse las otras labores y la cosecha.

## **K. Insumos**

Promover la utilización de crédito.

## **L. Mano de obra**

Problema socio-económico que debe estudiarse en toda su amplitud. Conviene reemplazar la mano de obra por trabajo mecanizado?. Es la gran pregunta.

Debo puntualizar algunos aspectos.

El agricultor deposita la semilla en una cama de suelo convenientemente preparada. La calidad de la semilla está dada por varios factores como son la integridad del pericarpio, la edad, la resistencia a enfermedades de la plántula,

el daño por heladas y el método de secado. Se comprende la necesidad de poner nuestro máximo interés en el tratamiento de la semilla a fin de que esta no resulte con daños en el pericarpio, causados, muchas veces, por las desgranadoras mecánicas. Otro paso cuidadoso debe ser el de fijar la temperatura de secado del grano (40 - 43° C). La obtención, manejo, almacenaje y comercialización de semilla conforman toda una tecnología en la que no entraremos.

Empieza entonces la vida de la planta y los primeros, y quizás principales, problemas que afronta el nuevo ser se refieren a temperatura ambiental, presencia relativa de humedad y de sustancias químicas.

### Temperatura y humedad

Una variedad específica de maíz está estrechamente relacionada con las temperaturas media, mínima y máxima, expresiones principales del clima.

El crecimiento y desarrollo normales con temperaturas relativamente bajas, supuesta la ausencia de microorganismos que pudren la semilla, se conoce convencionalmente como tolerancia al frío. Sin embargo, este mismo concepto puede involucrar además resistencia a enfermedades de la semilla y de la plántula, cuyos agentes patógenos no los hemos considerado muy seriamente y entre los que se pueden contar *Diplodia maydis*, *Gibberella zeae*, *Fusarium moniliforme* y otras más que son responsables de plántulas enfermas e incapaces de prosperar.

Uno de los problemas más serios que debe afrontar el cultivador de maíz es el ataque de insectos - plagas. Una pasta a base de Furadan (E.C.) y Arasan defiende al cultivo hasta cuando está de 10 - 12 cm de alto. Contra el gusano trozador hemos usado, con buenos resultados, el Thiodan.

Se sabe que la tolerancia al frío se manifiesta por una compleja interacción de componentes genéticos, integridad física de la semilla, presencia de patógenos, condiciones físico-químicas del suelo y otros.

En "Santa Catalina" hemos podido comprobar que existe un mecanismo genético para resistencia al frío, en base del cual, algunos años atrás, fue posible

seleccionar la población que se llamó "Compuesto Nacional Tolerante al Frío", el que se comportó además con buen rendimiento.

Los materiales genéticos tardíos disponen de una fisiología más adecuada para utilizar mejor la energía luminosa, ya que permanecen verdes por mayor tiempo en los parajes fríos de la Sierra del Ecuador, por tanto, su trabajo fotosintético encaminado a formar el producto final es más eficiente. Creemos que dentro de poblaciones como estas es posible seleccionar plantas más precoces adaptadas a grandes altitudes y con cierta tolerancia al frío.

El Cuadro 1 confirma nuestra aseveración: efectivamente, entre los rendimientos obtenidos en la localidad alta de la Estación Experimental "Santa Catalina", a 3.058 m de altitud, y los obtenidos en la localidad Oriental de la misma, a 2.800 m de altitud, hay diferencias muy claras.

CUADRO 1. Influencia de temperatura y altitud en rendimiento de maíz E.E. "Santa Catalina". 1986 - 1987. Promedios en kg/ha.

	ESTACION 3058 msnm 11 grados C	ORIENTAL 2800 msnm 14.5 grados C
<b>VARIETADES PRECOCES</b>	1848	5419
- mínimo	1282 AC-81-04	3406 Chaucho
- máximo	2974 I-130	6667 Pool 1
<b>VARIETADES TARDIAS</b>	2714	5967*
- mínimo	1322 Huand	4156 I-153
- máximo	4174 Pool 8	7339 I-180

\* Promedio de dos ensayos.

Sugerimos que se aplique la prueba de frío ideada por Rinke (1953) en la selección temprana de líneas o familias resistentes a condiciones de baja temperatura y presencia de patógenos en el suelo, salvo el mejor criterio de los profesionales que tengan más experiencia en estos problemas.

"Tolerancia a la sequía" es un término un tanto ambiguo, ya que generalmente involucra conceptos como alta temperatura, mala distribución de la lluvia y las interacciones entre estos factores.

En el CIMMYT, México, Elmer C. Johnson K, Fisher y G Edmeades sometieron al material Tuxpeño planta baja a tres niveles de humedad: normal, intermedio y bajo. Se seleccionaron 10 familias con mejor comportamiento en cada tratamiento y se formaron con cada grupo variedades experimentales en las que se trató de detectar diferencias genéticas. Según Johnson "parece ser que los genotipos seleccionados bajo tensión extrema de humedad se comportan mejor bajo condiciones limitadas de humedad en ensayos de campo. Aparentemente, lo que pasa es que la selección se encamina hacia sistemas radiculares más grandes y de rápido crecimiento, todo lo cual habrá de comprobarse en el futuro.

El Programa de la Estación Experimental "Santa Catalina" no cuenta por el momento con antecedentes experimentales sobre el tema de tolerancia a la sequía, salvo un ensayo de rendimiento realizado en Tanlahua (Mitad del Mundo) 1983-1984. En tal ensayo, llevado en un suelo franco-arenoso y un ámbito de escasas lluvias, las variedades tardías se comportan mejor a juzgar por su rendimiento. Este solo ensayo no nos autoriza a entrar en serias discusiones sobre el tema de tolerancia a la sequía. Solamente nos resta recordar que a la luz de los actuales conocimientos, la resistencia a la sequía es un carácter hereditario y que puede detectarse tempranamente por medio de la prueba de plántulas bajo condiciones controladas de cámaras de calor; lo cual se relaciona satisfactoriamente con los resultados obtenidos en plantas maduras en el campo.

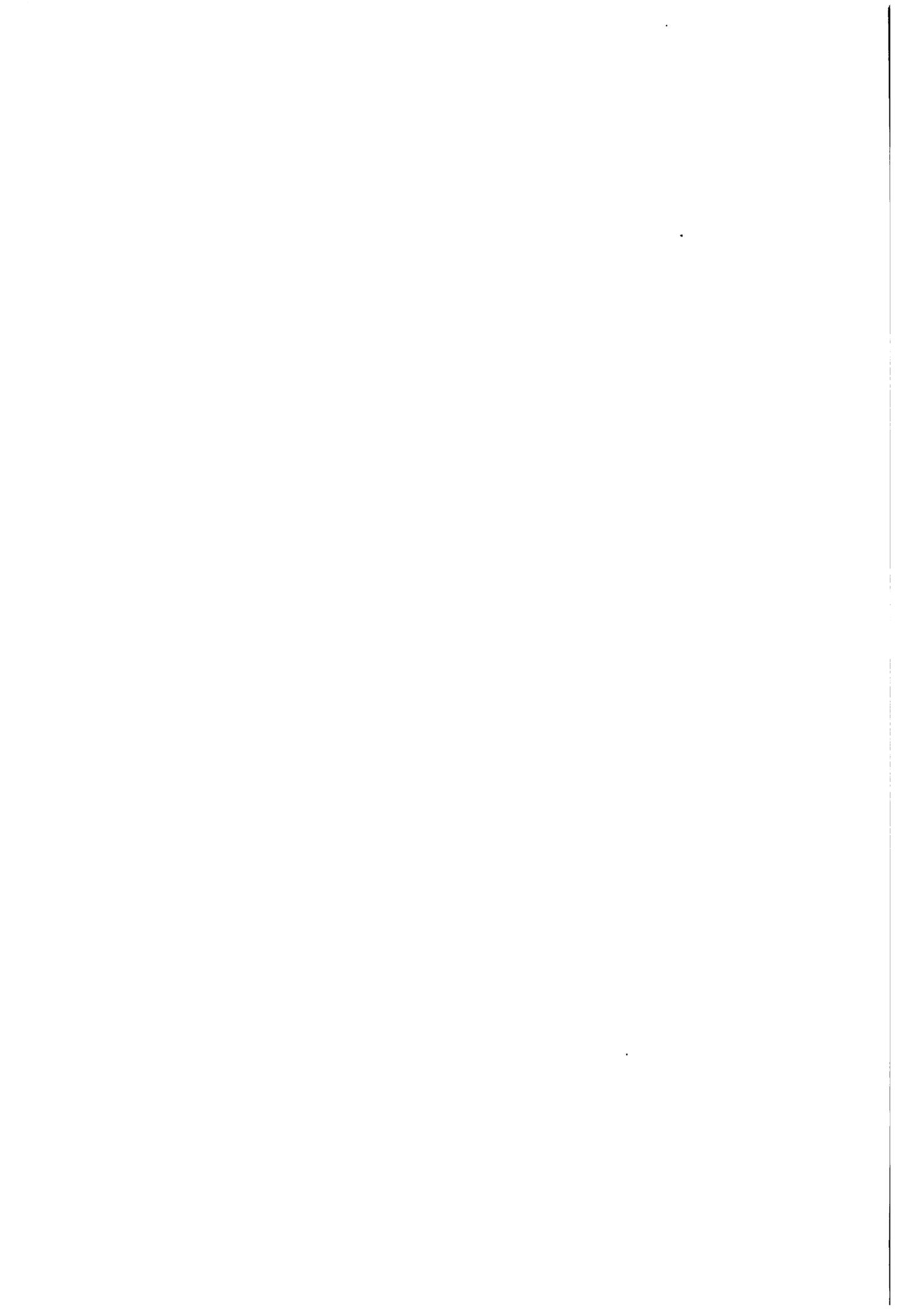
Condiciones adversas de suelo: creo que en este punto es menester que dejemos de lado el espíritu demasiado simplista con el que estamos tratando algunos problemas. Es verdad que podemos estimar el resultado fenotípico entre-

gado por una población como la suma del promedio poblacional más el componente genético, el componente ambiental y la interacción genotipo-ambiente. Pero las interacciones cobran un interés mucho mayor que el que estamos concediéndoles.

Me parece que se ha interpretado con demasiada ligereza el hecho de que nuestros suelos revelen en su análisis químico una alta riqueza de potasio. En tal virtud, se ha precomizado el uso de fertilizantes a base de nitrógeno y fósforo solamente, excluyendo al potasio. Creo que hay que insistir en la conveniencia de devolver todos los elementos extraídos del suelo por los cultivos, esto es: N, P, K, en principio, sin descuidar la necesaria presencia de materia orgánica, el pH, humedad conveniente y elementos menores.

Hemos visto una cosecha del híbrido X304C con las puntas de la mazorca desposeída de granos. El fitomejorador debe separar en casos semejantes de manera precisa el efecto medio-ambiental (insuficiencia de potasio) del efecto hereditario, para lo cual será conveniente la aplicación de fertilizantes N-P-K. Se sabe, de acuerdo a la literatura, que una fertilidad balanceada tiende a disminuir los efectos de algunas enfermedades del maíz, especialmente cuando hay poco potasio y demasiado nitrógeno las pudriciones del tallo y la presencia de *Helminthosporium* son más severas.

Según Fisher (1960) y Josephson (1962), cuando hay escasez de potasio la incidencia de acame se agrava, particularmente cuando los niveles de nitrógeno y fósforo se incrementan y el potasio permanece a niveles bajos. Y para terminar con este punto citaré la opinión emitida por Jugenheimer: "es necesario aprender mucho sobre las relaciones de los nutrientes del suelo con las enfermedades del maíz", problema que me permito pasar al Departamento de Suelos para el correspondiente esclarecimiento.



## EL CULTIVO DE MAIZ EN EL SUR ECUATORIANO

*José Eguez \**

El maíz a nivel nacional (Sierra) constituye uno de los principales cultivos y en la Provincia del Azuay existe la mayor cantidad de superficie sembrada (30.000 ha).

En las Provincias de Azuay y Cañar constituye el principal cultivo y se lo consume en diferentes formas: choclo, mote, tostado, harinas, etc.

A pesar de la importancia que tiene un rendimiento, son muy bajas por unidad de superficie, debido a múltiples circunstancias, tales como, bajas de precipitaciones y mala distribución de las mismas, suelos pobres, mala fertilización, etc.

Un gran porcentaje del área cultivada con maíz es sembrada en asociación con fréjol y otros cultivos. La mayor parte del maíz en las Provincias de Azuay y Cañar se lo cultiva en zonas templadas y frías, pero existen valles tropicales y subtropicales donde se cultiva maíz de tipo duro.

A continuación presentamos algunos cuadros en donde se especifican los rendimientos promedios por ensayo, durante algunos años:

---

\* Jefe, Programa de Maíz, Estacion Experimental Chuquipata, Cuenca, Ecuador.

CUADRO 1. Ensayo de variedades E.E. "Chuquipata"  
Cañar 1981 - 1982

VARIEDAD	DIAS A FLORACION	PLANTA	ALTURA MAZORCA	RENDIMIENTO kg/ha
Pool 1	76	2.00	1.10	4.202
Pool 3	76	2.20	1.20	5.094
Pool 5	91	2.30	1.55	5.253
Pool 6	77	1.95	1.10	5.134
Pool 7	81	2.15	1.10	6.133
Varios x Chillos	91	2.30	1.45	6.319
I-101	76	2.00	1.00	3.932
I/126	92	2.00	1.20	4.460
Testigo blanco de la zona	113	2.65	1.90	5.560

**CUADRO 2. Superficie sembrada con maíz suave seco en grano  
en algunas provincias del Ecuador.**

---

<b>PROVINCIA:</b>	<b>SUPERFICIE SEMBRADA CON MAÍZ SUAVE SECO EN GRANO</b> (En miles de hectáreas)
<b>AZUAY</b>	<b>30.0</b>
<b>PICHINCHA</b>	<b>28.7</b>
<b>IMBABURA</b>	<b>28.2</b>
<b>CHIMBORAZO</b>	<b>21.2</b>
<b>BOLIVAR</b>	<b>20.7</b>
<b>COTOPAXI</b>	<b>17.4</b>
<b>CAÑAR</b>	<b>12.3</b>
<b>LOJA</b>	<b>11.8</b>
<b>CARCHI</b>	<b>5.6</b>
<b>TUNGURAHUA</b>	<b>4.6</b>

---

CUADRO 3. AREA CULTIVADA CON MAIZ SUAVE SECO EN GRANO. 1986

PROVINCIA	AREA CULTIV. ha	MAIZ SOLO MAIZ ASOC. ha	MAIZ SOLO MAIZ ASOC. ha	TM	PRODUCCION YM/ha	RENDIMIENTO kg/ha	RENDIMIENTO qq/ha
AZUAY	30,000	7,500	22,500	16,776	0.6	609.63	13.55
CAÑAR	12,300	2,800	9,500	7,351	0.6	609.63	13.55

CUADRO 4. Superficie sembrada con algunos cultivos  
en relación al maíz en las provincias de Azuay y Cañar.

<u>CULTIVO</u>	<u>SUPERFICIE SEMBRADA</u> (En miles de ha)	
	<u>AZUAY</u>	<u>CAÑAR</u>
Maíz (seco en grano)	30.0	12.3
Papa	2.5	3.5
Trigo	2.1	1.3
Cebada	1.2	6.7
Frijol	7.9	2.6

CUADRO 5. AREA CULTIVADA CON MAIZ DURO SECO EN GRANO. 1986

PROVINCIA	AREA CULTIV. MAIZ SOLO ha	MAIZ ASOC. ha	PRODUCCION TM	RENDIMIENTO TM/ha	RENDIMIENTO kg/ha	RENDIMIENTO qq/ha
AZUAY	4,600	2,900	2,898.20	0.6	609.63	13.55
CAÑAR	5,100	4,200	2,646.80	0.5	508.02	11.29

CUADRO 6 . AREA CULTIVADA CON MAIZ SUAVE CHOCLO EN MAZORCA. 1986

PROVINCIA	AREA CULTIV. ha	MAIZ SOLO ha	MAIZ ASOC. ha	PRODUCCION TM	RENDIMIENTO TM/ha	RENDIMIENTO kg/ha	RENDIMIENTO qq/ha
AZUAY	8,200	200	8,000	16.653	1.4	1,422.47	33.61
CAÑAR	3,300	3,000	300	5.259	1.6	1,625.68	36.13

CUADRÓ 7. Precipitación anual en el Sur de Ecuador.

<u>SITIO:</u>	<u>PRECIPITACION:</u> X ANUAL mm
CUENCA, Aeropuerto	877.19
RICAURTE, LA MERCED, LA DOLOROSA	898.48
GUALACEO	723.12
CAÑAR	445.58
EL TAMBO	531.82
SANTA ISABEL	449.0

CUADRO 8 . RENDIMIENTOS: PROMEDIOS DE DIFERENTES ENSAYOS EN DISTINTOS AÑOS  
(En kg/ha)

ENSAYO	AÑO	LOCALIDAD	RENDIMIENTO: kg/ha
Variedad Experimental	/83 /84	RACAR	2,615.3
Variedad Experimental		RICAUARTE	1,270.7
Variedad Experimental		LA MERCED	3,487.0
Variedad Experimental		EECH	3,579.8
Variedad Experimental		EL TAMBO	747.2
Variedad Experimental		CHARCAY	1,385.4
Variedad Experimental		PINDILIG	1,069.4
Variedades Precoces	/84 /85	EECH	3,368.0
Variedades Precoces		GUALACEO	1,366.5
Variedades Tardías	/84 /85	EECH	4,868.2
Variedades Tardías		EL TAMBO	1,232.5
Variedades Precoces	/85 /86	RICAUARTE	2,423.7
Variedades Experimentales Precoces	/86 /87	EECH	3,665.6
Variedades Precoces	/86 /87	RICAUARTE	2,168.0
Variedades Precoces		CANAR	6,510.7
Variedades Experimentales Tardías	/86 /87	EECH	2,479.7
Variedades Tardías	/86 /87	CANAR	4,345.8
Ensayos Internacionales	/86 /87	YUNGUILLA	1,534.6
ELVT/188/D2		YUNGUILLA	2,486.6
ELVT/186/D3 ELVT/20/D4		YUNGUILLA	2,056.2

CUADRO 9. Rendimiento en t/ha de 7 variedades precoces con 15% de humedad. 1982-1983

<u>Variedades</u>	<u>E.E. Chuquipata</u> <u>Cañar</u>	<u>Susudel</u> <u>Azuay</u>
BN-04-81	6.19	3.32
Pool 1 y 2 Opaco 2	6.16	2.18
BN-03-81	5.21	2.48
Pool 3	4.43	1.63
BN-01-81	5.02	2.39
Pool 1	3.60	1.75
I-101	3.62	1.94
Total	34.23	15.69
$\bar{x}$	4.89	2.24

CUADRO 8. Rendimiento en t/ha de 7 variedades tardías con 15% de humedad. 1982-1983

<u>Variedades</u>	<u>E.E. Chuquipata</u> <u>Cañar</u>	<u>Susudel</u> <u>Azuay</u>
ADT	7.09	5.28
I-176	7.58	5.41
Pool 4	5.35	3.49
Marceño	4.85	3.05
Pool 2	4.64	1.73
I-153	5.36	3.91
BDT	4.23	1.92
Total	39.11	24.79
$\bar{x}$	5.59	3.54

## **FACTORES AMBIENTALES QUE INFLUYEN EN EL MEJORAMIENTO DEL MAÍZ EN LA SIERRA ECUATORIANA**

**Mario Caviades C. \***

El maíz en la Sierra ecuatoriana constituye uno de los cereales más importantes y es un elemento básico en la dieta alimenticia de un gran porcentaje de pequeños productores que habitan esta región, considerada de agricultura tradicional.

De un 35% a 40% de la superficie sembrada de maíz en el Ecuador se localiza en la Sierra y, en contraposición a lo que ocurre en otras regiones naturales del país, en esta, se presentan una gran diversidad de microclimas, por lo cual, tanto las variedades nativas como las mejoradas, tienen un determinado rango de adaptación, además de que la producción y productividad están sujetas a grandes variaciones de acuerdo con la temperatura, luminosidad y régimen de lluvias que predomine durante el ciclo de cultivo.

El Programa de Maíz de la Estación Experimental "Santa Catalina" del INIAP, realiza investigaciones para esta zona, buscando obtener variedades mejoradas con mayor adaptación, estabilidad y mayor productividad con base en

---

\* Ing. Agron. M.Sc. Jefe Programa Maíz. Estación Experimental "Santa Catalina"  
Apdo. 340. Quito-Ecuador.

un esquema de mejoramiento que incluye la formación de Poblaciones de Apoyo (Pooles Genéticos), Poblaciones Avanzadas (IPTT) y Variedades Experimentales (Convenio INIAP-CIMMYT). Estas Poblaciones y Variedades han sido formadas, seleccionadas y evaluadas de acuerdo a su comportamiento agronómico en tres localidades en la Estación Experimental "Santa Catalina" y a través de diferentes localidades de la Sierra del Ecuador.

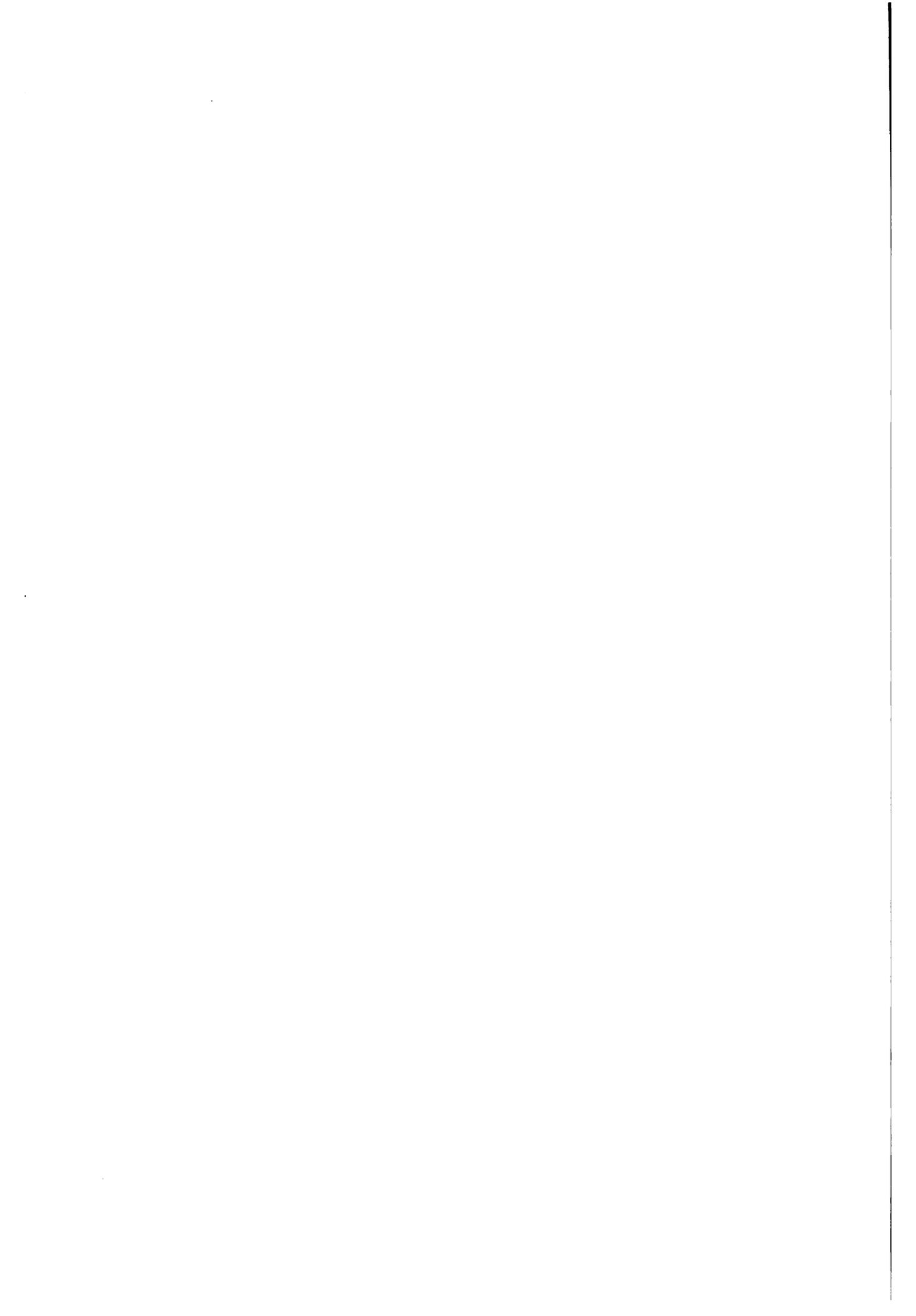
En "Santa Catalina", la localidad 1, ubicada a una altura de 3058 m, presenta un promedio anual de temperatura y precipitación de 11.5 grados C y 1343 mm respectivamente, con presencia ocasional de heladas en los meses de octubre y noviembre. La localidad 2 está ubicada a 2950 m con promedios anuales de temperatura y precipitación de 12.5 grados C y 1200 mm; y, la localidad 3 presenta una altitud de 2800 m con un promedio anual de temperatura y precipitación de 14.3 grados C y 1648 mm. En estas dos últimas localidades no se presentan heladas sino más bien ocasionales granizadas durante el ciclo de cultivo.

Los trabajos de mejoramiento genético realizados en la Estación Experimental "Santa Catalina" (3 localidades) han permitido desarrollar 8 Poblaciones de Apoyo que tienen características definidas en cuanto a precocidad, rendimiento color y textura de grano; además se han generado alrededor de 45 variedades experimentales, de las cuales 3 han sido liberadas y se encuentran en distribución comercial. Por otra parte, 3 variedades promisorias serán entregadas en el ciclo 1987-1988.

Si se considera el comportamiento de los diferentes materiales experimentales en las tres localidades de "Santa Catalina" se puede notar que estos presentan diferentes respuestas. Es así como en la localidad 1, tanto las Poblaciones de Apoyo con las Variedades tienen un promedio de días a la floración femenina de 109 días y su período vegetativo promedio es de 227 días y en las localidades 2 y 3 los promedios de días a la floración femenina son de 128 y 156 días y el período vegetativo es de 245 y 270 días para Poblaciones de Apoyo y Variedades, respectivamente.

Esta selección y evaluación realizada bajo diferentes condiciones medioam-

bientales ha permitido desarrollar variedades mejoradas que poseen mayor adaptación, estabilidad y rendimiento, por lo cual, se ha incrementado la producción y productividad del cultivo de maíz en la Sierra ecuatoriana.



**LOGROS DE LA INVESTIGACION Y FACTORES LIMITANTES DE LA  
PRODUCCION DE MAIZ EN LA ZONA CENTRAL DEL  
LITORAL ECUATORIANO**

**Santiago Crespo Orellana \***

**RESUMEN**

Entre los diversos cultivos que se realizan en la Zona Central del Litoral ecuatoriano, el maíz es de gran importancia socio-económica, existiendo en esta área una precipitación promedia anual que va desde los 1800 a 2000 mm y una agricultura bastante tecnificada. Variedades e híbridos mejorados por el Programa de Maíz de la Estación Experimental "Pichilingue" del INIAP con un ciclo vegetativo-reproductivo de 120 días e híbridos extranjeros son utilizados por los diferentes tipos de agricultores asentados en esta zona que es ocupada durante la época lluviosa en más del 90% con la siembra de maíz. Antes que por factores ambientales, la producción de esta gramínea es limitada por factores de índole económico, por el elevado costo de los insumos y sobre todo por la fluctuante política de comercialización. Existiendo también insectos plagas que al no ser oportunamente controlados, en algún grado reducen la producción, y enfermedades foliares de poca importancia económica.

---

\* Jefe del Programa de Maíz, E.E. "Pichilingue". Apto. 24. Quevedo-Ecuador.

## INTRODUCCION

La Región Litoral o Costa está ubicada en la parte Oeste de la Cordillera de los Andes que cruza al Ecuador en dirección Norte-Sur. Siendo una planicie de 73.000 km<sup>2</sup>, con topografía muy homogénea pero con condiciones climáticas variantes desde trópico seco a trópico húmedo. Presenta una agricultura más tecnificada que las existentes en las otras regiones del país, sus suelos son considerados como buenos, siendo esta región de gran potencial agrícola.

Entre los diferentes cultivos que se siembran en el Litoral ecuatoriano, el maíz ocupa gran importancia socio-económica generando trabajo a pequeños, medianos y grandes agricultores, que de acuerdo a sus posibilidades le dan diferente manejo al cultivo. Existiendo una heterogénea clientela que utiliza variedades o híbridos nacionales o extranjeros mejorados para las condiciones agroclimáticas de la región.

La Estación Experimental "Pichilingue" está ubicada en la Zona Central del Litoral ecuatoriano, que comprende el área de las poblaciones de Buena Fe, Quevedo, Valencia, San Carlos, Calabí, Zapotal, Ventanas y El Empalme <sup>1/</sup>. Presenta suelos que pertenecen al orden Insectisoles y al gran grupo Eutrandedpt.

La Investigación que realiza el Programa de Maíz de la Estación "Pichilingue" está encaminada a la obtención de genotipos de maíz de endosperma tipo duro amarillo, con gran potencial de rendimiento. Por lo que, acorde con sus posibilidades, partiendo de cultivares con amplia base genética nacionales o procedentes del CIMMYT u otros centros internacionales, realiza el mejoramiento de esta gramínea, ya sea formando familias y/o líneas que permitan obtener variedades o híbridos con buena adaptabilidad a las diferentes condiciones medio ambientales del Litoral ecuatoriano.

---

1/ *Boletín Divulgativo N° 66. Programa de Oleaginosas de Ciclo Corto. E.E. "Bolliche". 1974.*

Siendo en la Zona Central las mejores fechas de siembra de maíz entre la última semana de diciembre y el 30 de enero y desde la segunda semana de mayo hasta el 15 de junio. Teniendo generalmente los maíces mejorados un ciclo de siembra a cosecha de 120 días.

### **LOGROS OBTENIDOS**

Luego de algunos ciclos de pruebas de evaluación de un compuesto inter-varietal del cruce de cinco variedades con la variedad mejorada sintética-2, el Programa de Maíz de la E.E. Tropical Pichilingue puso a disposición de los agricultores del Litoral ecuatoriano la variedad de grano amarillo INIAP-515.

Posteriormente se seleccionó siete cultivares promisorios, con los que se formó un compuesto varietal de grano blanco y se entregó a los agricultores con el nombre de variedad Pichilingue-513.

De un grupo de líneas de porte bajo, procedentes del cruce de la variedad PD(MS)6 x VS-2, se tomó un número igual de granos que luego de mezclarlos físicamente se los sembró por dos ocasiones en un lote aislado a libre polinización; originando así la variedad llamada Pichilingue-504.

Después, con un compuesto de familias de hermanos completos, con germoplasma procedente del Caribe, México, Centroamérica y Brasil es formada una variedad de grano duro denominada INIAP-526.

A partir del año 1978 con variedades recibidas del CIMMYT se inicia la formación de familias de hermanos completos mediante cruzamientos p a p intravarietales y su posterior recombinación, así, en base a los resultados de la prueba de evaluación de las familias generadas de las variedades San Andrés-7528, Santa Rosa-7624, Ferke-7526, Suwan 1-4 e INIAP-515; se seleccionó las mejores familias de cada variedad con las que se hizo 250 híbridos interfamiliares.

Luego de posteriores pruebas de evaluación, se seleccionó el híbrido prove-

niente del cruce de la Fam. 5 x Fam. 23 (San Andrés-7528 x INIAP-515), el que fue evaluado a nivel experimental y semi-comercial, habiendo sido entregado a los agricultores del Litoral ecuatoriano en la época lluviosa de 1985 con el nombre de INIAP-H-550.

## FACTORES LIMITANTES DE LA PRODUCCION DE MAIZ EN EL LITORAL ECUATORIANO

Los pequeños agricultores se ven limitados en la producción de maíz debido, entre otros factores, a los escasos recursos económicos, la poca disponibilidad de tierra, la dificultad a los accesos al crédito, el escaso uso de fertilizantes y pesticidas, la siembra de variedades no mejoradas, el inadecuado manejo de sus tierras y la escasa asistencia técnica. En cambio los medianos y grandes agricultores tienen como limitantes de la producción el inadecuado manejo de los insumos y los préstamos adquiridos y, sobre todo, la fluctuante política de precios y comercialización.

Entre los factores edáficos se anotan la lenta erosión hídrica de los suelos, coadyuvada por el excesivo manejo de los suelos y la reducida fertilidad.

Entre los factores bióticos de incidencia sobre la producción de maíz en el Litoral ecuatoriano está la presencia de insectos plagas tales como el "gusano cogollero", *Spodoptera fungiperda*; el "barrenador del tallo", *Diatraea spp.*; el "falso medidor", *Mocis latipes*, y como plagas secundarias se encuentra al "gusano elotero o de la mazorca", *Heliothis spp.*; gusanos "trozadores o cortadores", *Agrotis spp.* y *Feltia spp.*

Aunque no son de marcada importancia económica, frecuentemente están presentes las enfermedades como la Mancha Foliar por *Curvularia*, *Curvularia lunata*; Tizón foliar por *Maydis*, *Helminthosporium maydis*; Roya por *Polysora*, *Puccinia polysora* y la Mancha de Asfalto, *Phyllachora maydis*; presentándose esporádicamente algunas enfermedades del tallo sobre todo durante la época de mayor precipitación o en lugares más húmedos.

CUADRO 1. Factores climáticos promedios registrados los años 1980-82, 1984-86 en la Estación Experimental "Pichilingue"

MESES	PRECIPITACION X/MENSUAL (mm)	HORAS LUZ DIARIA X/MENSUAL	TEMP. DIARIA X/MENSUAL	TEMPERATURA DIARIA X/MES	
				Min.	Max.
ENE	340.8	2.38	24.8	21.6	30.2
FEB	411.5	3.21	25.0	21.8	30.7
MAR	329.3	3.34	25.5	22.1	31.1
ABR	271.2	3.17	25.3	22.3	31.0
MAY	59.6	2.31	24.6	21.3	29.8
JUN	13.2	1.71	23.6	20.5	28.6
JUL	3.2	1.53	23.0	19.6	27.9
AGT	2.6	2.34	23.2	19.6	29.0
SEP	13.7	2.75	24.1	20.3	30.3
OCT	35.8	1.84	24.2	20.6	30.0
NOV	85.2	2.06	24.6	21.0	30.4
DIC	269.7	2.07	25.0	21.5	30.5
TOTAL	1.835,8				

FUENTE: Estación Meteorológica 1º Orden. INAMI. Pichilingue.

CUADRO 2. Influencia de la fecha de siembra en el rendimiento y otros caracteres del maíz INIAP H-550. E.E. Pichilingue. Epoca lluviosa 1986

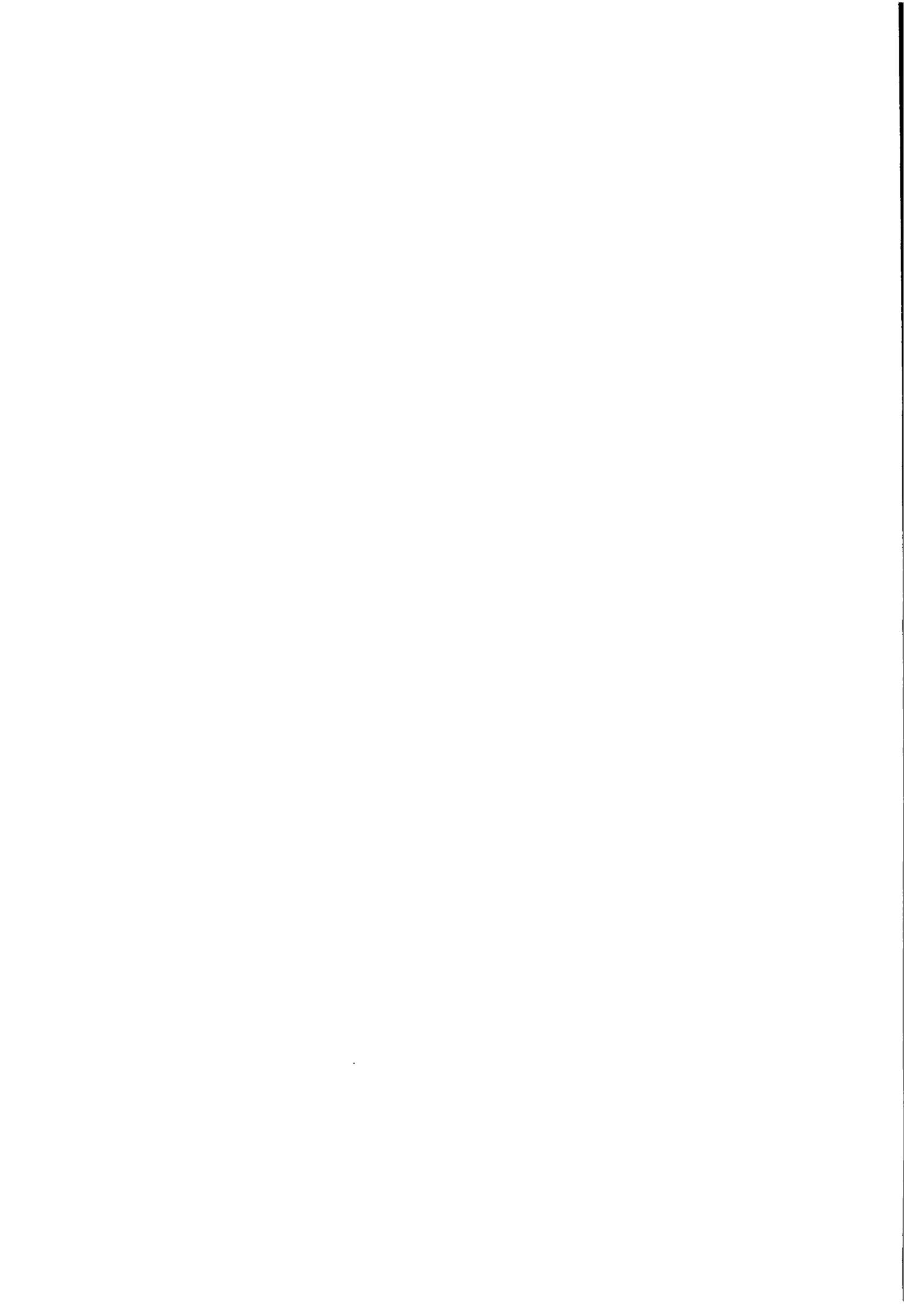
FECHA DE SIEMBRA	% MAZORCAS MAL POLINIZADAS	% MAZORCAS CON PUDRICION	RENDIMIENTO (kg/ha)
DIC. 30/85	1,8	2,5	8.275
ENE. 15/86	3,5	4,4	5.771
ENE. 30/86	4,7	11,5	3.420
FEB. 15/86	6,3	13,6	1.898
MAR. 2/86	9,5	10,3	1.532

FUENTE: Informe Técnico Anual 1986. Departamento de Suelos y Fertilizantes E. E. "Pichilingue".

CUADRO 3. Comportamiento de maíces tropicales en un Valle Subtropical seco "YUNGUILLA" durante la época lluviosa de 1987 a/

CULTIVARES	DIAS A FLOR	REND. kg/ha 14% H	FECHA DE SIEMBRA
INIAP H-550	62	5.806,9	DIC. 18/86
PICHILINGUE-513	66	6.042,8	DIC. 18/86
PICHILINGUE-504	62	4.915,0	DIC. 18/86
INIAP-526	64	5.720,0	DIC. 18/86
INIAP-515	64	5.710,0	DIC. 18/86
TESTIGO (ROCAMEX)	84	2.431,0	DIC. 18/86

a/ Trabajo conducido por el Ing. José Eguez, Programa Maíz, E.E. "Chuquipata" Provincia del Azuay.



# PROBLEMAS AMBIENTALES PARA EL CULTIVO DEL MAIZ EN VENEZUELA

✓  
*Víctor Segovia S. \**

*Samuel Cabrera \*\**

## INTRODUCCION

El maíz en Venezuela es un cultivo de alto valor estratégico, debido a su distribución geográfica, el papel que desempeña en la alimentación humana y animal y el valor del producto territorial bruto representado por la producción de 500.000 ha de maíz. Esto representó para 1983 un aporte porcentual al PTB del sector agrícola vegetal de 9.75%, lo que significa a precios corrientes de 1986 165.000.000 de dólares americanos.

A partir de 1960, se inicia el proceso de producción moderna de maíz en Venezuela; en general se han detectado los siguientes problemas de naturaleza ambiental en el cultivo de maíz en Venezuela. En la zona de los Llanos Centro-Occidentales y en la de los Llanos Centrales, se presentan problemas de déficit

---

\* FONAIAP-CENIAP, Apartado 4653, Maracay 2101-Venezuela.

\*\* FONAIAP-PORTUGUESA, Ap. 102, Acarigua 3301-A Venezuela.

de oxígeno por mal drenaje de los suelos (tanto interno como superficial).

En la zona de Yaracuy Medio y las zonas de Colinas de Guárico hay problemas de erosión y pérdida del Horizonte A.

La zona de los Llanos Orientales y la Zona Sur del país, han presentado problemas de acidez, toxicidad de Aluminio y déficit de macro y microelementos. Toda la zona de los Llanos Centrales presentan en alguna medida déficit hídrico en alguna etapa del ciclo del cultivo.

El Programa Nacional de Maíz en Venezuela, desarrolla un Proyecto Cooperativo para la obtención de germoplasmas adecuados para estas zonas particulares, además en cooperación con Colombia, Perú y Ecuador se implementa un proyecto cuyo objetivo es la obtención de cultivares de maíz tolerantes al exceso de agua en el suelo.

## **SUPERFICIE COSECHADA, PRODUCCION Y RENDIMIENTOS UNITARIOS.**

### **PERIODO 1960 - 1986**

En los cuadros 1 y 2 se presenta la situación de la superficie cosechada, la producción, el rendimiento y la localización de la producción en el período comprendido entre 1960 y 1986. Analizando los cuadros mencionados, observamos que la superficie cosechada disminuyó en el período considerado en 85.389 ha; sin embargo, si analizamos por quinquenios, podemos observar lo siguiente: en el período comprendido entre 1960 y 1963 la superficie cosechada experimentó un aumento de 7.16%, si consideramos a 1960 como año base. Para ese mismo período, el crecimiento interanual mayor fue el del año 1962 con 24.3%. Entre 1964 y 1968 la superficie cosechada tuvo tendencia a crecer, siendo mejor el año 1968 con una cifra de 625.337 ha, lo que representa un incremento de 54.71% con respecto al año base. Por otra parte, en ese mismo período, el incremento interanual más alto resultó ser el del año 1967 con un valor de 31.95%. En el período comprendido entre 1969 y 1973, la tendencia fue a incrementarse en la superficie. El año 1969 fue el mejor si lo comparamos con el año base (1960), pues se alcanzó la cifra de 641.053 ha, lo que representa un incremento

CUADRO 1. MAIZ. Superficie cosechada, producción y rendimientos unitarios. Período 1960 - 1986

AÑO	SUPERFICIE COSECHADA (ha)	PRODUCCION (T)	RENDIMIENTO (kg/ha)
1960	398.200	439.490	1.104
1961	388.720	419.508	1.079
1962	483.256	540.475	1.118
1963	426.710	430.163	1.008
1964	443.040	475.000	1.072
1965	461.784	521.000	1.128
1966	466.893	557.470	1.194
1967	616.075	633.372	1.028
1968	626.337	660.786	1.055
1969	641.053	670.304	1.046
1970	558.120	709.915	1.272
1971	587.702	713.486	1.214
1972	465.062	506.316	1.089
1973	438.918	454.423	1.035
1974	462.383	553.761	1.198
1975	506.151	653.412	1.291
1976	342.569	471.424	1.218
1977	491.140	774.419	1.561
1978	413.522	591.364	1.430
1979	408.860	612.473	1.498
1980	394.224	575.400	1.460
1981	311.661	452.220	1.451
1882	304.995	500.960	1.643
1983	310.208	487.838	1.573
1984	312.811	547.072	1.749
1985	465.696	868.431	1.861
1986	650.095	1.172.772	1.804
Tasa de crecimiento	0.96%	+0,88/	+1,86%

FUENTE: MAC. Anuario Estadístico Agropecuario 1960 - 1984

CUADRO 2. MAIZ. Localización de la producción. 1960, 1970 y 1980

Federal	1960		1970		1980			
	Producción	%	Federal	Producción	%	Federal	Producción	%
Portuguesa	57.290	12,75	Portuguesa	150.171	21,15	Portuguesa	121.976	21,19
Zulia	48.109	10,70	Yaracuy	85.280	12,01	Yaracuy	96.807	16,82
Guárico	30.118	6,70	Guárico	64.664	9,10	Guárico	78.570	13,65
Anzoategui	30.110	6,70	Carabobo	41.749	5,88	Bolívar	56.262	9,77
Carabobo	29.796	6,60	Anzoategui	34.111	4,80	Anzoategui	36.483	6,34
Trujillo	25.842	5,75	Falcón	33.974	4,78	Barinas	34.075	5,92
Lara	23.537	5,10	Sucre	32.335	4,55	Carabobo	22.774	3,95
Monagas	23.319	5,20	Aragua	30.439	4,28	Apure	22.241	3,86
Falcón	22.859	5,10	Barinas	28.714	4,04	Lara	20.411	3,54
Sucre	21.843	4,90	Zulia	28.463	4,01	Aragua	14.582	2,53
Otros	102.933	22,90	Otros	180.015	25,35	Otros	71.219	12,37

de 60.98%. Entre tanto, en ese mismo período se presentaron variaciones interanuales negativas; tal es el caso del año 1972 donde se registró un valor de 20.86%.

En el período 1974 - 1978 se incrementó la superficie cosechada hasta 496.140 ha en 1977, lo que representa 24.59% más que el año base. Entre tanto, se presentaron variaciones interanuales negativas para el año 1977. El quinquenio 1979 - 1983 tuvo tendencia negativa la superficie cosechada, ubicándose para 1983 en 310.208 ha, lo que representa 22.1% menos que la superficie sembrada en el año base (1960). La variación interanual en ese período fue siempre negativa y en el año 1981 se presentó una variación interanual de 20.94%.

La tasa de crecimiento en el período 1960 - 1984, fue de 0.96%.

La situación de la producción y los rendimientos unitarios se presentan en los cuadros 1 y 2, la producción pasó de 439.490 TM en 1960 a 547.071 TM en 1984; lo que representa un incremento relativo del 24.47%. En ese período la tasa de crecimiento interanual, resultó ser de +0.88%. La mayor variación interanual se registró en el año 1977, cuando se produjeron 774.419 TM, lo que representa un valor de +85.52. Al mismo tiempo, se presentaron variaciones interanuales negativas de -29.03% en 1972 y de -21.40% en 1981.

Los rendimientos unitarios experimentaron tendencia a incrementarse desde 1.104% en 1960 hasta 1.749% en 1984, lo que representa una tasa de crecimiento interanual de 1.86%.

En el Cuadro 2 se presenta la localización de la producción en los años 1960, 1970 y 1980; en el mismo, se puede observar que en 1960 los Edos. Portuguesa, Zulia y Guárico concentraban el 30.15% de la producción; para 1970 los Edos. Portuguesa, Yaracuy y Guárico concentraban el 42.26% de la producción; y para 1980 los Edos. Portuguesa, Yaracuy, Guárico y Bolívar concentraban el 61.43% de la producción.

## **SITUACION ACTUAL DE LA PRODUCCION DE MAIZ**

El Plan Operativo del MAC estableció como metas para el año de 1987, la producción de 1.200.000 TM de maíz, distribuidas de la siguiente manera: 350.050 TM en el Edo. Guárico; 300.000 TM en el Edo. Portuguesa; 140.000 TM en el Edo. Barinas; 120.000 TM en el Edo. Yaracuy; 100.000 TM en el Edo. Monagas; 100.000 TM en el Edo. Bolívar; y, 90.000 TM en el Edo. Anzoategui. Así mismo se contempla la producción de 17.000.000 de kilogramos de semilla para cubrir la superficie a sembrar para el año 1988.

Cada una de estas zonas presenta una problemática diferente, lo cual será señalado en el ítem siguiente.

### **PROBLEMAS DE LAS ZONAS DE PRODUCCION**

#### **1. Zona Centro-Occidental**

Esta zona comprende los Estados Barinas, Cojedes, Portuguesa y Yaracuy. El área comprendida entre los tres primeros Estados se caracteriza por suelos planos de pendiente muy baja, de textura variable entre arcillosa, arcillo-limosa, alta capacidad de retención de humedad, mal drenaje interno y superficial, concentración de la precipitación durante el ciclo de cultivo. Todo esto constituye una problemática para la producción de maíz en esa zona. Se han detectado pérdidas del 30% de la producción por efecto del mal drenaje. Igualmente, en estos Estados anteriores y en Yaracuy Medio se están presentando problemas de compactación del suelo, erosión y pérdida del Horizonte A por mal manejo de los suelos.

#### **2. Zona de Llano Centrales**

Esta zona está formada por los Estados Apure y Guárico; en la misma se han detectado, en el Edo. Apure problemas de mal drenaje de los suelos y en el Edo. Guárico déficit hídrico, erosión y pérdida del Horizonte A, en algunas áreas se han detectado problemas de toxicidad de Aluminio y deficiencia de

**Fósforo.**

El 30% de esta zona está afectada por problemas de acidez; esto lógicamente representa limitaciones para la producción de maíz y aunado a esto podríamos señalar que la mayoría de estos suelos ácidos se han originado por procesos de lavado de Bases intercambiables, por lo que se presenta deficiencia de Calcio y Magnesio con nutrientes.

De igual manera, el déficit hídrico representa un factor determinante en esta zona, puesto que en algunos años sequías de más de tres semanas de duración afectan al rendimiento.

### **3. Zona Llanos Orientales**

La misma está integrada por los Estados Anzoátegui y Monagas. Se caracteriza por poseer suelos arenosos, topografía plana, bajo nivel de macro y microelementos y algunas zonas con problemas de acidez por Aluminio intercambiable.

Es de particular importancia el problema de la erosión eólica por la falta de una cobertura vegetal apropiada.

Los costos de producción en esta zona se van incrementando significativamente por el uso de enmiendas (encalados, aplicación de micronutrientes, etc.).

### **4. Zona Sur**

Está integrada por los Estados Bolívar y el Territorio Federal Amazonas; sin embargo, la mayor producción de maíz, se concentra en el primero de los mencionados.

Los problemas ambientales que se han encontrado en esta zona son:

déficit de macro y micronutrientes, acidez por Aluminio intercambiable, alta nubosidad y alta humedad relativa.

La germinación prematura del grano del maíz, ha originado pérdidas millonarias en esta zona; en este sentido, podemos indicar que para 1983 este problema afecta una superficie de 20.000 ha.

## **ESTRATEGIAS PARA RESOLVER LOS PROBLEMAS**

### **1. Investigación básica - resultados**

El Programa Nacional de Investigación en Maíz ha desarrollado conjuntamente con el Departamento de Nutrición Mineral del CENIAP, Universidad Central de Venezuela y el Departamento de Biología de Organismos de la Universidad Simón Bolívar, una serie de investigaciones en el área de Fisiología de Planta, Química de Suelos y Agrometeorología, cuyos resultados se presentan a continuación:

#### **a. Problemas de drenaje y déficit de oxígeno en el suelo**

El efecto del déficit de oxígeno en el suelo sobre el desarrollo del maíz, fue estudiado en condiciones de invernadero. Se fraccionó el sistema radicular en tres porciones: basal, media y terminal. A cada una de estas porciones se le aplicó agua hasta la total saturación para lograr déficit de oxígeno (D) o hasta capacidad de campo para lograr oxigenación normal.

Los resultados fueron los siguientes: la producción de materia seca por el follaje fue drásticamente afectada por el déficit de oxígeno y se redujo a 53% con la condición D-D-D, 38% con O-D-D y en 19% con O-O-D.

El área foliar se redujo al disminuir la tasa de difusión de oxígeno (TDO) con la situación D-D-D.

La concentración de Potasio fue la más afectada por la aireación inadecuada, seguida por el Fósforo, Nitrógeno, Calcio y Magnesio (Rodríguez B. 1986).

**b. Problemas de déficit hídrico**

Se está evaluando las respuestas de algunos cultivares de maíz tropical a condiciones de sequía, utilizando para ello un criterio fisiológico. Para lograr este objetivo, se estudió la influencia de la sequía durante el período vegetativo sobre la producción de área foliar, el rendimiento y sus componentes. Se encontró una disminución del área foliar en 40% y de 70% en el rendimiento y ambos parámetros se relacionaron linealmente.

Siendo el suplemento de agua determinante de rendimiento en maíz, se consideró importante evaluar métodos rápidos indirectos para detectar el déficit hídrico en la planta. La potencialidad de usar el grado de enrollamiento foliar del maíz como indicador del déficit hídrico, se estudió en planta creciendo en el invernadero, se encontró que el enrollamiento se incrementó desde 0 (no enrolladas) hasta 5 (completamente enrolladas), cuando el potencial hídrico de la planta cambió desde -1 hasta -1.8 M Pa. Igualmente el grado de enrollamiento se incrementó con la disminución del turgor, la conductancia estomática y la transpiración (Sobrado M., 1987).

**c. Problemas de Aluminio intercambiable y acidez de los suelos**

Se está trabajando en la evolución de líneas tolerantes a la toxicidad de Aluminio en suelos ácidos. Las plantas de maíz son sometidas a 5 niveles de Aluminio intercambiable en el suelo (0, 0.5; 1; 2; 4 meg/Al/100 grs.). Se mide los siguientes parámetros: peso seco de la raíz (PSR), peso seco del follaje (PSF), acumulación de Calcio, Magnesio, Fósforo y Aluminio en la raíz y en el follaje.

Se encontró que el peso seco del follaje solo fue afectado a altos niveles de Aluminio intercambiable en el suelo, mientras que el peso seco de raíz disminuyó gradualmente a medida que se aumentaba el nivel de Aluminio. La acumulación de Aluminio fue mayor en las raíces que en el follaje. Se encontró una relación altamente negativa de la acumulación de Calcio y Magnesio, tanto en el follaje como en la raíz con niveles altos de Aluminio intercambiable en el suelo (Dunia F., 1983).

En estudios de Agrología y Nutrición Mineral se ha determinado que el 30% del Territorio Nacional tiene como limitante la baja fertilidad y/o acidez de los suelos, concentrándose en los Llanos Centrales, Orientales y en el Sur del país. Dentro de este 30%, 87% posee fuertes limitaciones de fertilidad y acidez, esto implica el uso de enmiendas y aplicaciones moderadamente altas de fertilización para la mayoría de los cultivos actuales del país (Comerma y Paredes, 1977).

## **2. Programa de Mejoramiento Genético - Resultados**

Se ha implementado un programa de desarrollo de germoplasma de maíz, con miras a la obtención de variedades e híbridos de maíz que reúnan dentro de sus características, la tolerancia al déficit de oxígeno (caso Llanos Centro-Occidentales), tolerancia a acidez y Aluminio intercambiable (caso Llanos Centrales y Orientales).

A continuación se presentan los resultados de estas investigaciones:

### **a. Desarrollo de cultivares de maíz tolerantes al exceso de agua en el suelo**

Este trabajo se inició en el año 1982 con la introducción de 333 juegos de familias de medios hermanos de la variedad LA POSTA; las mismas fueron sometidas a un programa de selección recurrente a través de familias de hermanos completos. En la actualidad se disponen de tres variedades experimentales conjuntamente con los programas nacionales de Colombia, Ecuador y Perú se está desarrollando un programa tendiente

a la obtención de germoplasma de maíz, tolerante al déficit de oxígeno en el suelo.

En los cuadros 3, 4 y 5 se presentan los resultados de esta investigación (Cabrera S. y Morillo, 1986).

**b. Desarrollo de cultivares de maíz tolerantes a la condición de suelos ácidos y alta nubosidad**

Este trabajo se inició en el año 1983, específicamente en la zona de producción del Edo. Bolívar, con miras a la obtención de germoplasma de maíz, tolerante a la germinación prematura del grano del maíz.

Los resultados de esta investigación se presentan en los cuadros 7, 8 y 9 (Segovia C., Bejarano A., San Vicente F., 1984).

### **3. Desarrollo de tecnologías**

El Programa Nacional de Investigación en Maíz, conjuntamente con el Comité de Fomento Regional del Maíz (FOREMAIZ), ha desarrollado un conjunto de tecnologías aplicables a las condiciones de mal drenaje del suelo, labranza, acidez, etc.

A continuación se presentan algunas de las alternativas para resolver estos problemas:

#### **3.1. Sistemas mejoradores del drenaje superficial**

En este sentido, se desarrolló la práctica de siembra del maíz en camellones más zanjillos y la siembra en bancales (camellones anchos). Se compararon las ventajas y desventajas de ambos sistemas, con respecto a la siembra en bancales, se investigó durante muchos años en el campo experimental de Agua Blanca-Portuguesa, en superficies comerciales de 14 ha, los diferentes anchos del bancal, estudiándose anchuras de 32, 37, 45, 52 y 57 metros en relación a la precipitación caída durante

**CUADRO 3. Ensayo de rendimiento entre variedades experimentales de maíz**

Localidad: Agua Blanca-Portuguesa

Ciclo de lluvias: año 1985

---

TRATAMIENTOS	DESCRIPCION	RENDIMIENTO EN kg/ha 14% HUMEDAD
1	V. Exp. Agua Blanca-85	3.551
2	V. Exp. Apure-85	2.985
3	V. Exp. Agua Blanca-Apure-85	3.346
4	V. Foremaíz-2 PB	1.854
5	H. Arichuna	2.654
6	H. Baraure	3.034
7	H. FM-6	2.429
8	H. Proseca-71	2.839
9	H. Obregón	1.366
10	V. La Máquina CEC-83	2.166

---

**CUADRO 4. Ensayo de rendimiento entre variedades experimentales de maíz**

**Localidad: Agua Blanca Edo. Portuguesa**

**Ciclo de lluvias: año 1986**

---

<b>TRATAMIENTOS</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>RENDIMIENTO EN</b>
		<b>kg/ha 14% HUMEDAD</b>
1	V. Exp. Agua Blanca-85	4.747
2	V. Exp. Apure-85	5.024
3	V. Exp. Agua Blanca-Apure-85	5.508
4	V. Foremaíz-2 PB	4.816
5	H. Arichuna	4.494
6	H. Baraure	5.449
7	H. FM-6	4.282
8	H. Proseca-71	4.707
9	H. CENIAP PB-8	5.132
10	V. La Máquina Guarabao-79	4.075

---

**CUADRO 5. Ensayo de rendimiento entre variedades experimentales de maíz**

**Localidad: La Rinconada Edo. Apure**

**Ciclo de lluvias: Año 1986**

<b>TRATAMIENTOS</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>RENDIMIENTO EN kg/ha 14% HUMEDAD</b>
1	Var. Exp. Agua Blanca-85	4.477
2	Var. Exp. Apure-85	2.651
3	Var. Exp. Agua Blanca-Apure-85	3.747
4	Var. Foremaíz-2 PB	2.281
5	H. Arichuna	2.591
6	H. Baraure	2.748
7	H. FM-6	2.771
8	H. Proseca-71	4.057
9	H. CENIAP PB-8	2.455
10	V. La Máquina Guarabao-79	2.712

CUADRO 6. Precipitación Año 1985

Localidad: Agua Blanca-Portuguesa

MES	MAXIMA mm	MINIMA mm	TOTAL MES mm	TOTAL DIAS CON LLUVIA	PROMED. MENSUAL mm
Enero	0	0	0	0	0
Febrero	0.8	0	0.8	1	0.03
Marzo	1.8	1.4	4.8	3	0.2
Abril	41.1	0.4	86.0	9	2.9
Mayo	38.8	0.2	169.9	19	5.5
Junio	43.6	0.2	247.0	23	8.2
Julio	45.2	0.2	234.9	20	7.6
Agosto	30.3	0.2	160.1	22	5.2
Sept.	31.9	0.2	82.8	14	2.8
Octubre	69.7	0.3	217.5	13	7.0
Nov.	27.8	0.2	97.1	12	3.2
Dic.	18.7	0.5	32.8	5	1.1
TOTAL			1.333.7		

PRECIPITACION AÑO 1986

Enero	2.5	0	2.5	1	00.08
Febrero	14.0	0.3	15.2	3	0.5
Marzo	9.9	0.8	16.4	3	0.5
Abril	27.3	0.2	51.9	7	1.7
Mayo	49.4	0.2	261.4	17	8.4
Junio	48.2	0.2	359.0	25	12.0
Julio	98.2	0.2	259.7	21	8.4
Agosto	39.5	0.2	234.0	19	17.5
Sept.	74.9	0.2	362.7	19	12.1
Oct.	38.5	0.2	252.2	16	8.1
Nov.	106.1	0.4	320.2	10	10.1
Dic.	24.9	1.7	51.8	4	1.7
TOTAL			2187 mm		

CUADRO 7. Rendimiento promedio (kg/ha) y porcentaje promedio de mazorcas pre-germinadas

Localidad: San Francisco - Bolívar

TRAT. NUM.	NOMBRE	PROM. PROD.	% PROM. MAZ.PREG.
5	V. La Máquina EPA-81	6527	11.2
13	V. Compuesto Intervarietal 68	6330	8.8
7	V. Suwan-1 Guarabao-79	6272	7.1
4	V. Tuxpeño-1 R.C. Maracay-80	6036	8.2
6	V. Foremaíz-2 Guarabao-79	5996	6.3
11	V. Sintético Tuxpeño	5918	8.6
9	V. Maíz de Falcón	5911	5.8
3	V. Tuxpeño Crema P.B.	5877	8.6
10	V. S.A.-11	5484	10.8
8	V. CENIAP-DMR	5426	6.4
12	V. Compuesto intervarieta 68	5296	5.2
2	V. Compuesto Duro-77	4981	10.9
1	V. ET0-PB	4749	8.1
14	V. TUNAPUY-CIX	4432	11.0

PROM. GENERAL = 5660

COEFICIENTE DE VARIACION = 4.114%

**CUADRO 8. Prueba de Duncan para los valores transformados del porcentaje de mazorcas pregerminadas**

<b>PEDIGREE</b>	<b>PROM. TRAT.</b>
V. La Máquina EPA-81	19.470 a*
V. Tunapuy CIX	18.950 ab
V. Compuesto Duro-77	18.530 ab
V. Compuesto Intervarietal 68-2	16.865 ab
V. Sintético Tuxpeño	16.860 ab
V. SA-11	16.665 ab
V. ET0-PB	16.458 ab
V. Tuxpeño-1 R.C. Maracay-80	16.388 ab
V. Suwan-1 Guarabao-79	15.363 ab
V. Tuxpeño Crema P.B.	14.570 ab
V. Foremaíz-2 Guarabao-79	14.190 ab
V. CENIAP-DMR	14.060 ab
V. Compuesto Intervarietal 68-1	11.035 ab
V. Maíz de Falcón	9.950 b

\* Las medias identificadas con la misma letra no son significativamente diferentes al nivel del 5% de probabilidad.

CUADRO 9. Rendimiento promedio (kg/ha) y porcentaje de mazorcas pregerminadas.

Localidad: La Paragua - Bolívar.

TRAT. NUM.	NOMBRE	PROM.PROD.	% PROM.MAZ.PREG.
8	H. CENIAP EXP-81	8143	25.5
14	H. Tocarón-127	8064	24.8
16	H. Prosevenca-101	7748	12.2
13	H. Tamanaco	7719	25.1
7	H. CENIAP EXP-69	7572	8.2
6	H. CENIAP-P-B-34	7487	6.8
4	H. CENIAP EXP.26	7464	10.1
3	H. Obregón (T-3)	7378	24.8
10	V. La Máquina-EPA-81	7287	9.6
2	V. Simeto (T-2)	7071	17.5
1	V. Venezuela-1 (T-1)	7037	3.1
9	H. CENIAP-P-B. 84	6851	18.1
12	V. Suwan-1 Guarabao-79	6513	14.2
5	H. CENIAP EXP. 28	6349	24.5
15	H. Prosevenca-8	6019	13.7
11	V. Foremaíz-2 Guarabao-79	5712	10.3

PROM. GENERAL = 7151

COEFICIENTE DE VARIACION = 13.209%



el ciclo del cultivo y durante el año.

Con los resultados obtenidos se recomendó a nivel de las siembras comerciales de los agricultores de la zona, construir sus bancales con un ancho de 45 metros, los cuales son los más eficientes en cuanto a la eliminación de excedentes de agua, tanto como para años secos (1.200 mm) como para años lluviosos (1.800 - 2.000 mm) (FOREMAIZ, 1973).

### 3.2 Encalado

Con la meta de corregir la acidez y pobreza nutricional, se ha recurrido a la aplicación de enmiendas calcáreas.

En tal sentido, en el Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias (FONAIAP) se estableció un instructivo que permite al Laboratorio de Suelos hacer recomendaciones de cal para elevar el pH del suelo a 5.5. De esta manera se pueden corregir los factores adversos al crecimiento de los cultivos que se manifiesten por debajo de este pH.

Debido a la gran variabilidad que presentan los suelos ácidos, en cuanto al contenido de Calcio y Aluminio intercambiable, es recomendable evaluar el análisis completo del suelo antes de proceder a las aplicaciones de dicho instructivo (Rojas I., 1986).

Se presenta en el Cuadro N<sup>o</sup> 11 el instructivo correspondiente.

### 3.3. Manejo de suelos

Se ha generado un conjunto de metodologías de labranza para la conservación de suelos, los cuales tienen como objetivo, disminuir la pérdida de suelos (específicamente Horizonte A), evitar la compactación y uso de implementos inadecuados, rompimiento de los pisos de implementos. En tal sentido, se disponen de las siguientes tecnologías:

a. Siembra de maíz con mínima labranza.

CUADRO 11. Criterios preliminares para recomendaciones de Cal de uso agrícola

TEXTURA DEL SUELO	NIVELES DEL pH		
	Menor de 4,5	4,5 - 5,0	5,0 - 5,4
Arenoso-Franco-Arenoso	1.000	500	300
Franco-Arenoso-Arcilloso-Arenoso	2.500	1.500	1.000
Franco-Arenoso-Franco-Arcilloso-Limoso	4.500	3.500	2.500

\* Ajustar las cantidades de cal agrícola sobre la base de los contenidos de carbonato de calcio equivalente del material.

b. Labranza de los suelos con los implementos convencionales.

### **BIBLIOGRAFIA**

1. **CABRERA, S. y MORILLO, F. 1986. Resultados preliminares de la obtención de variedades experimentales tolerantes a los excesos de humedad en el suelo. Estación Experimental Portuguesa, 1986.**
2. **DUNIA, F. 1983. Comportamiento de 7 líneas de maíz en condiciones de suelos con niveles crecientes de Aluminio intercambiable. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Tesis de Grado, 83 p.**
3. **FOREMAIZ. Informe Anual 1973. Mimeografiado sn/e.**
4. **RODRIGUEZ, B. 1986. Efectos del déficit de oxígeno en el medio de enraizamiento sobre el desarrollo del maíz. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía. Tesis MS 96 p.**
5. **ROJAS, I. 1980. Determinación de la naturaleza de la acidez en suelos representativos de Venezuela y su influencia en los requerimientos de cal. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía. Tesis MS 87 p.**
6. **SEGOVIA, V., BEJARANO, A. y SAN VICENTE, F. 1985. Resultados preliminares de la investigación sobre germinación prematura del grano del maíz en las zonas de producción del Edo. Bolívar. Agronomía Tropical. Vol. 35 (1.6).**
7. **SOBRADO, M. 1987. Un caso de estudio: interrelación maíz - sequía-fisiología en el ambiente tropical. Universidad Simón Bolívar. Trabajo de Ascenso. 112 p.**

**EVALUACION GENERAL DEL SEMINARIO**  
**MEJORAMIENTO PARA TOLERANCIA A FACTORES AMBIENTALES**  
**ADVERSOS EN EL CULTIVO DE MAIZ**

Santa Catalina, Ecuador  
Septiembre, 1987

*B. Ramakrishna \**

**DESARROLLO GENERAL DEL SEMINARIO**

El Seminario se había programado originalmente para ser realizado en la Estación Experimental de Portoviejo en Ecuador, con el propósito de que los participantes observaran el cultivo de maíz bajo condiciones de trópico seco, los avances logrados por el INIAP para superar estas condiciones adversas. Por razones de fuerza mayor, el evento se realizó en la Estación Experimental Santa Catalina, en la Sierra ecuatoriana.

El Programa del Seminario centró sus objetivos para tratar los factores ambientales más adversos reinantes en la Subregión Andina: "Stress" para suelos

---

\* *Especialista Internacional en Transferencia de Tecnología y Comunicación IICA-PROCIANDINO.*

ácidos y toxicidad de aluminio, sequía, exceso de humedad, condiciones de helada y granizo; y, el stress para escasez de nitrógeno en suelos. Por lo que se puede observar que la temática enfocó a los problemas comunes más sentidos entre los países de la Subregión.

Los resultados del apoyo de investigación del CIMMYT en el área de Mejoramiento para la sequía y alta temperatura y el stress para nitrógeno; la experiencia de Brazil en suelos ácidos y toxicidad al aluminio; y, las experiencias del Perú en condiciones de frío (helada) y los avances de Venezuela en el manejo del cultivo bajo las condiciones de exceso de humedad formaron las esencias.

Estas presentaciones fueron apoyadas por los informes de cada país sobre sus problemas y perspectivas fundamentales del seminario, solo que debe reconocer que el evento, no brindó como hubiera sido apropiado, la oportunidad para que los participantes observaran la incidencia de algunos factores adversos en el campo en el país donde se realizó el evento.

La identificación de los problemas por país, y el grado de afectación e incidencias en los rendimientos se orientó a determinar estrategias y acciones conjuntas para superar los factores adversos que afectan el cultivo de maíz.

## **EVALUACION DE LOS PARTICIPANTES**

Los 19 participantes en el Seminario (8 internacionales y 11 nacionales) respondieron un cuestionario para evaluar las actividades de: Gestiones administrativas, facilidades locales durante el evento, desarrollo del mismo, actuación de los especialistas nacionales e internacionales y los aspectos de transferencia de tecnología.

A la información obtenida se le asigna calificaciones con un máximo de 100 puntos, basándose en las siguientes categorías:

- a) EXCELENTE = 91 - 100 puntos
- b) MUY BUENO = 81 - 90 puntos
- c) BUENO = 71 - 80 puntos y
- d) REGULAR = 61 - 70 puntos.

Para el análisis de los aspectos relacionados con la transferencia de tecnología (preguntas abiertas), se procesó la información de manera que las frecuencias de conceptos destacarán el orden de prioridad con su respectivo porcentaje relativo.

El siguiente cuadro resume la calificación dada por los participantes:

<b>Factor de evaluación</b>	<b>Calificación</b>	<b>Categoría</b>
<b>GESTION ADMINISTRATIVA</b>	79	<b>BUENO</b>
Institución Nacional	80	
Coordinador General del evento	70	
Coordinador Internacional	83	
IICA en el país sede de los participantes	80	
Sede Central del PROCINDINO	84	
<b>FACILIDADES LOCALES DURANTE EL EVENTO</b>	82	<b>MUY BUENO</b>
Alojamiento y alimentación	84	
Salones de trabajo	79	
<b>DESARROLLO DEL EVENTO</b>	85	<b>MUY BUENO</b>
Programa y contenido del evento	88	
Cumplimiento del programa	93	
Actividades fuera del aula	68	
Calidad del material de apoyo	85	
Grado de participación de los asistentes	79	
Calidad de conclusiones y recomendaciones	94	
<b>ACTUACION DE LOS ESPECIALISTAS</b>		
<b>NACIONALES E INTERNACIONALES</b>	88	<b>MUY BUENO</b>
Trabajos presentados por especialistas del país sede	78	

Trabajos presentados por especialistas nacionales de otros países	88	
Trabajos presentados por los profesores especialistas invitados		
CIMMYT 1	91	
CIMMYT 2	91	
PERU	87	
BRAZIL	92	
 CALIFICACION GLOBAL DEL SEMINARIO	 85	 MUY BUENO

### **Gestiones administrativas**

Las gestiones realizadas por las entidades nacionales, las Oficinas del IICA en cada país, la Sede Central del PROCIANDINO, Coordinador Internacional y el Coordinador General del Evento, se califican como Buenas. Se destaca la actuación del PROCIANDINO y el Coordinador Internacional como Muy Buena. Las gestiones del Coordinador General del evento se califican como Regular.

### **Facilidades locales durante el evento**

El alojamiento y alimentación, y el salón de trabajo fueron calificados como Muy Buenos. El ambiente físico de las instalaciones en donde se desarrollaron las actividades se consideraron adecuadas.

### **Desarrollo del Evento**

Se califican de Muy Buena, por lo general, las conclusiones y recomendaciones y el cumplimiento del programa fueron calificados como excelentes. El Programa y el contenido del Seminario y la calidad del material de apoyo se han considerado Muy Buenas. Los participantes expresan insatisfacción por las actividades realizadas fuera del aula. Es de esperar que los participantes de otros países tengan oportunidad de observar e intercambiar experiencias locales en cuanto a la temática

del Seminario. Por lo tanto se puede considerar importante que los seminarios tengan actividades fuera del aula, que logren en la medida de lo posible una experiencia directa en el campo. Esto además permitirá evaluar el potencial local de un país en cuanto a la tecnología disponible.

### **Actuación de los especialistas nacionales e internacionales**

Los participantes califican de excelentes los trabajos presentados por los especialistas internacionales. Se destacan los especialistas invitados del CIMMYT y del EMBRAPA-Brasil. Los trabajos (informes) presentados por los especialistas nacionales de los países Bolivia, Colombia, Perú y Venezuela logran una calificación de Muy Buena. Sin embargo, los trabajos del país en donde se realizó el evento, obtienen una calificación de Buena. Es importante que los coordinadores nacionales donde realizan el evento, hagan un esfuerzo para coordinar y colaborar en la preparación de los informes técnicos que se presentarán en los eventos tal como en el presente.

### **Aspectos de transferencia de tecnología entre los países**

El espíritu y los objetivos fundamentales de los seminarios del PROCIANDINO radican en promover acciones que inciten un intercambio de experiencias y, más específicamente, una objetiva evaluación de la potencialidad de la tecnología disponible en la Subregión sobre el tema o aspectos del Seminario.

Los participantes del Seminario opinaron sobre las tres preguntas abiertas planteadas: a) Cuáles son los componentes tecnológicos que más destacaron en el evento?; b) Qué tecnología puede ser transferida a su país?; y, c) Cuáles son las acciones de seguimiento que deben realizarse?.

- a) El Seminario se destacó, según los participantes, en tres aspectos fundamentales: Obtención de materiales resistentes a los factores

adversos (100%), aspectos metodológicos innovativos para la investigación para superar las condiciones adversas (43%), y por último a las posibilidades de intercambio de material genético entre los países (16%).

Todos los participantes expresan que la obtención de los materiales tolerantes a la sequía, alta temperatura, stress de nitrógeno, temperatura fría (helada), toxicidad del aluminio y exceso de agua, según los participantes, provendrán principalmente del CIMMYT y para la toxicidad del aluminio del Brasil, exceso de humedad de Venezuela y luego para el frío desde Perú.

El Seminario sirvió para exponerse los aspectos metodológicos innovadores para combatir los factores adversos que afectan al cultivo de maíz en la Subregión. El 42% de los participantes expresaron que, las metodologías de investigación presentadas consistieron en: La aplicación de fisiología vegetal en la selección de genotipos; atacar los problemas mediante equipos multidisciplinarios, técnicas de laboratorio para identificar genotipos resistentes, desarrollar métodos apropiados por cada país en zonas con factores adversos, etc.

- b) En cuanto a "la tecnología que podrá ser objeto de transferencia a su país", los participantes opinaron en forma casi similar a la pregunta anteriormente analizada. Sin embargo, las respuestas precisan más específicamente los aspectos de interés.

El aspecto más destacado por los participantes (84%) es la de intercambio de transferencia de germoplasma y variedades tolerantes a los factores adversos participantes indican al CIMMYT para la sequía, stress para nitrógeno y los países para el intercambio de materiales avanzados en los países de la Subregión. En efecto, las recomendaciones del Seminario identifican claramente por país cuál tiene el potencial en cada caso, en ciertos casos señalan los países que pueden iniciar este proceso de intercambio.

El Seminario ha contribuido, indudablemente, a la mejor comprensión de los aspectos metodológicos no solo de tipo mejoramiento genético, sino también combinar estos avances con los aspectos fisiológico, climatológico, suelo y, hasta cierto punto, las necesidades de comprender el cultivo de maíz dentro de un contexto del sistema de producción en cada país. El 68% de los participantes opinan que se puede transferir los aspectos metodológicos de investigación para superar los factores adversos.

Las técnicas o métodos señalados son criterios fisiológicos sincronizados de polinización, selección de genotipos para stress de N, acidez de suelo, y los factores del ambiente adversos en general, zonificación de variedades, metodologías para buscar resistencia a los factores antes mencionados, técnicas y criterios para identificar resistencia a los factores adversos, pruebas tempranas para detectar tolerancia al frío, etc.

Los participantes (26%) señalaron la necesidad de difundir estas metodologías y técnicas para contribuir a superar los factores adversos y divulgar sobre material genético y variedades disponibles en los países que tienen mejor potencial para combatir los factores adversos.

- c) En relación a la pregunta, cuáles son las acciones de seguimiento que deben realizarse?, los participantes manifestaron: Intercambiar el material genético tolerante a los factores adversos tratados en el Seminario (63%), investigación y ensayos dentro de un marco cooperativo (47%) y el intercambio y difusión de las publicaciones sobre las técnicas de investigación y las variedades mejoradas o resistentes a los factores adversos (42%).

En primer lugar, es el deseo de los participantes fortalecer los compromisos bilaterales o multilaterales de intercambiar el material genético, en donde el apoyo del CIMMYT sería decisivo. En segundo lugar, expresan una necesidad de establecer ensayos y

pruebas de observaciones de tipo (fisiológico - climatológico-suelos) interdisciplinarios, cooperativas regionales para evaluar materiales genéticos y variedades mejoradas de la Subregión y del material que cuenta el CIMMYT. En tercer lugar, identificaron acciones de intercambiar publicaciones, adiestramiento a los investigadores y extensionistas para divulgar las nuevas técnicas y materiales disponibles en la Subregión.

### COMENTARIOS SOBRE LAS CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las recomendaciones generadas en el evento indudablemente tienen alcances muy profundos, no solo en términos de acuerdos puntuales para intercambiar materiales genéticos, compartir las experiencias metodológicas y técnicas de mejoramiento, y el intercambio de publicaciones entre los países, sino también generar acciones cooperativas entre los países para fomentar la investigación en el cultivo de maíz, tan vital para la Subregión. Si se logra intercambiar materiales tal como persiguen las recomendaciones y diseñan y ejecutan desde ya los ensayos conjuntos, bajo la orientación y apoyo del CIMMYT, sería un paso determinante en el logro de los objetivos del Programa.

**INTERVENCION DEL ING. VICTOR SEGOVIA, EN REPRESENTACION  
DE LOS PARTICIPANTES, EN EL ACTO DE CLAUSURA**

Me han pedido que represente a los participantes de este evento de manera de agradecer todo el apoyo tanto de orden logístico como de sensibilidad humana que ha representado para nosotros el poder participar en esta reunión, donde los científicos de calidad internacional nos dieron conferencias magistrales sobre los problemas que afectan a la región; también los compañeros de los diferentes países presentaron los problemas que atraviezan y aquejan al cultivo de maíz de la zona. En estos días esto ha servido para sentar el espíritu de cooperación horizontal que siempre hemos tenido en esta región. Ha servido también para testificar la necesidad de la relación en los proyectos que permitan el aumento de la producción y productividad del maíz y, concomitantemente, permitan una mejor calidad de vida en nuestros pueblos.

Vaya pues para el IICA, para el INIAP, el CIMMYT, para el personal de apoyo y secretariado de esta estación, y para los compañeros participantes, nuestro más cordial agradecimiento y esperamos nos podamos ver en próximas reuniones, no para reseñar los problemas que tenemos, sino para reseñar nuestros éxitos en los proyectos que coadyuvan a mejorar, como dije, la calidad de vida de nuestros pueblos.

**SEÑORES MUCHAS GRACIAS.**

**CONFERENCISTAS INVITADOS AL SEMINARIO 1.2.6**

<u>Nombre</u>	<u>Institución</u>	<u>Dirección</u>
Dr. Jorge Bolaños Abaunza	CIMMYT-México Investigador Agrícola	Lisboa 27, Apartado 6641 México DF. 06600 Tlf: 761-3311 Tlx: 1772023 CIMTME
Dr. Bronson (Ron) Knapp	CIMMYT, Zona Andina Especialista en Pro <u>ducción</u> de Maíz	CIAT Apartado aéreo 67-13 Cali, Colombia Tlf: 67-50-50 Tlx: 5769 CIAT CO
Dra. Renée Lafitte	CIMMYT-México Fisióloga/Agrónoma	Lisboa 27, 06600 México, DF MEXICO Apart. postal 6-641 Tlf: (595)42-100 ext. 2106 Tlx: 1772023 CIMTME
Ing. Mauricio A. Lopes	CNPMS/EMBRAPA Mejoramiento de Maíz	CNPMS/EMBRAPA Cx Postal 151 35700 ME BR Tlf: (031) 9215644 9215431 9215673 Tlx: (031) 2099 EBPA BR
Dr. Federico Scheuch H.	PROCIANDINO-INIAA Coordinador Interna- cional Subprograma II Maíz	Apartado 248 Lima 100, Perú o/y Apartado 5969 Lima 100, Perú Tlf: 361352/320510 Tlx: 25672 PE o/y 25194 NC PE
Ing. Ricardo Sevilla P.	Universidad Nacional Agraria "La Molina" Profesor Principal	La Molina Apartado 456 Lima, Perú Tlf: 352035

**PARTICIPANTES EN EL SEMINARIO 1.2.6**

<u>Nombre</u>	<u>Institución</u>	<u>Dirección</u>
<b>Bolivia</b>		
Ing. Rosario Torrico	Universidad Mayor de San Simón Jefe Departamento Fitotecnia, Fac. de Agronomía	Cochabamba, Bolivia Apart. postal 992 Tlf: 23406
<b>Colombia</b>		
Ing. Pedro Pablo Eraso	ICA-Sección Maíz Ing: Agrónomo	CRI "Obonuco" Apart. postal 339 Pasto - Nariño Colombia Tlf: 3532
Ing. Arnoldo Trujillo	ICA - Programa de Maíz Asistente Técnico	CNI - Palmira ICA Apartado Aéreo 233 Palmira, Valle del Cauca, Colombia
<b>Ecuador</b>		
Ing. Francisco Alarcón	INIAP Programa de Maíz Investigador Agro- pecuario	Estación Experimental Portoviejo Apartado 100 Portoviejo, Ecuador Tlf: 652600/652317
Ing. Marco Burbano	INIAP Profesional Agrope- cuario	Estación Experimental Pichilingue Apartado 24 Quevedo, Ecuador Tlf: 750966
Ing. César Cáceres	MAG Asistente Dirección Técnica de Cereales	Av. Amazonas y Eloy Alfaro, Quito, Ecuador Tlf: 527663
Ing. Mario Caviedes	INIAP Jefe Programa de Maíz	Estación Experimental Santa Catalina Apartado 340 Panamericana Sur km 18

<u>Nombre</u>	<u>Institución</u>	<u>Dirección</u>
		Quito, Ecuador Tlf: 629691/629692 Tlx: 2532 INIAP ED
Ing. Juan Córdova	INIAP Profesional Agropecuario, Departamento de Suelos y Fertilizantes	Estación Experimental Santa Catalina Apartado 340 Panamer. Sur km 18 Quito, Ecuador Tlf: 629691 Tlx: 2532 INIAP ED
Ing. Santiago Crespo	INIAP Jefe del Programa de Maíz	Estación Experimental Pichilingue Apartado 24 Quevedo, Ecuador Tlf: 750966
Ing. José Egüez	INIAP Jefe Programa de Maíz	Estación Experimental Chuquíputa Apartado 554 Cuenca, Ecuador Tlf: 821988/814173
Ing. José Enríquez	MAG-PROTECA Extensionistas	ASA-SANGOLQUI Dirección Provincial Agropecuaria Pichincha Tlf: 313146 (Of.) 249433 (Dom.)
Ing. Mario Galarza	INIAP Coordinador Nacional Programa Maíz	Estación Experimental Santa Catalina Apart. 340/2600 Panamericana Sur Km 18 Quito, Ecuador Tlf: 629691 Tlx: 2532 INIAP ED
Ing. Víctor García	MAG-PROTECA Extensionista	ASA-CAHUASQUI Apartado 672 Ibarra, Ecuador Tlf: 950293
Dra. Tania Miño	Doctora en Genética	La Floresta

<u>Nombre</u>	<u>Institución</u>	<u>Dirección</u>
Ing. Francisco Moreno	INIAP Profesional Agropecuario, Programa de Maíz	Estación Experimental Santa Catalina Apart. postal 340 Panamericana Sur km 18 Quito, Ecuador Tlf: 629691/629692 Tlx: 2532 INIAP ED
Ing. Segundo Reyes	INIAP Jefe Programa de Maíz	Estación Experimental Portoviejo Apartado 100 Portoviejo, Ecuador Tlf: 652600/652317
Sr. Wilson Zapata	Universidad Central del Ecuador Facultad de Ciencias Agrícolas (estudiante) (oyente)	Quito, Ecuador Tlf: 611213 (Dom.)
<b>Perú</b>		
Ing. Miguel Baandiarán	INIAA Director Programa Nacional de Maíz	Granja Baños del Inca s/n Cajamarca, Perú Tlf: 7 Baños del Inca Tlx: 2519 NC PERU
Ing. José Millones	INIPA Especialista en Maíz CIPAY-ANCASH	Jr. Bolívar 791 Huaraz - Ancash Perú Tlf: 721999-Huaraz
Ing. Juan J. Morán	INIPA Investigador Agrario	Estación Experimental del Chira Av. Cayetano Heredia 402 Castilla Piura, Perú Tlf: 324531
<b>Venezuela</b>		
Ing. Félix San Vicente	FONAIAP	Zona Universitaria

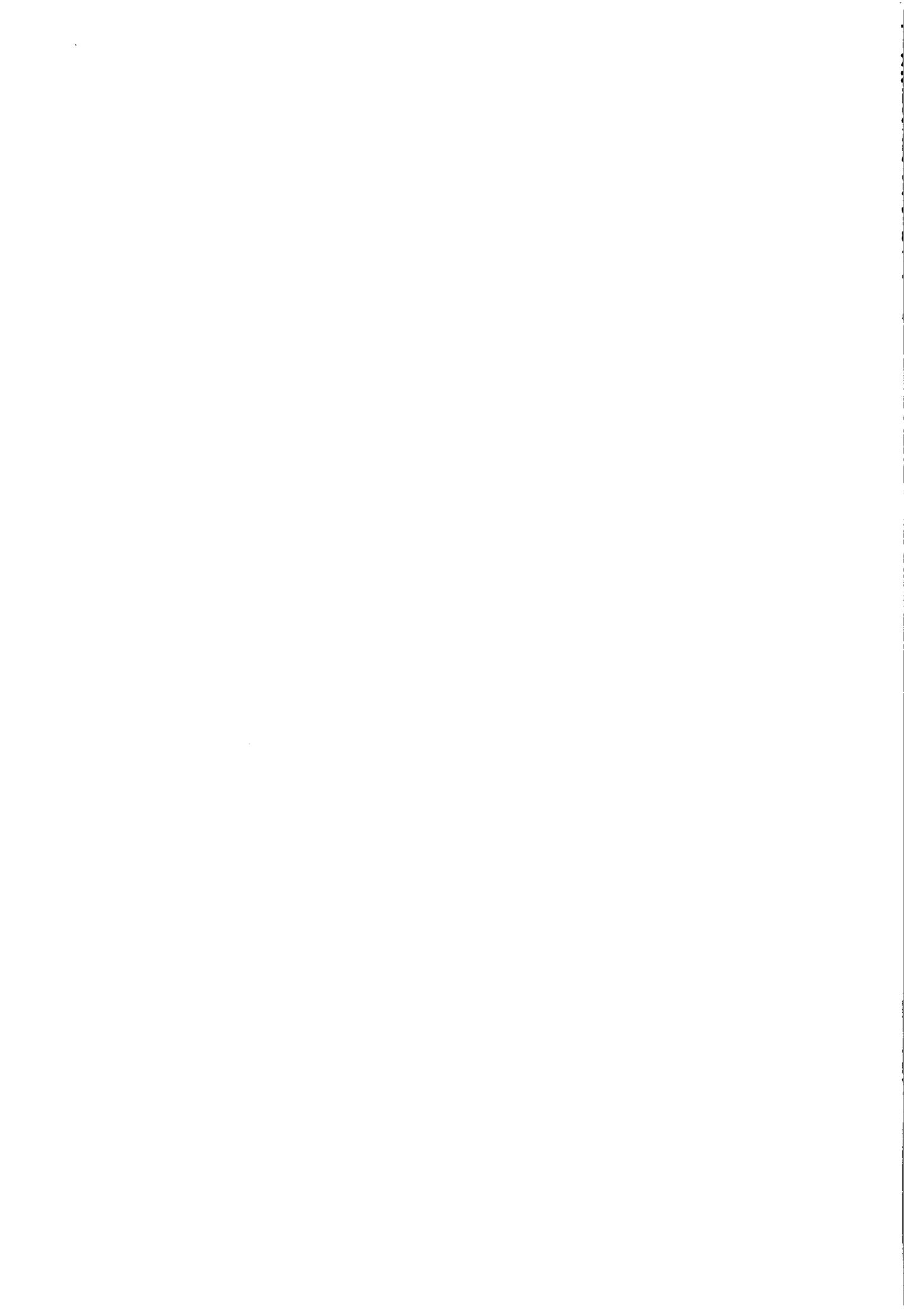
<u>Nombre</u>	<u>Institución</u>	<u>Dirección</u>
	Miembro del equipo de Mejoramiento Genético de Maíz	Edf. 08, Vía El Limón Maracay Apartado postal 4653 Maracay 2101, Venezuela. Tlf: 043-453075/452491. Tlx: 48277 SIRCA VC
Ing. Víctor Segovia	FONAIAP-CENIAP Investigador II	Apart. postal 4653 Maracay 2101, Venezuela Tlf: 043-330070 Tlx: SIRCA VC 48277

**INVITADOS**

Dr. Hernán Caballero	IICA-Ecuador Especialista en Investigación Agropecuaria	Av. Mariana de Jesús 147 y La Pradera Apart. postal 201-A Quito, Ecuador Tlf: 543146/234395 Tlx: 2837-IICA-ED
Dr. Víctor Palma V.	IICA-PROCIANDINO Director	Av. Mariana de Jesús 147 y La Pradera Apart. postal 201-A Quito, Ecuador Tlf: (59) (32) 232697/239194 Tlx: 2837 IICA-ED

-----

**Levantamiento de textos y diagramación:  
Germán Pasquel Galarza.  
Tiraje: 200 ejemplares.  
Impresión: Taller Gráfico Nuevo Día.**







## IICA - BID - PROCIANDINO

### EL PROGRAMA COOPERATIVO DE INVESTIGACION AGRICOLA PARA LA SUBREGION ANDINA- • PROCIANDINO

Fue creado en 1986 mediante convenio de Cooperación Técnica no Reembolsable suscrito por los Gobiernos de Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura-IICA con el BID.

Objetivo general es "fortalecer la capacidad y la calidad de la investigación agrícola de los Países Participantes, a través de la activa cooperación entre las instituciones nacionales de investigación agropecuaria de dichos países, con el fin de mejorar la producción y productividad agrícola de los mismos".

Instituciones ejecutoras del Programa son: IBTA (Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria); ICA (Instituto Colombiano Agropecuario); INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias) de Ecuador; INIPA (Instituto Nacional de Investigación y Promoción Agropecuaria) de Perú; y, FONAIAP (Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias) de Venezuela.

El aporte económico proviene del BID, de los países signatarios y del IICA que actúa además como Agencia Administradora del Programa.

Cuenta con el concurso especializado de los Centros Internacionales CIAT, CIMMYT y CIP. La Junta del Acuerdo de Cartagena-JUNAC, actúa con un Representante en las reuniones de la Comisión Directiva.

El Equipo Técnico está conformado por el Director del Programa; un Especialista Internacional en Transferencia de Tecnología y Comunicación; cuatro Coordinadores Internacionales; tres Coordinadores Asociados; y, un Coordinador Nacional por cada Subprograma. Los Gobiernos acordaron un aporte adicional de un Especialista Asociado en Transferencia de Tecnología y Comunicación, por país.

Los Subprogramas son: I. Leguminosas de Grano; II. Maíz; III. Papa; y, IV. Oleaginosas de uso alimenticio, a los que se suma el Componente Transferencia de Tecnología y Comunicación que coordina también las actividades previstas en Sistemas de Producción.

INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA - IICA