

Bases para el

Manejo del Cultivo de Maíz

Compilador y editor:

Ing. Agr MSc PhD Guillermo H. Eyherabide
INTA PERGAMINO

Programa Nacional Cereales

▪ Ediciones

Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria



 Ministerio de
Agricultura, Ganadería y Pesca
Presidencia de la Nación



Bases para el Manejo del Cultivo de Maíz

Prólogo

El crecimiento que ha experimentado el cultivo de maíz en nuestro país en los últimos años está sustentado por la generación, transferencia y adopción de tecnologías adecuadas a la diversidad de nuestros sistemas productivos. Los aumentos de rendimientos por hectárea son el resultado de la aplicación de tecnologías enmarcadas en un esquema de sustentabilidad de los recursos naturales y del sistema productivo. La contribución a la mejora de los rendimientos del avance de la siembra directa, de la creación y difusión de cultivares mejor adaptados a las condiciones de suelo, clima y adversidades biológicas, y del ajuste de las prácticas de manejo del cultivo, cosecha y postcosecha de cada región productiva difícilmente pueda estimarse de manera separada, por cuanto el éxito alcanzado se debe a la conjunción de esfuerzos desde diferentes ámbitos y disciplinas. Y poco de ello hubiese sido posible de lograr tan rápidamente sin la insustituible asistencia de asesores profesionales y la decisión de nuestros productores. El maíz es hoy mucho más que un cultivo. Es uno de los tres cereales de los que depende la humanidad para proveerse de alimentos y derivados industriales. Para la economía nacional constituye uno de los rubros productivos más importantes, y su trama productiva e industrial asociada genera valor agregado, empleo y riqueza nacional.

Han transcurrido casi treinta años desde la edición del libro del INTA *El Cultivo de Maíz*. Desde entonces se han generado desde diferentes ámbitos institucionales públicos y privados un buen número de publicaciones orientadas a determinados aspectos del cultivo, o bien a difundir y actualizar las prácticas de

manejo del cultivo en cada región. El ritmo de avance en la generación de tecnologías de cultivo tiene un dinamismo tal que hace extremadamente difícil alcanzarlo a través de una publicación y mantenerla vigente en el tiempo. Entendemos que esa demanda de alguna manera está y continuará siendo cubierta con publicaciones más específicas en cuanto a su temática y ámbito geográfico de aplicación. Desde el Programa Nacional de Cereales del INTA pretendemos con este libro acercar los conocimientos básicos que subyacen a toda recomendación tecnológica, proveyendo pautas que permitan entender el por qué del paquete tecnológico disponible y transferir el conocimiento básico que posibilite el diseño de esquemas productivos superadores.

Bases para el Cultivo de Maíz vuelve a información y conocimiento generado por el INTA en los últimos años, y abarca un espectro de temas que comprende desde los recursos genéticos y el mejoramiento hasta los usos industriales, pasando por los requerimientos climáticos del cultivo, su ecofisiología, su utilización como forraje conservado, los aspectos sanitarios y la economía. Es el resultado del trabajo de profesionales en su mayoría del INTA, pero también del ámbito universitario y del sector privado que han prestado con generosidad sus saberes, espíritu de colaboración y paciencia en el proceso de edición.

Esta obra está destinada a complementar la literatura disponible, pero entendemos que puede ser un valioso auxiliar para profesionales y estudiantes de Agronomía, así como también para productores agrícolas.

Ing. Agr MSc PhD Guillermo H. Eyhérabide
Coordinador Programa Nacional Cereales
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

ÍNDICE

1) REQUERIMIENTOS AGROCLIMÁTICOS DEL CULTIVO DE MAÍZ.

Lucía Estela Totis de Zeljkovich.

Estación Experimental Agropecuaria INTA Pergamino

7

2) ECOFISIOLOGÍA DEL CULTIVO DE MAÍZ.

Alfredo Cirilo⁽¹⁾, Fernando Andrade⁽²⁾, María Otegui⁽³⁾, Gustavo Maddonni⁽³⁾,

Claudia Vega⁽⁴⁾ y Oscar Valentínuz⁽⁵⁾

⁽¹⁾EEA Pergamino INTA;

⁽²⁾UI Balcarce INTA-UNMP/Conicet; ⁽³⁾FA-UBA/Conicet; ⁽⁴⁾EEA Manfredi INTA;

⁽⁵⁾EEA Paraná INTA

25

3) MEJORAMIENTO GENÉTICO DE MAÍZ.

Guillermo H. Eyhérabide.

Estación Experimental Agropecuaria INTA Pergamino

57

4) CULTIVARES. CRITERIOS PARA SU ELECCIÓN.

Daniel A. Presello, Guillermo H. Eyhérabide, Juliana Iglesias, Erika Mroginski y

Roberto D. Lorea.

Estación Experimental Agropecuaria INTA Pergamino

79

5) LOS RECURSOS GENÉTICOS DEL MAÍZ.

Marcelo E. Ferrer.

Estación Experimental Agropecuaria INTA Pergamino

107

6) ENFERMEDADES FÚNGICAS, BACTERIANAS Y ABIÓTICAS DEL MAÍZ.

Grisela Botta⁽¹⁾ y Mirian Gonzalez⁽²⁾.

⁽¹⁾EEA Pergamino INTA; ⁽²⁾ Facultad de Ciencias Agrarias-UNR

125

7) ENFERMEDADES CAUSADAS POR VIRUS Y MOLLICUTES EN EL CULTIVO DE MAÍZ.

Irma Graciela Laguna, María de la Paz Giménez Pecci.

INTA-CIA

151

8) BIOECOLOGÍA Y CONTROL DE PLAGAS EN EL CULTIVO DE MAÍZ.

Nicolás Iannone y Pedro Daniel Leiva.

Estación Experimental Agropecuaria INTA Pergamino. Fotografía: Esteban Danel Saini IMYZA, INTA Castelar

177

9) MALEZAS: SU MANEJO Y CONTROL.

Antonio R. Rossi, Sergio Cepeda y Juan C. Ponsa.

Estación Experimental Agropecuaria INTA Pergamino

203

10) MAÍZ PARA SILAJE.

Jorge R. Carrete y Omar Scheneiter.

Estación Experimental Agropecuaria INTA Pergamino

219

11) CALIDAD Y USOS DEL MAÍZ.	
<i>José L. Robutti.</i>	
Estación Experimental Agropecuaria INTA Pergamino.	235
12) MERCADO MUNDIAL Y ARGENTINO DE MAÍZ	
<i>Reinaldo Muñoz .</i>	
Estación Experimental Agropecuaria INTA Pergamino.	251

1. REQUERIMIENTOS AGROCLIMÁTICOS DEL CULTIVO DE MAÍZ

Lucía Estela Totis de Zeljkovich

Estación Experimental Agropecuaria INTA
Pergamino

Índice

Características generales del clima de la región maicera.	9
Oferta climática de la zona núcleo en relación con los requerimientos agroclimáticos del maíz y su incidencia en la expresión de los rendimientos.	11
Temperaturas.	11
Radiación.	16
Deficiencias hídricas.	16
Factores condicionantes de las sequías.	16
Necesidades de agua del maíz.	19
Consumo de agua y rendimientos.	19
Determinación de las necesidades de riego.	20
Bibliografía.	22

Características generales del clima de la región maicera templada

La región maicera templada se extiende entre los paralelos de 31° y 40° lat. S y entre los meridianos 57° y 65° long. O de la pampa húmeda y subhúmeda argentina. En esta área, los factores climáticos (lluvias, temperaturas, evaporación, etc.), a través de su acción individual o conjunta, introducen el «azar» en los sistemas productivos, detectándose para el decenio 1988/1998, una amplitud de alrededor de 4,0 t/ha (entre 2,9 y 6,2 t/ha) en los rendimientos anuales promedio de maíz producidos en la Argentina (Bolsa de Cereales, 1999), hecho que repercute fuertemente en el volumen total producido.

La zona núcleo está comprendida entre las isotermas de 17° C al N y de 15° C al S, con

un gradiente térmico de 0,7° C por cada grado de latitud; y entre las isoyetas de 1000 mm y 800 mm de lluvias anuales promedio, con un gradiente que decrece de NE a SO (Figura 1).

De acuerdo con la caracterización climática de Koeppen, corresponde a un clima subtropical húmedo (Cfa), con un verano muy cálido, y sin estación seca (Guevara, 1991, op. cit.). El mes más cálido es enero, con una temperatura media de alrededor de 23° C y los meses más fríos, junio y julio, con medias de alrededor de 9 a 10° C. Las temperaturas máximas anuales se incrementan de E a O en mayor grado que de N a S, mientras que las mínimas lo hacen en sentido inverso (Casagrande y Vergara, 1996). El período medio libre de heladas varía entre 180 y 260 días por año, con una disminución desde el N-NE hacia el S-SO. Presenta una marcada variabilidad interanual tanto en la fecha de la primera como de la última helada. En la «zona

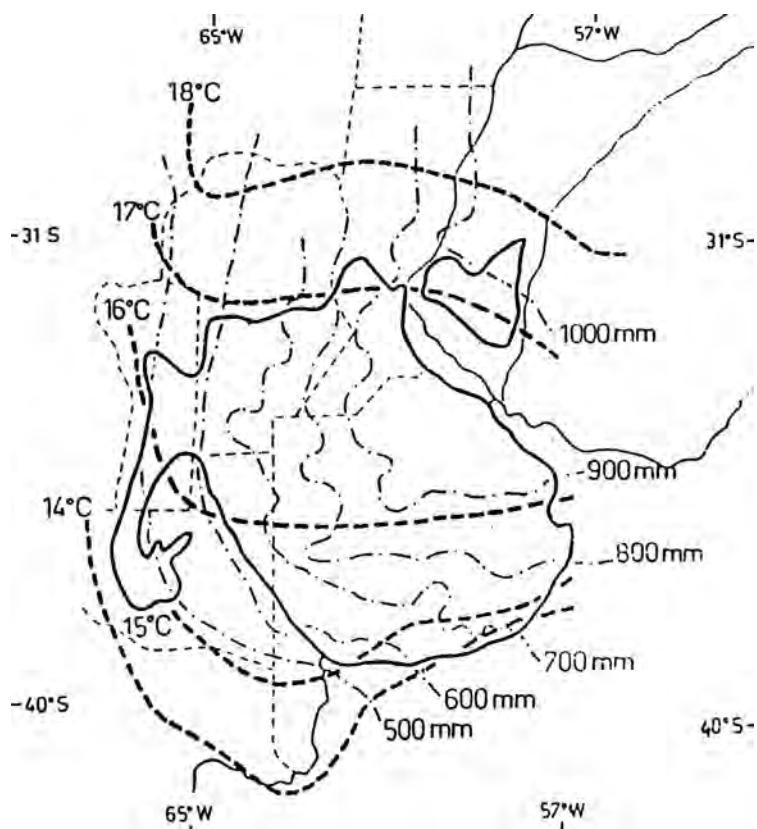


Figura 1: Precipitaciones y temperaturas medias anuales de la región pampeana (Guevara, 1991)

núcleo» existe riesgo de heladas en 2 de cada 10 años para fines de septiembre en el N y para mediados de octubre en el S.

La amplitud térmica anual es de 12 a 15° C y aumenta de E a O.

El cociente fototermal o relación entre la radiación y la temperatura media sobre el umbral de crecimiento para el cultivo (8° C), el cual presenta una asociación positiva con los rendimientos del maíz en condiciones hídricas, densidades y fechas de siembra óptimas (Andrade, 1992), presenta valores menores en el N ($1,74 \text{ MJ/m}^2\text{día}^\circ \text{C}$ para Pergamino, Pcia. de Bs. As.) y mayores en el S ($2,13 \text{ MJ/m}^2\text{día}^\circ \text{C}$ para Viedma, Pcia. de Río Negro).

Las precipitaciones se reciben en mayor proporción desde la primavera hasta el otoño, incrementándose las lluvias invernales hacia el S. Tomando como ejemplo la localidad de Pergamino, ubicada en el centro de la región «maicera núcleo», pudo constatarse que durante el período comprendido entre los meses de octubre a abril se reciben en promedio 735 mm (76%) de un total anual de 965 mm, siendo el valor de la mediana (que corresponde al de mayor frecuencia) de 951 mm, para un total de 89 años (Figura 2).

La variabilidad de las lluvias de la zona determina por ejemplo, para el mes de

diciembre (coincidente con la floración), una amplitud de 446 mm (entre 2,7 y 448,6 mm). Además, durante el mismo caben esperarse en el 50% de los años, valores entre 134 y 61 mm, ya que existe una probabilidad del 75% de tener lluvias inferiores a 134 mm y una probabilidad del 25% de tener lluvias inferiores a 61 mm. Cabe recordar que la $P50\% = P75\% - P25\%$.

Las precipitaciones de la región presentan, además, gran variabilidad espacial (Figura 3), y elevada intensidad, hecho que sumado a las características físicas de gran parte de los suelos y a los elevados valores de evapotranspiración máxima (ETM) que se registran durante el verano, determina la ocurrencia de sequías de distinta intensidad y duración. Estas son las causas principales de la variabilidad interanual de los rendimientos del cultivo en el área y de la respuesta a la fertilización nitrogenada. De ahí que para el período de 18 años (entre 1980-81 a 1997-98), en el Ensayo de Labranzas de la E.E.A. Pergamino, se hayan encontrado variancias de 1,2 en parcelas de maíz sin fertilización nitrogenada y de 3,4 en aquellas con agregado de nitrógeno, con rendimientos promedio de 5,9 y 6,9 t/ha, respectivamente (Totis de Zeljkovich y col., 1992a; Blotta, comunicación personal).

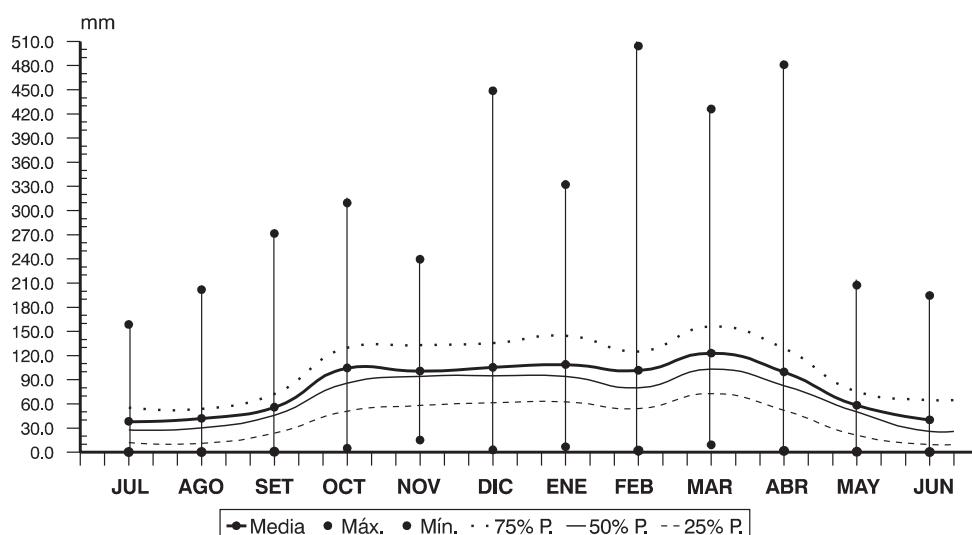


Figura 2: Distribución de las lluvias mensuales y su variabilidad en la E.E.A. Pergamino (Pcia. Bs. As.), para la serie 1910-1998 del Observatorio Agrometeorológico.

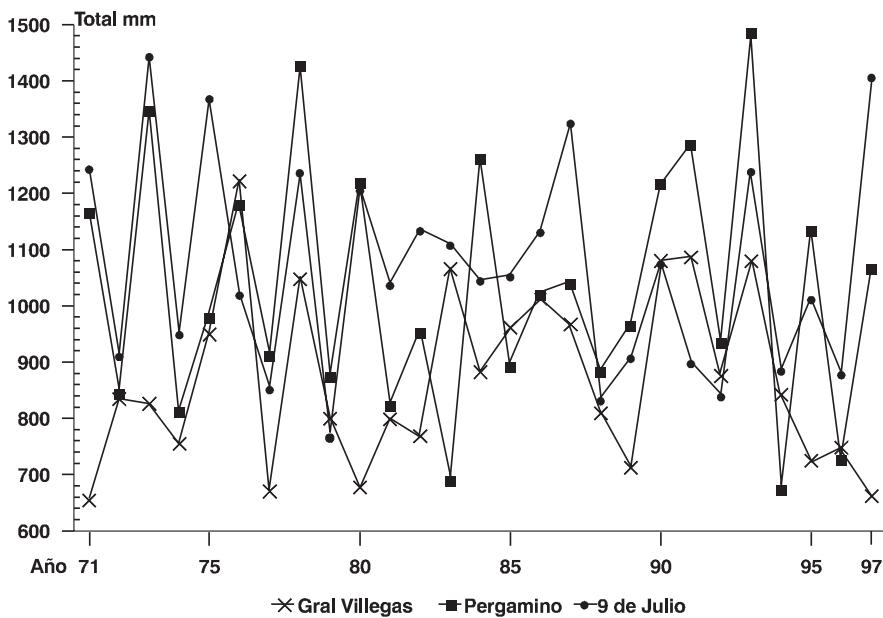


Figura 3: Precipitaciones anuales de tres localidades de la Prov. de Bs. As , Gral. Villegas (Lat 34° 92', Long 62° 73'), Pergamino (Lat 33° 56', Long 60° 34') y 9 de Julio (Lat 35° 45', Long 60° 88'), para la serie 1971-1997.

Oferta climática de la zona núcleo en relación con los requerimientos agroclimáticos del maíz y su incidencia en la expresión de los rendimientos

Teniendo en cuenta los requerimientos del maíz en cuanto a los distintos factores ambientales reportados por investigaciones bioclimáticas, la disponibilidad de los mismos para la zona de Pergamino, aportada por los patrones climáticos de referencia obtenidos de estudios probabilísticos, y la respuesta de las plantas en parcelas experimentales de la E.E.A. Pergamino, y en campos de productores, se ha tratado de explicitar en este capítulo la incidencia de los factores ambientales sobre la productividad del cultivo, brindando además elementos para la planificación regional y la evaluación de riesgos.

Temperatura

Dentro de los factores climáticos determinantes de la producción vegetal, la temperatura es uno de los más importantes. Es

común observar que en años «fríos» el desarrollo de las fases fenológicas de las plantas se atrasa mientras que en años «cálidos» se adelanta.

El desarrollo del maíz depende directamente de la temperatura en la medida en que no se modifique la evolución fisiológica de las plantas por efectos de la ocurrencia de valores muy bajos o muy altos de aquélla, o cambios en el fotoperíodo.

Ha sido determinado que las condiciones más favorables para la obtención de rendimientos elevados en el cultivo de maíz se dan en climas con alta radiación solar y temperaturas elevadas, pero no extremadamente cálidos, con una prolongada estación de crecimiento y con temperaturas diurnas entre 20 y 28°C (Santibáñez y Fuenzalida, 1992). Cuando se acumulan días con temperaturas máximas superiores a 28°C, el período de llenado de granos se acorta y por consiguiente el rendimiento disminuye. El crecimiento máximo del maíz cabe esperarse en ambientes que producen temperaturas foliares entre 30 y 33°C durante el día (la fotosíntesis y la tasa de desarrollo del cultivo alcanzan sus valores máximos entre estos valores), pero con noches frescas. Es decir que en lugares con una

menor amplitud térmica diaria, el crecimiento total resultará menor (Bronwer y col., 1970 y Duncan and Hesketh, 1968, citados por Shaw, 1988; Peters y col., 1971; Andrade, 1992).

Teniendo en cuenta las temperaturas máximas del aire en abrigo meteorológico tipo «B» (AM), calculadas durante el ciclo del maíz (Totis de Zeljkovich y col., 1990; Totis de Zeljkovich y col., 1995), puede constatarse (Figura 4) que desde mediados de noviembre hasta fines de febrero caben esperarse temperaturas iguales o superiores a 28° C en 5 de cada 10 días (en el 50 % de los días); y desde la tercera década de diciembre hasta la segunda de enero inclusive, iguales o mayores a 32° C (hasta 42° C) en el 25% (en uno de cada 4 días). Cabe recordar que durante estos lapsos ocurren los estadios de floración y llenado del grano.

Temperaturas medias entre 23 a 24° C han sido consideradas como límite máximo (Wallace and Bressman, 1937 y Kiesselbach, 1950, citados por Shaw, 1988), a partir del cual los rendimientos comienzan a disminuir por cada grado de incremento (cuando el mismo no está acompañado por aumento de las lluvias). Temperaturas medias iguales o mayores a

23° C en AM, caben esperarse en la zona de Pergamino con una probabilidad del 50%, en el período que se extiende desde la segunda década de diciembre hasta la primera de febrero inclusive (Figura 5).

El efecto de las temperaturas sobre los rendimientos del maíz en ensayos de 18 situaciones diferentes situadas en la Argentina, Australia, Chile, Francia, India, México y U.S.A. (Andrade, 1992), reveló que la disminución de la temperatura mínima media de 24 a 8° C aumentó significativamente el rendimiento del maíz. Por otra parte, Baldy (comunicación personal) considera la temperatura mínima de 22 ° C como límite máximo para el cultivo.

En la zona de Pergamino, las temperaturas mínimas más altas que caben esperarse en el 50% de los días varían entre 14 y 18° C desde fines de diciembre hasta mediados de enero (Figura 6).

Dada la estrecha relación que existe entre el desarrollo de las fases fenológicas del cultivo y las sumas térmicas, el conocimiento de las mismas permite para cada lugar, un mejor aprovechamiento de las posibilidades del medio, disminuyendo el riesgo de siembras muy tempranas o demasiado tardías y/o cosechas

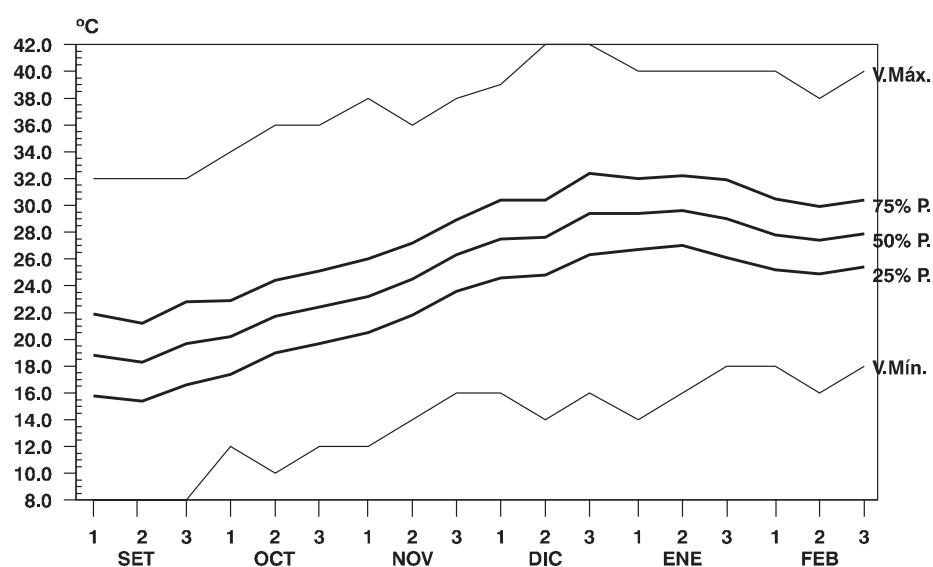


Figura 4: Temperaturas máximas del aire en AM que caben esperarse para los niveles del 25% = Q1, 50% = Q2 y 75% = Q3 de probabilidad, cada 10 días durante el ciclo del maíz en Pergamino, calculadas mediante las frecuencias esperadas resultantes del ajuste estadístico a una normal, considerando la serie 1967-1990. Valores Mínimos (V.mín.) y Máximos (V.Máx.) observados.

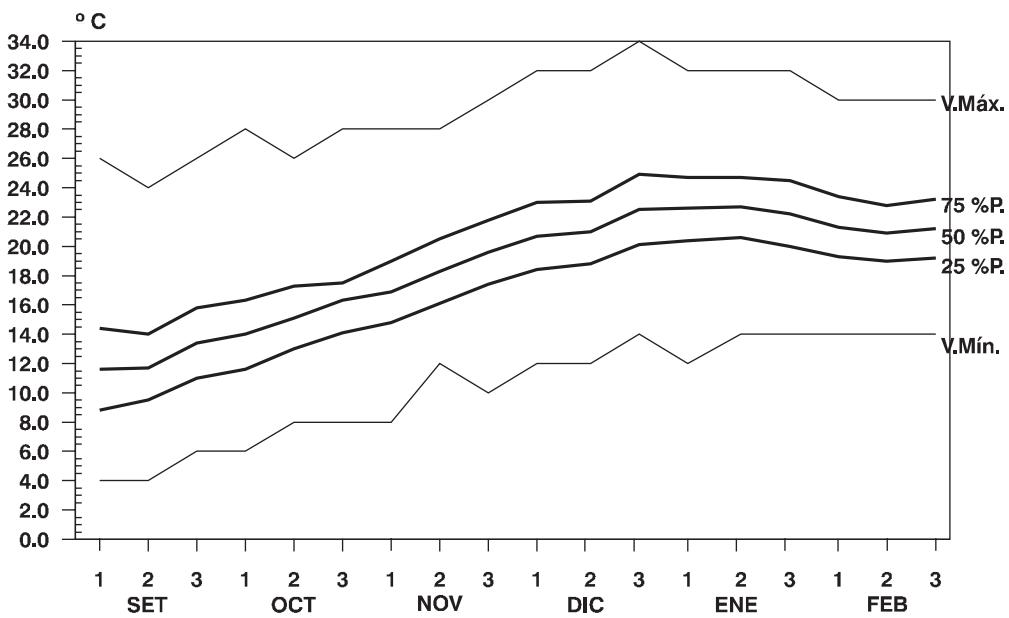


Figura 5: Temperaturas medias del aire en AM que caben esperarse para los niveles del 25% = Q1, 50% = Q2 y 75% = Q3 de probabilidad, cada 10 días durante el ciclo del maíz en Pergamino, calculadas mediante las frecuencias esperadas resultantes del ajuste estadístico a una normal, considerando la serie 1967-1990. Valores Mínimos (V.mín.) y Máximos (V.Máx.) observados.

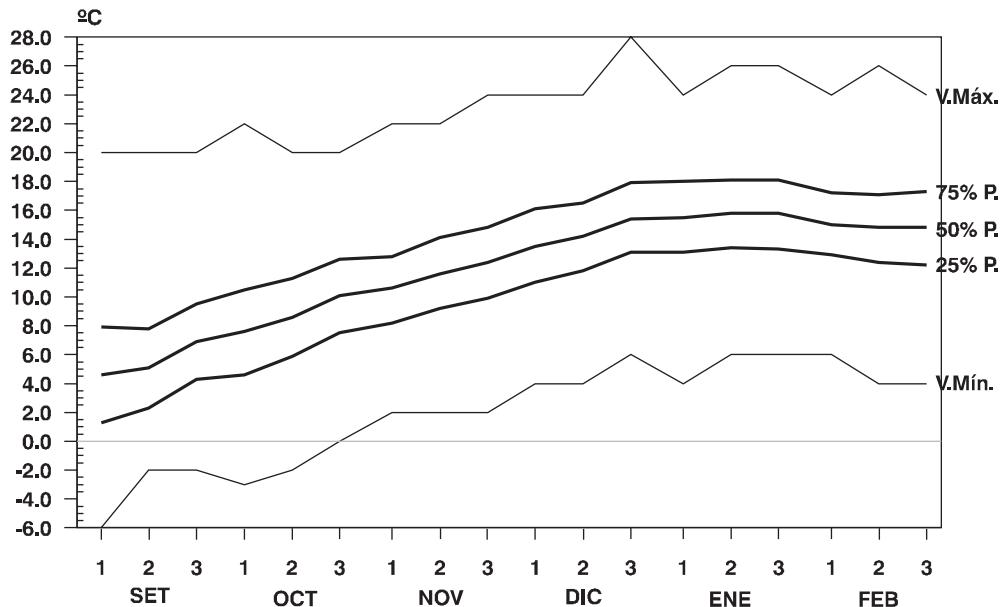


Figura 6: Temperaturas mínimas del aire en AM que caben esperarse para los niveles del 25% = Q1, 50% = Q2 y 75% = Q3 de probabilidad, cada 10 días durante el ciclo del maíz en Pergamino, calculadas mediante las frecuencias esperadas resultantes del ajuste estadístico a una normal, considerando la serie 1967-1990. Valores Mínimos (V.mín.) y Máximos (V.Máx.) observados.

muy tardías o imposibles. Por ejemplo, en Pergamino, durante el mes de agosto, caben esperarse temperaturas inferiores a la base de 8°C con una probabilidad del 25% (Figura 7). Por lo tanto, en las siembras durante ese período, se aumenta el riesgo de exponer a la semilla al desarrollo de enfermedades y/o al ataque de plagas, situación que mejora notablemente a partir de la primera década de septiembre.

Por otra parte, conociendo las sumas térmicas requeridas por los distintos materiales genéticos para el cumplimiento de sus fases fenológicas, podrían seleccionarse aquellos cuyo período crítico de floración ocurre antes o después del momento de mayor incidencia del factor limitante para el lugar; o podría variarse la fecha de siembra de un mismo material para escapar de éste. Para ello deberá tenerse en cuenta que en la «zona núcleo» caben esperarse deficiencias hídricas en aumento desde fines de noviembre hasta mediados de enero.

Considerando las sumas térmicas superiores a 8°C calculadas para distintas fechas de siembra hasta fines del mes de marzo (Figura 8), se observa que caben esperarse con

una probabilidad del 50% (entre el 75% y el 25%), valores entre 1.744 y 2.753 °C para las primeras (de mediados de agosto), y entre 1.476 y 2.079 °C para aquellas de mediados de noviembre. Este hecho revela que la zona no presenta limitaciones en cuanto a los requerimientos térmicos del cultivo.

Cabe recordar que el desarrollo de cada fase fenológica está influenciado por la temperatura en relación con la amplitud térmica. Para una misma temperatura media, la variación diaria de la amplitud modifica la curva de la ley de acción de la temperatura. Para valores inferiores a 20°C, el aumento de la amplitud térmica determina umbrales de temperaturas menores y tasas de desarrollo mayores, y viceversa, para temperaturas medias superiores a 20°C. (Figura 9)

En la zona de Pergamino, caben esperarse valores de amplitudes térmicas medias entre 13 y 14°C durante el ciclo del cultivo. La evolución de ésta en relación con el cultivo de maíz, evidenciada a través del estudio de las tendencias de las temperaturas máximas y mínimas del aire durante los meses de diciembre y enero para una serie de 70 años (Totis de Zeljkovich y col., 1991), reveló una disminución de 0,33°C por año durante el período

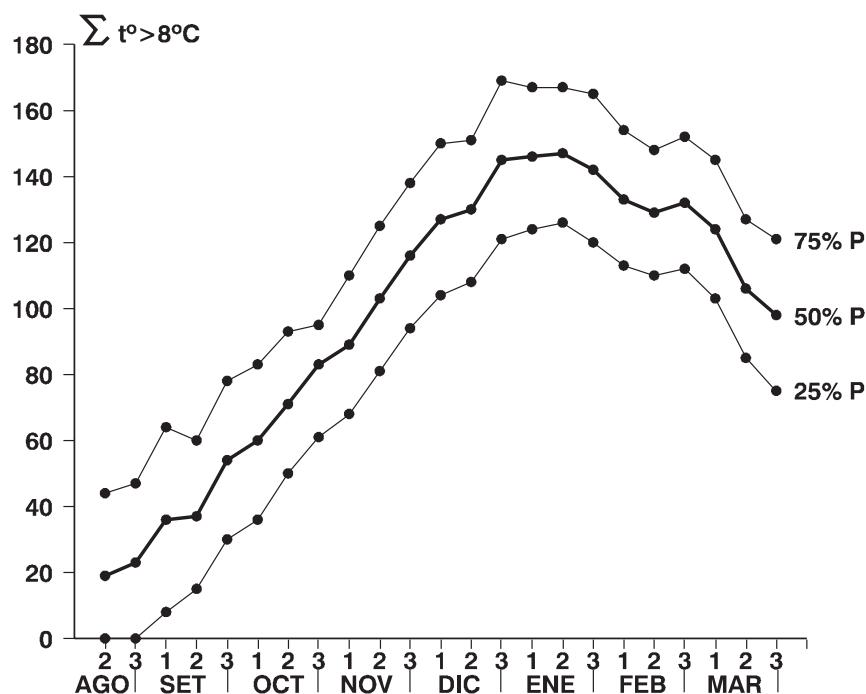


Figura 7: Sumas de temperaturas medias superiores a 8°C para distintos niveles de probabilidad, que caben esperarse cada 10 días durante el ciclo del maíz en Pergamino, calculadas con la información reportada por Totis y col., 1995, op. cit.

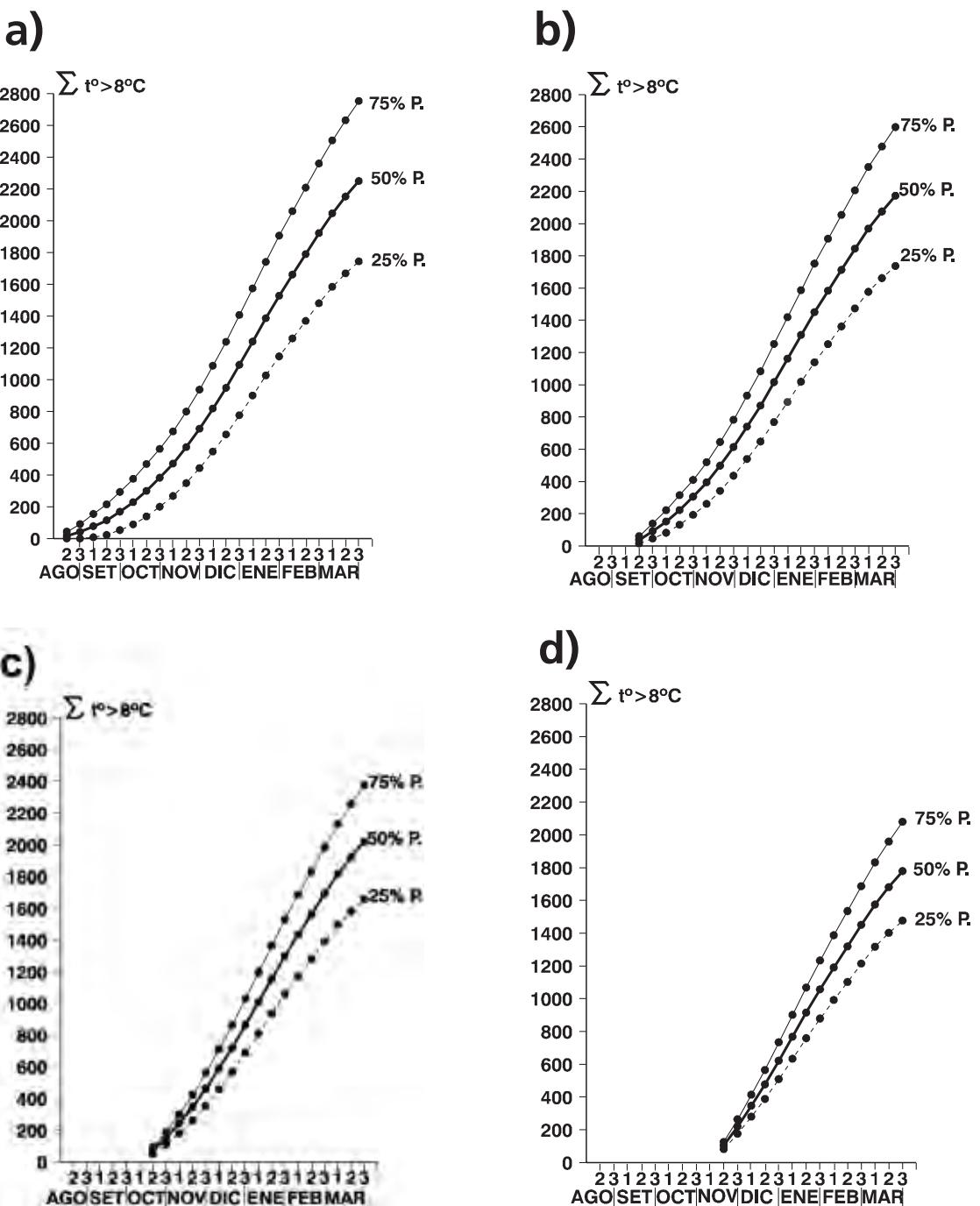


Figura 8: Sumas de temperaturas medias acumuladas superiores a 8°C , que caben esperarse para los niveles del 25% = Q1, 50% = Q2 y 75% = Q3 de probabilidad, para siembras de maíz de la segunda década de los meses de agosto: a), septiembre: b), octubre: c) y noviembre: d), en Pergamino.

analizado debido al aumento de las temperaturas mínimas.

La peligrosidad de las heladas tardías para el cultivo, se deduce de los resultados del análisis frecuencial de las fechas de ocurrencia

de la última helada (Figura 10). Esta se registró en el 50% de los años, entre la segunda década de septiembre y la primera de octubre en AM, y entre la tercera década de septiembre y la tercera de octubre para la intemperie (IA: Índice

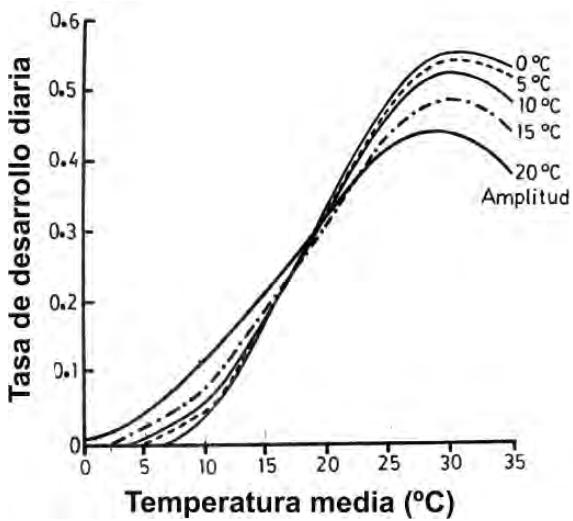


Figura 9: Influencia de la temperatura media y de la amplitud térmica diarias, sobre la tasa de crecimiento del maíz (Bonhomme, 1985)

Las temperaturas mínimas que caben esperarse a la intemperie pueden observarse en la Figura 11.

Radiación

El estudio de la oferta radiativa (Figura 12) reveló que este factor del clima, debido a la magnitud presentada y a su poca variabilidad, no resulta limitante en la zona, si bien en algunos años los rendimientos potenciales del maíz no pueden expresarse debido a la ocurrencia de días nublados.

Deficiencias hídricas

Factores condicionantes de las sequías

En la región pampeana existe una alta dependencia de las lluvias en los períodos

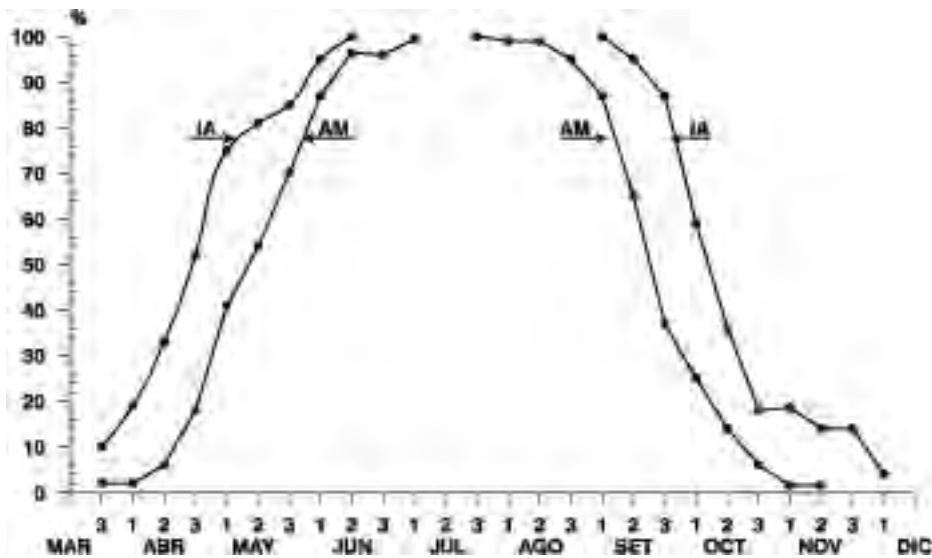


Figura 10: Frecuencias relativas observadas acumuladas (%) para la primera y última helada en AM e IA en Pergamino, calculadas para las Series 1927-1990 y 1967-1990, respectivamente (Totis y col., 1992b).

Actinotérmico o temperatura del aire a 0,50 m del nivel del suelo).

Cabe señalar la dispersión presentada por la última helada, cuya fecha extrema correspondió al 5 de diciembre y 5 de octubre para IA y AM, respectivamente. El período con heladas estuvo comprendido entre la tercera década de abril y la primera de octubre para AM, y entre la primera de abril y la tercera de octubre para IA.

fenológicos de mayor sensibilidad a la falta de agua, durante los cuales la disponibilidad hídrica no es suficiente para satisfacer el consumo de agua máximo (ETM: evapotranspiración máxima) del cultivo (Totis de Zeljkovich y Rebella, 1980). En la Figura 13 se han volcado para los 36 períodos de 30 días superpuestos del año y para tres niveles de probabilidad, los valores positivos o negativos que alcanza la

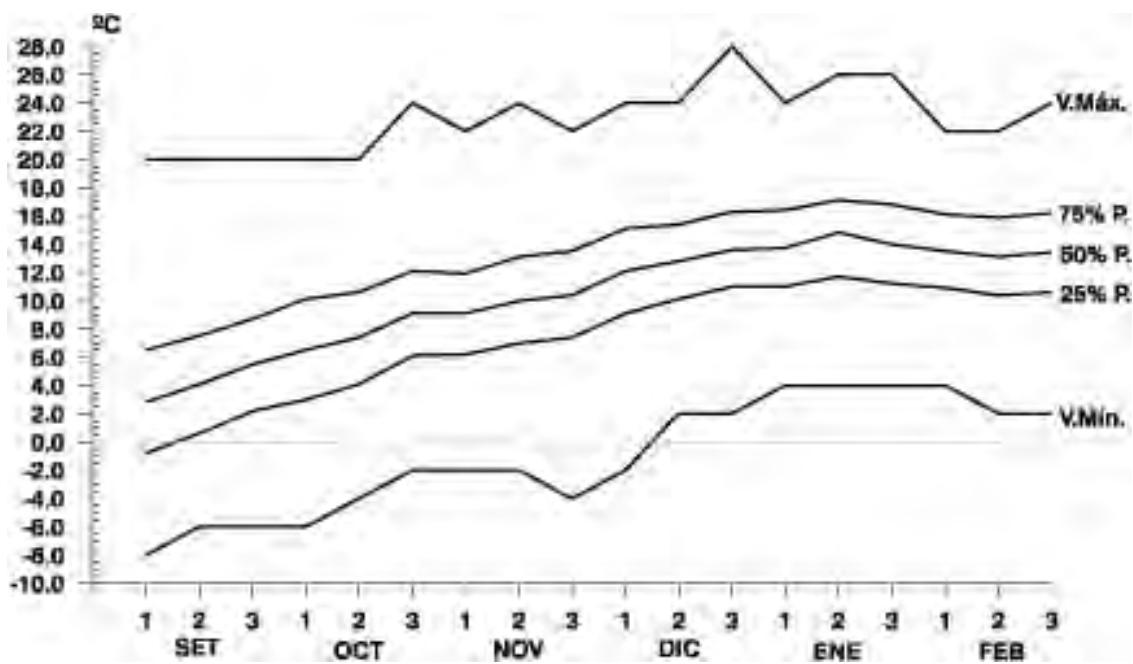


Figura 11: Temperaturas mínimas del aire a intemperie (IA) que caben esperarse para los niveles del 25% = Q1, 50% = Q2 y 75% = Q3 de probabilidad, cada 10 días durante el ciclo del maíz en Pergamino, calculadas mediante las frecuencias esperadas resultantes del ajuste estadístico a una normal, considerando la serie 1967-1990. Valores Mínimos (V.mín.) y Máximos (V.Máx.) observados.

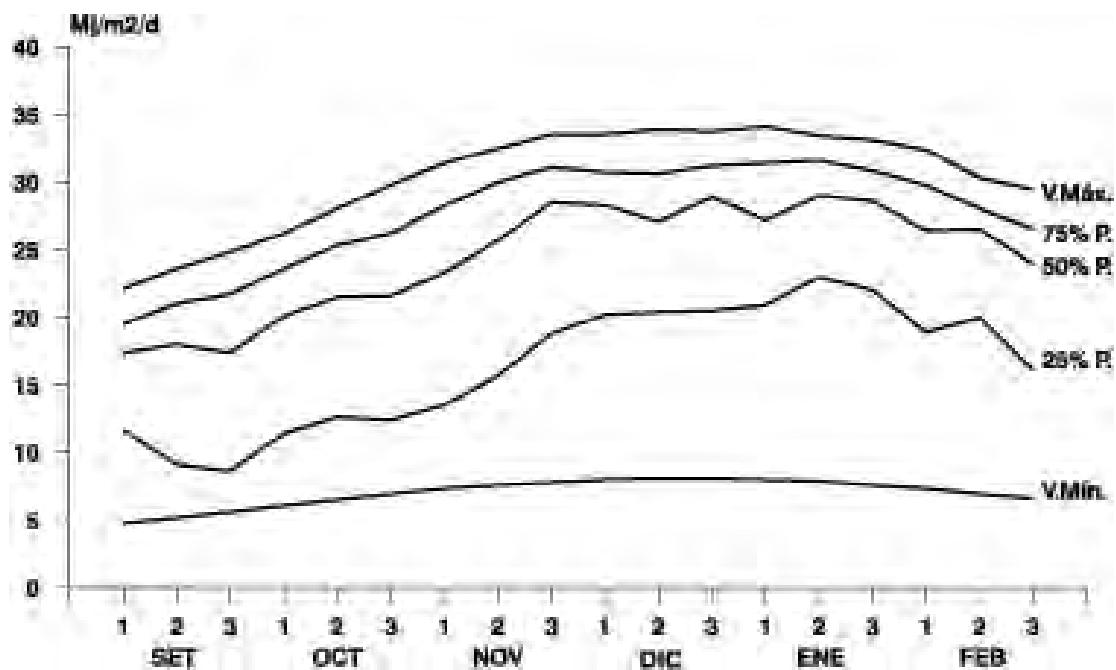


Figura 12. Radiación global para los niveles del 25% = Q1, 50% = Q2 y 75% = Q3 de probabilidad, cada 10 días durante el ciclo del maíz en Pergamino, calculada para la serie 1980-1998, en función de la heliofanía relativa con coeficientes ajustados mediante mediciones realizadas en Pergamino durante tres años (Cirilo, comunicación personal). Valores Mínimos (V.mín.) y Máximos (V.Máx.) observados.

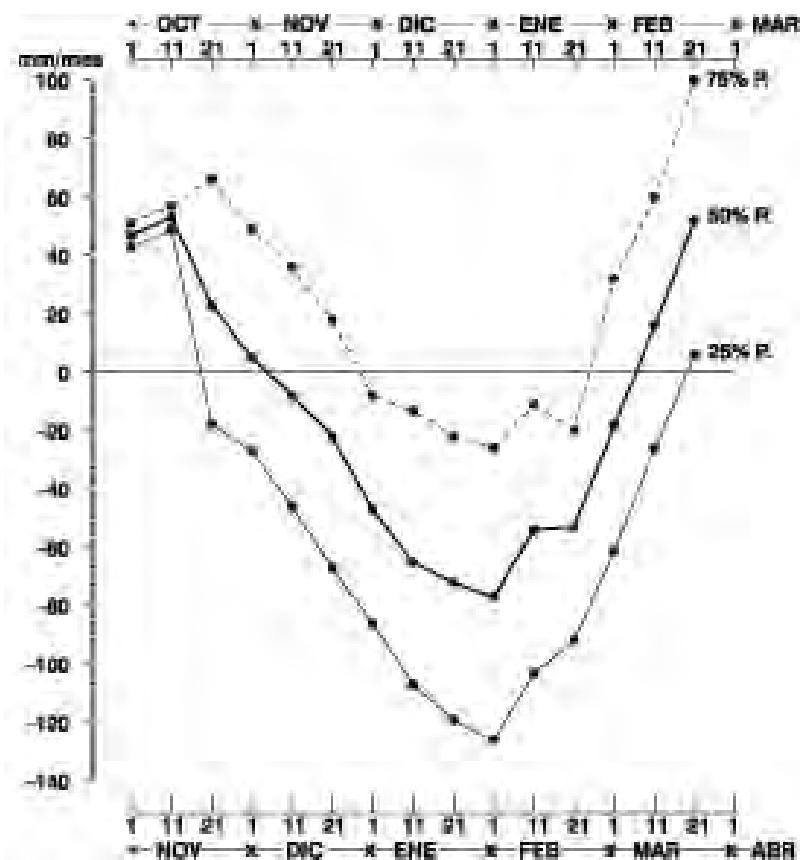


Figura 13. Probabilidades al 25, 50 y 75% de ocurrencia de excesos ($P > ETM$) y deficiencias ($ETM > P$), calculados para períodos mensuales desplazados cada 10 días, mediante la fórmula de Thornthwaite corregida con valores medidos en lisímetros instalados en el campo de la E.E.A. Pergamino, y registros de lluvias del O.M. considerando la serie 1932-1979.

diferencia entre las precipitaciones (P) y la ETM, es decir, los excesos o deficiencias hídricas climáticas respectivamente (independientemente del agua disponible en el suelo). Se observa que en el período que va desde el 28 de noviembre hasta el 25 de febrero, en 75 de cada 100 años (3 de cada 4 años) es de esperar que se produzcan deficiencias hídricas climáticas, predominando excesos en el resto de los años. Para los meses de diciembre y enero, caben esperarse en la zona de Pergamino, deficiencias climáticas superiores a 50 mm en uno de cada dos años.

Cabe señalar que estos períodos pueden desplazarse cronológicamente de acuerdo con los atrasos o adelantos en la fecha

de siembra, la cual correspondió a fines de septiembre a primera quincena de octubre.

Los factores ambientales determinantes de la ocurrencia de sequías comprenden:

- La variabilidad de las precipitaciones, evidenciándose una tendencia en aumento para los valores promedio, (Figura 14);
- Su elevada intensidad: han sido determinadas pérdidas de agua promedio del 65% en cultivos de verano con sistemas de labranza con (AR) arado de rejones y del 37% con labranza cero (Lo) y combinada (Co: AR para trigo y Lo para soja y maíz), para lluvias mayores de 30 mm en 30' en suelos franco limosos con horizonte B textural (Berón y Blotta, 1995) y del 40% de las lluvias totales anuales en un suelo franco limoso (Dardanelli, citado por Gil, 1993),

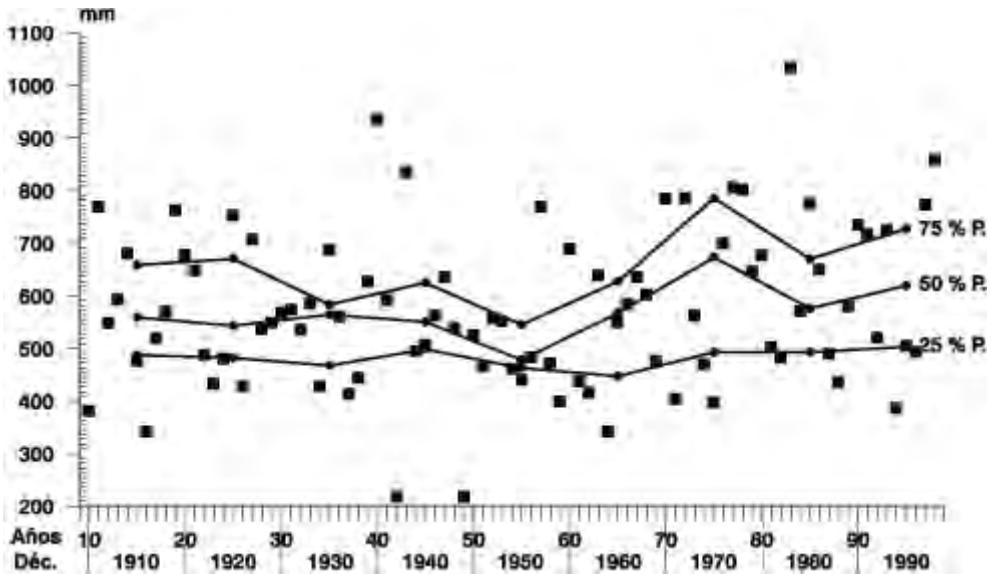


Figura 14: Precipitaciones totales para el ciclo del maíz (desde septiembre hasta febrero inclusive) para la serie 1910-1997 en la E.E.A. Pergamino, y su evolución evidenciada mediante la determinación de los niveles del 25% = Q1, 50% = Q2 y 75% = Q3 de probabilidad, calculados en períodos de 10 años.

- Las características físicas de los suelos: tenores reducidos de materia orgánica, encostamiento superficial e infiltración lenta, y
- La baja eficiencia hídrica de los rastrojos: del 16% y 21% en barbechos de soja de segunda anteriores a la siembra de maíz y de maíz antes de soja respectivamente, con pérdidas de agua de 1.5 mm diarios por evaporación y escurrimiento, en parcelas experimentales de la E.E.A. Pergamino (Totis de Zeljkovich y col., 1984; Zeljkovich y col., 1992; Zeljkovich y col., 1995).

Necesidades de agua del maíz

La ETM del cultivo (Figura 15), asciende en promedio a 650 mm, desde la siembra (mediados de septiembre) hasta la cosecha (mediados de marzo), y los mayores valores corresponden a los meses de diciembre y enero (Totis de Zeljkovich y Rebella, 1980; Totis de Zeljkovich, 1995, datos no publicados)

Consumo de agua y rendimientos

Existe una relación estrecha entre el consumo de agua del maíz y la producción de grano (Puech y Hernández, 1973). Por ello, el rendimiento potencial será alcanzado

cuando el agua consumida por el cultivo (ETR: evapo transpiración real), sea próxima a aquella posible de consumir (ETM), según las características de la especie (densidad, altura, repartición de la superficie foliar y fisiología de la regulación estomática) y a la energía disponible (ETP: evapotranspiración potencial), cuando las condiciones hídricas y nutricionales no son limitantes (Perrier, 1977).

El impacto que puede tener una sequía sobre el cultivo es la resultante de la interacción entre los efectos que provoca esa deficiencia hídrica a diferentes escalas de la planta y los mecanismos de resistencia que están en juego (Guevara 1991). Ha sido determinado (Robelin, 1962) que la sensibilidad del cultivo a la falta de agua aumenta a partir de la diferenciación de la flor masculina en el tejido meristemático, y presenta un máximo en el momento de la floración.

Estudios previos a la adopción generalizada de la siembra directa (Zeljkovich y col., 1989; Zeljkovich y col., 1995) analizaron las relaciones entre las deficiencias climáticas durante el período posterior a la floración y los rendimientos de maíz obtenidos en parcelas experimentales con distintos sistemas de labranza durante 9

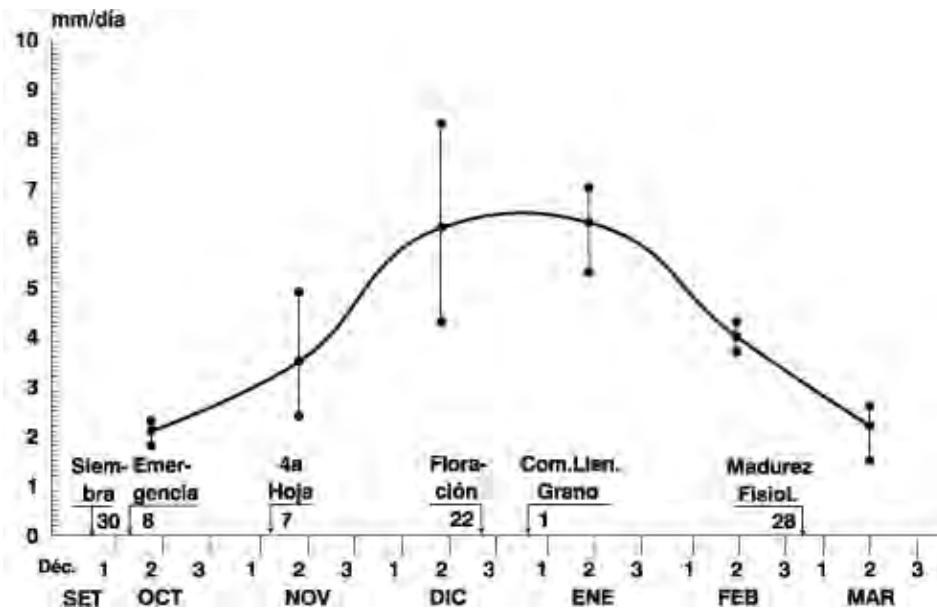


Figura 15: Evolución estacional y variabilidad interanual de la ETM del maíz, medida durante cinco años en lisímetros de drenaje instalados en el campo de la E.E.A.Pergamino.

años. Estos revelaron reducciones cercanas a 40 kg/ha por milímetro de aumento de la diferencia entre las lluvias y la ETM del cultivo. Las técnicas de manejo conservacionistas acompañadas de fertilización nitrogenada resultaron las estrategias estocásticamente más eficientes para la producción de maíz en rotación con trigo y soja de segunda en los suelos argiudoles de Pergamino, permitiendo una mayor eficiencia en el uso del agua y del fertilizante nitrogenado (Totis de Zeljkovich y col., 1992a; Zeljkovich y col., 1995).

El aporte del agua mediante el riego suplementario ha demostrado ser un recurso de alta eficiencia para lograr aumentos significativos en el rendimiento del cultivo y para disminuir la variabilidad interanual (Zeljkovich y col., 1984; Zeljkovich y col., 1986; Zeljkovich y Pecorari, 1987; Zeljkovich y col., 1988; Zeljkovich, 1997).

Determinación de las necesidades de riego

La planificación del riego debe basarse en el conocimiento del balance hídrico de

cada cultivo para condiciones climáticas y de suelo determinadas. Entre los términos que lo definen, las precipitaciones, la ETM y el agua aportada por el suelo según sus características físicas (CC: capacidad de campo, PMP: punto de marchitez permanente, etc.) representan en magnitud las mayores ganancias y pérdidas. Por ello, los primeros resultados obtenidos en la E.E.A. Pergamino se refirieron a la medición de la ETP con un cultivo de referencia (Totis de Zeljkovich y col., 1980; Rebella y Totis, 1980), de la ETM del maíz (Totis de Zeljkovich y Rebella, 1980), y del agua útil de los distintos tipos de suelos del área (Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. Laboratorio de Suelos, 1974; Pecorari y col., 1988).

Para determinar el aporte de agua del suelo, es necesario conocer los límites máximos (Capacidad de campo: CC) y mínimos (punto de marchitez permanente: PMP) de retención para la profundidad explorada por las raíces. Entre estos límites está comprendida el agua útil máxima (AUM) disponible para las plantas, la cual está estrechamente relacionada con la capacidad de almacenaje de cada tipo de suelo (Tabla 1), la velocidad de infiltración del agua en

Tabla 1. Límites máximos y mínimos de retención de agua del suelo hasta 1 metro de profundidad, determinados para cuatro localidades de la provincia de Bs. As. y Sur de Santa Fe (Totis y col., 1997b).

TIPOS DE SUELO	UBICACION	C.C. mm	P.M.P. mm	A.U.M. mm
ARGIUDOL TÍPICO	ACEVEDO	387	208	179
ARGIUDOL TÍPICO FASE EROSIONADA (*)	E.E.A.P.	371	212	159
HAPLUUDOL TÍPICO	VILLA CAÑAS	285	129	156
	9 DE JULIO	263	107	156

(*) Blatta, 1987 (Comunicación personal)

éste, la conductividad hidráulica y la cobertura con residuos. Estas dependen del espesor de los horizontes edáficos, su textura, estructura y contenido de materia orgánica, además de la profundidad efectiva de las raíces.

La profundidad efectiva de las raíces ha sido cuantificada en el mismo tipo de suelo para distintos genotipos (Guevara, 1991), encontrándose tasas de crecimiento radicular entre 2,5 y 5 cm/día.

La determinación del momento y la cantidad de agua a aplicar, según los requerimientos hídricos del estadio fenológico de cada cultivo, la demanda climática y el agua aportada por el suelo, es decir, la conducción del agua de riego, puede realizarse en función de métodos que basan sus mediciones en la planta (temperatura del canopeo, potencial agua en hoja, tasa de flujo de savia, diámetro de tallo y resistencia estomática), en el clima (cálculo de la ETM en función de estimaciones de la ETP y del coeficiente del cultivo: ETM/ETP:Kc), en el suelo (potencial mátrico: bloques de yeso o método resistencia-métrico, y/o psicrómetros de termocupla y tensímetros o métodos tensiométricos), o sus combinaciones. Los modelos de crecimiento también se usan para la conducción del riego (Maturano, 1995).

Se han desarrollado programas para computadoras personales, de manejo sencillo, que facilitan la toma de decisiones de cuándo y cuánto regar. Uno de ellos fue el Yacu (Totis de Zeljkovich y col., 1996; Totis de Zeljkovich y col., 1997a; Totis de Zeljkovich, 1998), generado en la E.E.A.

Pergamino, y que tiene en cuenta la relación clima-planta-suelo. El mismo permite pronosticar el momento a partir del cual es necesaria la aplicación del riego en el cultivo de maíz, y la cantidad de agua a aplicar en períodos de 5 días, para aprovechar la ocurrencia de las lluvias.

Es necesario además, establecer un umbral o límite inferior de agua útil en el suelo (nivel de riego), a partir del cual reponer el agua mediante el riego. En suelos franco arcillosos del tipo de los argiudoles, se recomiendan para el maíz valores entre 40 y 50% del AUM, considerando un metro de profundidad de suelo (Totis y col., 1997b) durante el período crítico. Ello equivale a mantener al cultivo con una ETR cercana a la ETM durante el mismo. Estos valores son semejantes a los obtenidos en parcelas experimentales de la E.E.A. Pergamino para establecer criterios de irrigación en el cultivo (Maturano y col., 1997). En suelos arenosos, del tipo de los hapludos, se podría usar un nivel menor.

Las experiencias de manejo del agua de riego realizadas indican que se requieren en algunos años, entre 10 y 20 mm para lograr una mejor implantación del cultivo, y aplicaciones de cantidades variables (generalmente entre 100 y 200 mm), a partir de mediados a fines de noviembre, para disponer de niveles adecuados en el período crítico de floración-formación de granos.

A modo de ejemplo los requerimientos de riego calculados para un año seco y otro húmedo, ascendieron en total a 205 mm y 50 mm respectivamente, para un suelo francolimoso con presencia de un horizonte compactado

(Figura 16), con un contenido inicial de agua en el suelo (CIA) promedio para la zona en el momento de la siembra.

Establecida la lámina de riego a aplicar, debe tenerse en cuenta la velocidad de infiltración del agua según las características físicas del suelo, la que va a limitar la cantidad a aplicar por unidad de tiempo.

La variabilidad de las lluvias y de los suelos de la región pampeana determina momentos diferentes de iniciación del riego y totales a aplicar, según las localidades y los años. También estos valores varían según la programación del riego efectuada de acuerdo con la cantidad de hectáreas a regar y a la capacidad del equipo. Por otra parte la aplicación de esta tecnología requiere de una serie de decisiones a tomar en cuanto al manejo del cultivo, como son la elección del híbrido, densidad de plantas, fecha de siembra, control de malezas y fertilización.

Agradecimientos

La autora agradece al técnico en agrometeorología O. Pérez y a la técnica agrónoma Estela Torioni la valiosa colaboración prestada en la realización de los archivos de datos, cálculos y gráficos que permitieron implementar e ilustrar este capítulo, como así también a la Sra. Marilín Lázari por su voluntad y predisposición al trabajo.

Bibliografía

- Andrade, F. H. 1992. Radiación y temperatura determinan los rendimientos máximos de maíz. Balcarce. Estación Experimental Agropecuaria. Informe Técnico N° 106. 16 p.
- Berón, R. y Blotta, L. A. 1995. Eficiencia de las lluvias en siembra directa. Pergamino, E.E.A. Carpeta de Producción Vegetal. Tomo XIII. Generalidades, información N° 127. 5 p.
- Bolsa de cereales, Buenos Aires, 1999. Maíz. Número estadístico 1996/97-1997/98: 54-83.
- Bonhomme, R. 1985. Application des sommes de température à l'étude des durées de phase chez

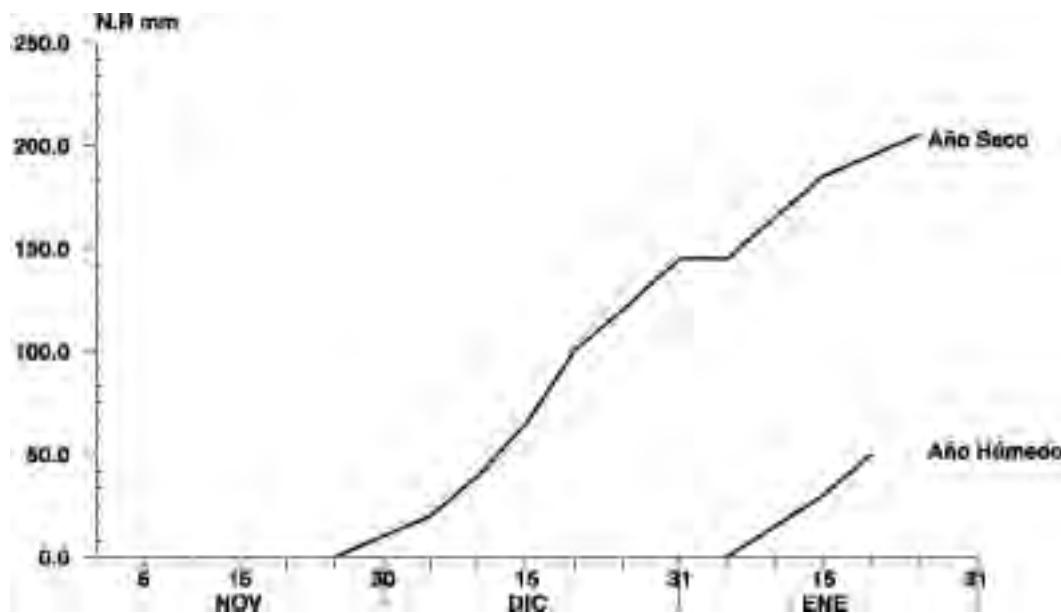


Figura 16: Requerimientos de riego (N.R) para un cultivo de maíz sembrado a fines de septiembre en un suelo argiudol típico de Pergamino con un CIA del 80% de la CC, calculados cada 5 días con el Yacu considerando ETR=ETM durante el período crítico (20 días antes y 20 después de la floración), y lluvias y temperaturas para 2 años considerados como seco y húmedo, respectivamente.

- le mais. In: Semaine de Formation. Les Bases de la Bioclimatologie. Méribel, 1985. París, INRA. t.2, pp. 199-203.
- Casagrande, G. A. y Vergara, G. T. 1996. Características climáticas de la región. In: Buschiazzo, D. et al eds. Labranzas en la región semiárida argentina. Anguil, Centro Regional La Pampa-San Luis. pp. 11-17.
- Gil, R. 1993. Cosechando milímetros de lluvia en el centro de la Pcia. de Córdoba. Producir Conservando. 2 (2): 4 - 6.
- Guevara, E. 1991. Role des caractères d'enracinement dans la tolerance au déficit hydrique du maïs (*Zea mays* L.) en Argentine. Thèse Docteur Ingénieur, Montpellier. Ecole Nationale Supérieure Agronomique. 87 p.
- Maturano, M. 1995. Métodos para la conducción del riego. Pergamino, E.E.A. Carpeta de Producción Vegetal. Tomo XIII, Generalidades, Información N° 128. 6 p.
- Maturano, M.; Guevara, E.; Meira, S. y Coca, G. 1997. Criterios de irrigación en el cultivo de maíz, eficiencia en el uso del agua. In: Congreso Nacional de Maíz, 6° , Pergamino, 1997. Actas. Pergamino, A.I.A.N.B.A. t.2, pp 234-243.
- Pecorari, C., Balcaza, L. y Frutos, E. 1988. Relaciones empíricas entre el contenido de agua, textura y materia orgánica en suelos representativos de la pampa ondulada. Pergamino. E.E.A. Informe Técnico N° 222. 30 p.
- Pergamino. Estación Experimental Agropecuaria. Laboratorio de suelos, 1974. Algunas consideraciones previas del «Estudio de la dinámica del agua en los principales suelos del área maicera pampeana». Pergamino, Fase Suelos Convenio I.N.T.A.-I.N.R.A. 20 p.
- Perrier, A. 1977. Projet de définitions concernant l'évapotranspiration en fonction de considérations théoriques et pratiques. Rapports français présentés au colloque de la C.I.I.D., Budapest, 1977. La Méteorologie (6e. serie) N° 11 : 7-16.
- Peters, D. B.; Pendleton, J. W.; Hageman, R. H.; Brown, C. M. 1971. Effect of night air temperature on grain yield of corn, wheat, and soybeans. Agronomy Journal. 63: 809.
- Puech, J.; Hernández, M. 1973. Evapotranspiration comparée de différentes cultures et étude de quelques facteurs influençant les rythmes de consommation. Annales. Agronomiques, 24 (4) : 435-437
- Rebella, C. M.; Totis de Zeljkovich, L. E. 1980. Probabilidades de deficiencias y excesos hídricos en la región de Pergamino. In: Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo, 9a, Paraná, 1980. Actas. Paraná, 1980 t.I. pp. 79-85.
- Robelin, M. 1962. Contribution à l'étude du comportement du maïs grain vis-à-vis de la sécheresse. In: Journées Internes de l'irrigation, Agen. Publ. AGPM.
- Santibañez, Q. F. ; Fuenzalida, P. 1992 . Modelos ecofisiológicos para el análisis de los potenciales de producción del maíz. In: Congreso Nacional de Maíz, 5° , Reunión Sudamericana, 2° . Pergamino, 1992. Conferencia. Pergamino. A.I.A.N.B.A.
- Shaw, R. H. 1988. Climate requirement. In: Sprague, G.F. and Dudley, J.W. eds. Corn and corn improvement. 3.ed. Madison, Wis., ASA-CSSA-SSSA. 986 p. (Agronomy N° 18).
- Totis de Zeljkovich, L. E.; Rebella, C. M.; Golberg, A. D. 1980. La evapotranspiración potencial en la región de Pergamino, medición y cálculo. In: Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo, 9a, Paraná, 1980. Actas. Paraná 1980. t.I, pp 63-71.
- Totis de Zeljkovich, L.E.; Rebella, C. M. 1980. Necesidades de agua de un cultivo de maíz en la región de Pergamino. In: Congreso Nacional de Maíz, 3° , Pergamino, 1980. Actas. Pergamino, A.I.A.N.B.A. pp 211-220.
- Totis de Zeljkovich, L.E; Zeljkovich, V. J.; Blotta, L. A. 1984. Sistemas de labranzas en la rotación trigo-soja-maíz. III. Efectos en el contenido de humedad del suelo y en el consumo y eficiencia del agua del cultivo de maíz. In: Congreso Nacional de Maíz, 3° , Pergamino, 1984. Actas. Pergamino, A.I.A.N.B.A. pp. 181-188.
- Totis de Zeljkovich, L.E; Frutos, E.; Rebella, C. M.; Funston, L. 1990. Probabilidades de ocurrencia de temperaturas mínimas y máximas del aire en la zona de Pergamino (Pcia. de Bs. As., R. Argentina). Pergamino. Estación Experimental Agropecuaria. Informe Técnico N° 235. 24 p.
- Totis de Zeljkovich, L.E ; Frutos, E.; Funston, L.; Amendola, C. 1991. Tendencias de temperaturas máximas y mínimas del aire para la localidad de Pergamino y su relación con la productividad del maíz. In: Congreso Argentino de Agrometeorología, 6° , Buenos Aires, 1991. Actas.
- Totis de Zeljkovich, L.E; Zeljkovich, V. J.; Blotta, L. A.; Hansen, O. M. 1992a. Evaluación de sistemas de manejo continuados. I. Efecto sobre los rendimientos del cultivo de maíz integrando la secuencia maíz-trigo/soja en Pergamino. In: Congreso Nacional de Maíz, 5° , Reunión Suramericana, 2° , Pergamino, 1992. Actas. Pergamino, A.I.A.N.B.A. t.2, pp. 195-206
- Totis de Zeljkovich, L.E; Frutos, E.; Funston, L. 1992b. Probabilidades de ocurrencia de la primera y última helada en la zona de Pergamino y su aplicación. Pergamino, E.E.A. Carpeta de Producción Vegetal. Tomo X, Generalidades, Información N° 79. 3p.
- Totis de Zeljkovich, L.E; Frutos, E.; Améndola, C.; Pérez, O. G; Martínez, S.; Funston, L. 1995. Caracterización probabilística del régimen térmico para la zona de Pergamino (Bs As), República Argentina. Pergamino. Estación Experimental Agropecuaria. Informe Técnico N° 300. 24 p.
- Totis de Zeljkovich, L.E; Frutos, E.; Améndola, C.; Hernandorena, C. O; Zeljkovich, V. J y Pérez, O. G. 1996. Yacu: Programa para el manejo del agua de riego en la región pampeana. In: Congreso Argentino de Meteorología, 7° , Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología, 7° , Buenos Aires, 1996. Actas. Buenos Aires, Centro Argentino de Meteorólogos. pp 23-24.
- Totis de Zeljkovich, L.E ; Zeljkovich, V. J.; y Pérez, O. G. 1997a. Manejo del agua de riego en el cultivo de maíz en la zona norte de la provincia de Buenos Aires. Revista Facultad de Agronomía (Buenos Aires), 17(1) : 1-6.
- Totis de Zeljkovich, L.E ; Zeljkovich, V. J. y Pérez, O. G. 1997b. Programación del riego para el cultivo de maíz en la región pampeana. In: Congreso

- Nacional de Maíz, 6° , Pergamino, 1997. Actas. Pergamino, A.I.A.N.B.A. t.2, pp 201-208.
- Totis de Zeljkovich, L.E. 1998. Yacu: Herramienta para la programación del riego. Resultados y difusión en la región pampeana. In: Congreso Nacional del Agua, 17° , Simposio de Recursos Hídricos del Conosur, 2° , Santa Fe, 1998. Actas, Santa Fe, Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral. pp 290-293.
- Zeljkovich, V. J.; Hansen, O. M.; Luqui, C. 1984. Rendimientos máximos de tres híbridos de maíz. In: Congreso Nacional de Maíz, 3° , Pergamino, 1984. Actas. Pergamino, A.I.A.N.B.A. pp.146-152.
- Zeljkovich, V. J.; Hansen, O. M.; Luqui, C. 1986. Efecto del riego en la producción de maíz. Pergamino, E.E.A. Carpeta de Producción Vegetal. Tomo VI, Maíz. Información N° 65.
- Zeljkovich, V.J.; Pecorari, C.A. 1987. Riego complementario en la zona maicera típica. Pergamino, E.E.A. Carpeta de Producción Vegetal. Tomo VIII, Maíz. Información N° 87. 10 p.
- Zeljkovich, V.J.; Pecorari, C. A.; Totis de Zeljkovich, L.E. 1988. Riego complementario en el área maicera típica. In: Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, 12° , Corrientes, 1988. Actas. Corrientes, Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. 159 p.
- Zeljkovich, V. J.; Totis de Zeljkovich, L. E.; Pérez; O. G.; Funston, L. 1989. Incidencia de las deficiencias de agua en los rendimientos de maíz con distintos sistemas de labranza. Pergamino, E.E.A. Carpeta de Producción Vegetal. Tomo IX, Maíz, Información N° 90. 7 p.
- Zeljkovich, V. J.; Totis de Zeljkovich, L. E ; Hansen, O. M.; Blotta, L. 1992. Eficiencia hídrica de los barbechos en la rotación trigo-soja-maíz con dos sistemas de labranza, en un suelo Argiudol Típico serie Pergamino, República Argentina. Pergamino, E.E.A. Informe Técnico N° 266. 16 p.
- Zeljkovich, V. J.; Totis de Zeljkovich, L. E.; Hansen, O. M. 1995. Estudios de alternativas de labranza en el área maicera argentina. In: Seminario sobre Sistemas de Producción en el Cultivo de Maíz, La Estanzuela, Uruguay. 1990. Montevideo, Uruguay, PROCISUR-IIICA. Diálogo 43).
- Zeljkovich, V. J .1997. Manejo del cultivo de maíz con riego en el norte y sudeste de la Provincia de Bs As. In: Congreso Nacional de Maíz, 6° , Pergamino, 1997. Actas. Pergamino, A.I.A.N.B.A. t.2, pp 258-262.

2. ECOFISIOLOGÍA DEL CULTIVO DE MAÍZ

***Alfredo Cirilo⁽¹⁾, Fernando Andrade⁽²⁾,
María Otegui⁽³⁾, Gustavo Maddoni⁽³⁾,
Claudia Vega⁽⁴⁾ y Oscar Valentínuz⁽⁵⁾***

⁽¹⁾EEA Pergamino INTA;

⁽²⁾UI Balcarce INTA-UNMP/Conicet;

⁽³⁾FA-UBA/Conicet; ⁽⁴⁾EEA Manfredi INTA;

⁽⁵⁾EEA Paraná INTA

Índice

Introducción	27
Desarrollo del cultivo	27
Factores que afectan el desarrollo	28
Crecimiento del cultivo	31
Captura de radiación	31
Eficiencia de conversión de la radiación	33
Generación del rendimiento	34
Determinación del número de granos	34
Determinación del peso del grano	36
La ecofisiología y el manejo del cultivo	38
Los rendimientos máximos	38
El agua y el rendimiento del cultivo	39
El manejo de la fecha de siembra	40
El manejo de la densidad de plantas	44
Desuniformidad de plantas en el cultivo	47
El manejo de la distancia entre hileras	48
El maíz en cultivos múltiples	49
Comentarios finales	52
Bibliografía	52

Introducción

Los rendimientos de maíz crecieron en forma sostenida en las últimas décadas. La notable mejora genética lograda (en potencial de rendimiento y en tolerancia a estrés, enfermedades, vuelco, etc.) fue en buena medida responsable de ese crecimiento, acompañada por mejoras en el manejo de los cultivos (fertilización, herbicidas, mecanización, etc.). No obstante, los rendimientos medios que se alcanzan actualmente están aún distantes de los rendimientos máximos obtenibles. Estas brechas entre los rendimientos reales y los potenciales pueden reducirse a partir de un mejor entendimiento de los procesos y mecanismos involucrados en la determinación del rendimiento del cultivo que permita construir bases sólidas sobre las cuales orientar su manejo.

El resultado final del cultivo es la consecuencia de las múltiples interacciones que tiene con el ambiente que lo rodea, el cual varía en el tiempo y el espacio. El propio cultivo también presenta patrones temporales de cambios. En este capítulo se analiza cómo y cuándo se forman y crecen los diferentes órganos de las plantas creciendo en comunidad, haciendo énfasis en cómo se modifica su habilidad para capturar y utilizar recursos y su susceptibilidad a condiciones ambientales adversas a lo largo del tiempo. Ciertos conceptos básicos referentes al desarrollo, crecimiento y generación del rendimiento son fundamentales para comprender y manejar el cultivo a fin de aumentar y estabilizar la producción y mejorar su eficiencia. La intención de este capítulo es presentar algunos de esos elementos que contribuyen al manejo racional del cultivo de maíz.

Desarrollo del cultivo

La progresión de etapas por las que atraviesa el cultivo se conoce como desarrollo. Si bien existen escalas para describir el ciclo de un cultivo de maíz a partir de sus cambios externos visibles (Ritchie y Hanway, 1982), tanto el meristema apical como las yemas axilares sufren importantes modificaciones mientras ocurren tales cambios externos. Las primeras cinco hojas (plúmula) y la radícula de la

futura planta se hallan ya preformadas en el embrión de la semilla madura. El número de primordios preformados en el embrión parece una característica propia de la especie y muy poco variable entre híbridos (Padilla y Otegui, 2005). Con adecuada humedad y temperatura en la cama de siembra, la aparición de la plúmula y la radícula durante la germinación indican el inicio del crecimiento de las raíces seminales y la elongación del mesocotile. Esto produce la emergencia de la primera hoja sobre la superficie del suelo protegida por el coleóptile, manteniendo el ápice de crecimiento a 2-3 cm debajo del suelo y continuando con la diferenciación de nuevos primordios de hojas. Con cuatro a diez hojas completamente expandidas en la planta se produce la iniciación floral del meristema apical, que comienza a diferenciar las espiguillas estaminadas correspondientes a la panoja. El número de hojas expandidas al momento de la iniciación floral es fuertemente dependiente del híbrido, siendo menor para el germoplasma cultivado en ambientes templado fríos de alta latitud y mayor para los tropicales. En ese momento del desarrollo dejan de formarse nuevos primordios foliares, quedando determinado el número total de hojas y, por lo tanto, el área foliar potencial que podrá alcanzar la planta. Al estado de seis hojas desplegadas comienza la elongación de entrenudos o encañazón. La elongación continúa en sentido acrópeto, pudiendo elongarse hasta cuatro entrenudos simultáneamente en ese orden. Poco tiempo después del inicio de encañazón, con siete a doce hojas expandidas, comienzan a diferenciarse en las yemas axilares de las hojas los primordios de inflorescencia que darán origen a las espigas, iniciándose en ellas la formación de espiguillas pistiladas (Otegui y Melón, 1997). El número de hileras de espiguillas, que será el de hileras de granos de la futura espiga, queda definido tempranamente, y está fuertemente controlado por el genotipo. La diferenciación de espiguillas sobre cada hilera continúa en progresión acrópeta hasta una o dos semanas previas a la floración (Pagano y col., 2007). En ese momento queda determinado el total de espiguillas diferenciadas, cada una con una flor fértil capaz de ser fecundada y, por lo tanto, queda definido el número potencial de granos que puede tener la planta.

Con la elongación de los últimos entrenudos se completa la emergencia de la panoja a través del cogollo de las hojas superiores que terminan de expandirse y se produce la antesis de sus flores y la liberación del polen (floración masculina). En este momento queda determinado el área foliar máximo y la altura final de las plantas. Cada flor individual libera polen sólo por un día, una panoja lo hace durante unos días y el proceso demora varios días en el cultivo, garantizando abundante disponibilidad de polen (Uribelarrea y col., 2002).

Con la aparición de los estigmas por fuera de las chalas en la espiga se inicia la floración femenina, la polinización y la consiguiente fecundación de los óvulos. Los primeros estigmas en emerger corresponden a la mitad basal de la inflorescencia, completándose el proceso en el lapso de cuatro a ocho días según genotipos y condiciones ambientales (Bassetti y Westgate, 1993b; Cárcova y col., 2003). Las flores fecundadas cesan de inmediato el crecimiento de sus estigmas, mientras que las no fecundadas continúan elongándolas por varios días después de su aparición. Los estigmas pierden notoriamente su receptividad a partir de la semana de su aparición, siendo nula luego de 14 días (Bassetti y Westgate, 1993a, b). El total de los estigmas de una espiga demora de 4 a 8 días en emerger, en una secuencia que sigue el patrón general de diferenciación y desarrollo en la misma. Una mayor sincronía floral en el desarrollo dentro de la inflorescencia y con respecto al de la panoja incrementa la oportunidad de fecundación de la mayoría de los óvulos diferenciados (Cárcova y col., 2000). Los híbridos modernos presentan mayor sincronía floral que los más antiguos (Luque y col., 1998). En condiciones de campo, sin restricciones ambientales y con densidad de plantas moderadas, la aparición de estigmas ocurre en general poco después (uno o dos días) del comienzo de la emisión del polen (protandria), aunque en algunos genotipos modernos y con baja densidad de plantas y ambiente favorable, el orden de aparición puede invertirse (protoginia). Las situaciones de estrés ambiental como sequía (Hall y col., 1981; Bolaños y Edmeades, 1996), alta densidad (Uribelarrea y col., 2002) y deficiencias minerales (D'Andrea y

col., 2006) pueden postergar sólo ligeramente la liberación de polen, pero provocan un importante retraso en la floración femenina.

Al finalizar la polinización queda determinado el número de ovarios fecundados (futuros granos) por espiga en el cultivo. Luego de la fecundación se produce un grado variable de aborto de granos según las restricciones ambientales (Echarte y col., 2004; D'Andrea y col., 2008) y la distinta susceptibilidad de los genotipos a ellas durante el período de cuaje (Luque y col., 2006; D'Andrea y col., 2008). El mismo se extiende entre 10 y 20 días postfloración (Cirilo y Andrade, 1994b; Otegui y Andrade, 2000), al cabo del cual queda definido el número de granos logrados por espiga. Por su parte, el número de espigas granadas por planta depende del genotipo (prolíficidad) y de las condiciones ambientales previas a la floración (Jacobs y Pearson, 1991; Otegui y Bonhomme, 1998).

El llenado del grano transcurre desde la fecundación hasta su madurez fisiológica, cuando cesa la acumulación de materia seca. Durante el período de cuaje, el llenado del grano transcurre a una muy baja tasa, pero tiene lugar una activa división celular formadora de su tejido endospermático. A esa fase le continúa otra de máxima tasa de llenado llamada fase linear o de llenado efectivo del grano, que representa más de la mitad del período total de llenado. En la fase final del llenado, su tasa de acumulación de biomasa declina progresivamente hasta hacerse nula, mientras continúa su activa pérdida de humedad. Completado el llenado, se forma una capa de abscisión (capa negra) en su base por necrosis de los haces vasculares, poniendo en evidencia la madurez fisiológica del grano. Queda definido así el peso seco final del grano que, junto al número de granos maduros, componen el rendimiento en grano del cultivo.

Factores que afectan el desarrollo

La duración de cada una de las etapas del ciclo ontogénico del maíz presenta gran variabilidad en función del genotipo y el ambiente (Ellis y col., 1992a y b). El conocimiento de la influencia de los factores determinantes del desarrollo del cultivo resulta de gran utilidad para orientar la

correcta elección del híbrido y de la fecha de siembra. Ambas variables de manejo permiten adecuar los requerimientos del cultivo a la oferta ambiental existente en cada localidad, optimizando su aprovechamiento y evitando la ocurrencia de las etapas más críticas durante los momentos de mayor riesgo climático. Además, la predicción de la duración de las etapas del ciclo del cultivo permite el empleo eficiente de pesticidas y fertilizantes al posibilitar su aplicación oportuna, a la vez que resulta imprescindible en la sincronización de las floraciones masculina y femenina para la producción de semilla híbrida, en el escalonamiento de la producción en la industria de maíz fresco para enlatado o en el ensilado de forraje, así como la obtención anticipada de la cosecha de grano por razones de mercado o disposición oportuna del terreno en un esquema de rotación de cultivos.

La temperatura (Ritchie y NeSmith, 1991; Ellis y col., 1992b) y el fotoperíodo (Kiniry y col., 1983; Tollenaar y Hunter, 1983; Warrington y Kanemasu, 1983a, b, c; Ellis y col., 1992a) son las variables ambientales que más influyen sobre el desarrollo del cultivo de maíz. El progreso del desarrollo o tasa muestra una respuesta lineal a la temperatura entre una temperatura base a la cual la tasa de desarrollo es nula y una temperatura óptima a la cual se alcanza la máxima tasa (Figura 1). Por encima de la temperatura óptima el desarrollo se reduce progresivamente hasta cesar en un umbral máximo de temperatura.

Por lo general, la mayoría de las etapas ontogénicas en maíz reconocen una temperatura base cercana a los 8°C (Jones y Kiniry, 1986; Ritchie y NeSmith, 1991; Cirilo, 1994; Otegui y col., 1996), aunque se han reportado valores entre 3°C y 10°C dependiendo del genotipo y la etapa considerada (Padilla y Otegui, 2005). En cambio, pocos estudios aportan evidencia experimental sobre el valor de temperatura óptima a partir de la cual la velocidad de desarrollo deja de ser lineal, ubicándola

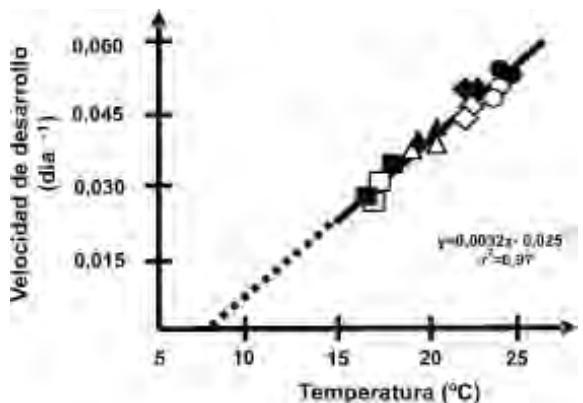


Figura 1: Relación entre la velocidad de desarrollo de maíz desde la emergencia del cultivo hasta la iniciación floral en el ápice y la temperatura del suelo a los 5 cm de profundidad, para un híbrido de ciclo corto (símbolos llenos) y otro de ciclo largo (símbolos vacíos) en condiciones de campo sin limitantes hídricas ni nutricionales. Los puntos graficados corresponden a siembra de septiembre (cuadrados), octubre (triángulos), noviembre (rombos) y diciembre (círculos) en Balcarce. Adaptado de Andrade y col., 1996.

entre 30 y 34°C (Tollenaar y col., 1979; Kiniry y Bonhomme, 1991). Por su parte, varios autores coinciden en que la temperatura máxima a la cual cesa el desarrollo en maíz se encuentra entre 40 y 44°C (Blacklow, 1972; Kiniry y Bonhomme, 1991). Esta respuesta sustentó la elaboración de diversos métodos de cálculo del tiempo térmico (a través de funciones de ajuste lineales, exponenciales o ecuaciones más complejas) ampliamente usados para predecir, con éxito variable, el momento de ocurrencia de distintos eventos fenológicos en maíz basados en la acumulación térmica entre esas temperaturas cardinales (Ritchie y NeSmith, 1991). La temperatura modula la germinación de la semilla y la diferenciación foliar en el ápice de crecimiento. Así, la diferenciación de cada nuevo primordio en el meristema demanda alrededor de 24 a 36 grados-día sobre una temperatura base entre 4 y 8.2 °C para diferenciarse, mientras su expansión hasta convertirse en una hoja visible requiere de 48.6 a 65.5 grados-día con una temperatura base entre 3 y 5 °C (Padilla y Otegui, 2005).

El número de hojas a desplegar y su velocidad de aparición determinan la duración

del período entre la inducción floral del ápice y el panojamiento en maíz. Debido a que el fotoperíodo tiene escasa o nula influencia en la velocidad de aparición de hojas (Warrington y Kanemasu, 1983b; Manrique y Hodges, 1991), la temperatura es el principal factor modulador del desarrollo hasta la floración. Debido a que los genotipos de maíz de ciclo más largo necesitan mayor suma térmica para el cambio de estado del ápice, la producción de primordios foliares se extiende por mayor tiempo, y ésto explica el mayor número total de hojas en comparación con genotipos más precoces. Consecuentemente, tales genotipos tendrán un mayor requerimiento térmico total para desplegar sus hojas, incrementando la acumulación de grados-día necesaria para alcanzar la floración.

La duración del período entre la floración y la madurez fisiológica para un genotipo dado depende, esencialmente, de la temperatura a través de su efecto sobre la tasa de llenado del grano (Cirilo y Andrade, 1996; Kiniry y Bonhomme, 1991). En consecuencia, la duración de la etapa dependerá del peso final que puede lograr el grano y de la velocidad en alcanzarlo en función de la temperatura. No obstante, situaciones ambientales desfavorables que determinen una insuficiente provisión de asimilados a los granos pueden limitar su peso final adelantando la formación de la capa de abscisión (Cirilo y Andrade, 1996; Maddonni y col., 1999).

El fotoperíodo afecta directamente el momento de iniciación de la panoja en el meristema apical del maíz, sin influir sobre el desarrollo de las otras etapas ontogénicas del maíz (Ellis y col., 1992a) ni en la velocidad de aparición de hojas (Manrique y Hodges, 1991). El maíz responde al fotoperíodo como una especie cuantitativa de día corto, lo cual implica que fotoperíodos cortos promueven una inducción floral más rápida del meristema en los genotipos sensibles (no todos lo son). Sin embargo, la respuesta al fotoperíodo reconoce la existencia de un valor umbral, generalmente igual o superior a 12,5 horas, por encima del cual la inducción floral se demora proporcionalmente con el aumento del fotoperíodo (Kiniry y col., 1983a; Figura 2). La etapa vegetativa del meristema reconoce dos subetapas, una temprana insensible al fotoperíodo que es seguida por otra sensible al mismo. La primera, identificada como etapa juvenil, tiene una duración

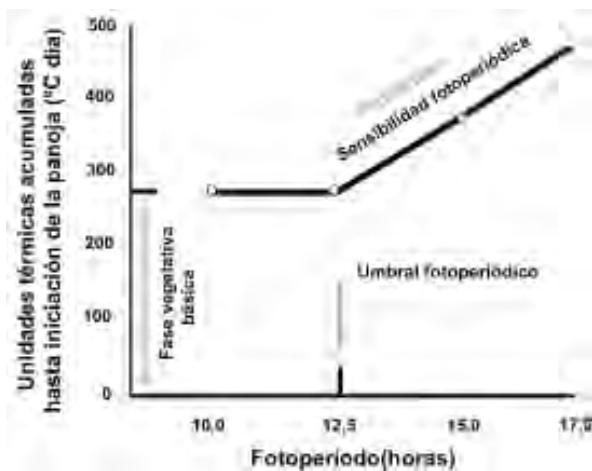


Figura 2: Tiempo térmico (sobre temperatura base de 8°C) desde la emergencia del cultivo hasta la iniciación floral en el ápice en función del fotoperíodo. Adaptado de Kiniry y col., 1983a.

variable según el genotipo (Otegui y col., 1996). En condiciones de fotoperíodos cortos (altamente inductivos), la fase de inducción presenta su menor duración, comenzando cuatro a ocho días antes de la iniciación de la panoja según el genotipo (Kiniry y col., 1983b). Incrementos en el largo del día por encima del valor umbral prolongan el tiempo hasta la inducción floral del ápice (Kiniry y col., 1983a; Ellis y col., 1992a). Existe gran variabilidad genotípica tanto en el valor del umbral fotoperiódico como en la sensibilidad de la respuesta fotoperiódica, siendo normalmente los genotipos de madurez tardía los de mayor sensibilidad (Ellis y col., 1992a; Bonhomme y col., 1994). Por su parte, los cultivares tropicales muestran, en general, mayor sensibilidad que los adaptados a ambientes templados (Bonhomme y col., 1991).

Fotoperíodos largos durante la fase inducible pueden resultar en la producción de más primordios foliares en los cultivares sensibles al demorar el momento de iniciación de la panoja en el ápice y, consecuentemente, en más hojas que deben emerger antes del panojamiento. Sin embargo, los fotoperíodos largos no se traducirán en un mayor número de hojas si son acompañados de bajas temperaturas que depriman la actividad meristemática en el ápice; o aparecerán asociados con una iniciación anticipada de la panoja si prevalece el efecto de temperaturas altas sobre la velocidad de desarrollo.

Crecimiento del cultivo

El crecimiento del cultivo resulta de la acumulación de biomasa vegetal. Esa ganancia de peso se debe, principalmente, al balance neto positivo del intercambio de carbono entre la planta y su ambiente. En dicho balance, las pérdidas por respiración son sobrecompensadas a través del proceso de fotosíntesis, mediante el cual la planta transforma parte de la energía solar recibida en energía química. Por lo tanto, la acumulación de biomasa en el cultivo depende de la cantidad de radiación solar disponible, de la capacidad del canopeo para interceptarla y de la eficiencia con que el cultivo convierte la radiación capturada en biomasa vegetal. El maíz es muy eficiente en convertir radiación en biomasa gracias a su metabolismo fotosintético del tipo C4, superando a otros cultivos pampeanos extensivos como la soja y el trigo con metabolismo C3. En un día diáfano de verano en la zona maicera núcleo argentina, un cultivo de maíz libre de limitaciones hídricas, nutricionales o sanitarias es capaz de acumular entre 350 y 400 kg de materia seca por hectárea (Andrade y col., 1996).

Captura de radiación

El aprovechamiento de la oferta de radiación por un cultivo en una localidad dada está condicionado por la

oportunidad y duración de su crecimiento, en función de la fecha de siembra, el largo del ciclo del genotipo y los factores que controlan su desarrollo. Cuanto mayor sea la duración del ciclo del cultivo, mayor será la cantidad de radiación incidente durante una determinada estación de crecimiento. De la radiación incidente, sólo la fracción comprendida entre longitudes de onda de 400 y 700 nanómetros es utilizable en el proceso de fotosíntesis. Por otro lado, no toda la radiación incidente durante el período de crecimiento es aprovechada por el cultivo. En los primeros estadíos del ciclo el cultivo carece de la superficie foliar suficiente como para captar toda la luz incidente. A medida que despliega nuevas hojas, la proporción de radiación que es interceptada por el cultivo aumenta. La tasa de crecimiento del cultivo aumenta a medida que se incrementa la eficiencia de intercepción de radiación, alcanzándose los valores máximos cuando el porcentaje de intercepción se aproxima al 95% (Figura 3). La temperatura afecta el crecimiento y el desarrollo foliar modificando la velocidad de instalación y la magnitud del área foliar y, por lo tanto, la eficiencia de intercepción (Maddonni y Otegui, 1996). La instalación temprana de altos niveles de cobertura en el cultivo y el mantenimiento de la superficie foliar fotosintéticamente activa durante el mayor tiempo posible aseguran interceptar mayor cantidad de radiación a lo largo del ciclo y, bajo situaciones no limitantes, producir más biomasa.

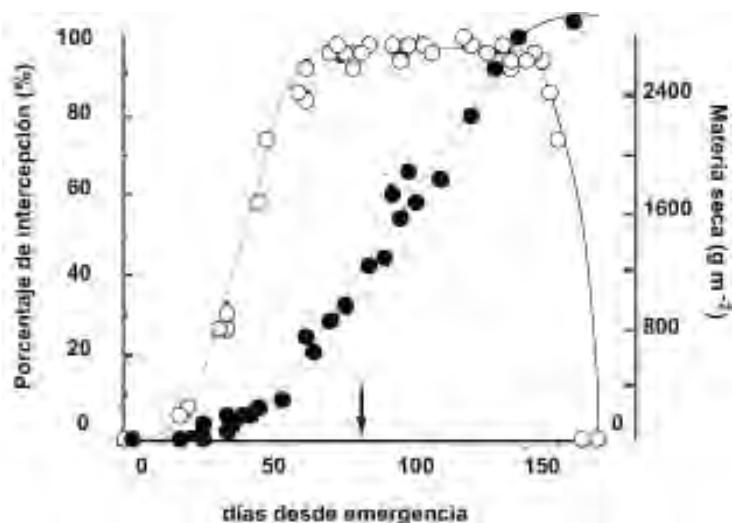


Figura 3: Evolución de la acumulación de biomasa aérea (símbolos llenos) y del porcentaje de intercepción de la radiación solar fotosintéticamente activa incidente (símbolos vacíos) en el cultivo en función del tiempo para un híbrido de ciclo completo durante dos campañas en condiciones de campo y sin limitantes hídricas ni nutricionales en Balcarce. La flecha indica el momento de 50% de floración femenina y los símbolos sobre el eje de abscisas marcan el momento de madurez fisiológica. Adaptado de Andrade y col., 1996.

La magnitud de la superficie foliar fotosintéticamente activa expresada por unidad de superficie de suelo define el índice de área foliar del cultivo (IAF, en m^2 de hojas por m^2 de suelo). Dicho valor permite caracterizar, junto con otros parámetros, la organización de su canopeo. El IAF que posibilita alcanzar las máximas tasas de crecimiento se denomina IAF crítico y su valor varía según las condiciones ambientales y culturales. En maíz se ubica usualmente en valores entre 4 y 5. Para un genotipo y ambiente determinados, el tiempo que demora un cultivo de maíz en alcanzar el máximo nivel de intercepción lumínica depende de la cantidad de plantas y de su distribución espacial (Maddonni y col., 1997). Sin restricciones bióticas ni abióticas, la cobertura máxima alcanzada por el cultivo se mantiene por un período de 60 a 80 días según el genotipo y las condiciones de crecimiento (nivel de irradiancia, densidad de plantas). Durante dicho lapso el cultivo puede mantener tasas de crecimiento altas.

La cobertura del cultivo está fuertemente afectada por la disponibilidad de agua. Gran parte del efecto de deficiencias hídricas se explica a través de la reducción en el crecimiento foliar o la aceleración de la senescencia y, por lo tanto, de la intercepción de radiación (Otegui y col., 1995a; Figura 4). El primer efecto de las deficiencias hídricas sobre la planta lo constituye la pérdida de turgencia celular que afecta la tasa de expansión foliar (Hsiao y Acevedo, 1974). Este proceso ya comienza a ser afectado a potenciales de

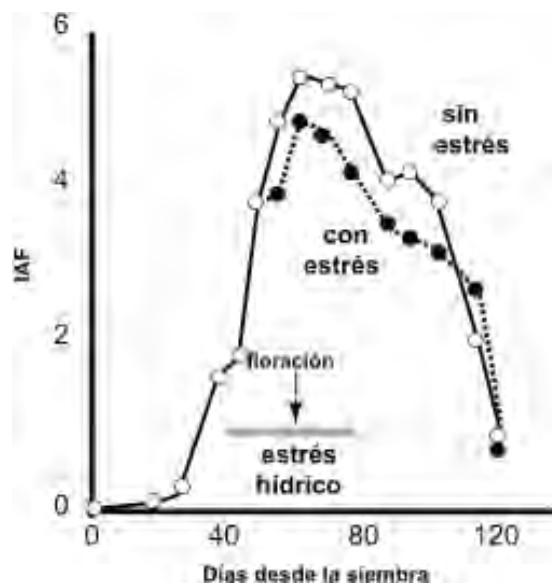


Figura 4: Evolución del índice de área foliar (IAF) de maíz para dos condiciones hídricas: sin deficiencias de agua (círculos vacíos) y con déficit hídrico moderado durante el período indicado por la barra horizontal (círculos llenos). La flecha indica el momento de 50% de floración femenina. Adaptado de Otegui, 1992.

agua en los tejidos foliares todavía no restrictivos para reducir otros procesos metabólicos, como la fotosíntesis y la respiración (Boyer, 1970; Sadras y Milroy, 1996).

Las deficiencias de nitrógeno también afectan marcadamente la tasa de expansión

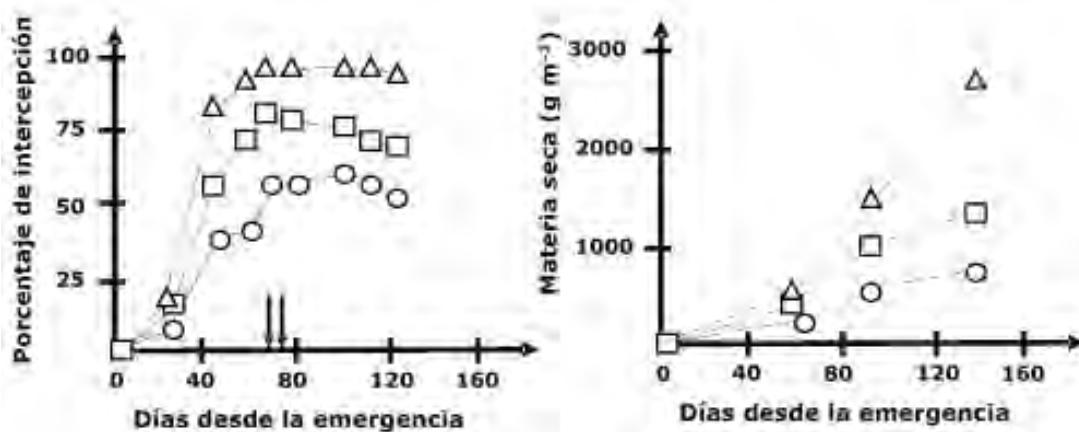


Figura 5: Porcentaje de intercepción por el cultivo de la radiación fotosintéticamente activa incidente (izquierda) y biomasa aérea acumulada (derecha) en función del tiempo desde la emergencia para diferentes niveles de disponibilidad nitrogenada: severa restricción (círculos), déficit moderado (cuadrados) y sin limitación (triángulos). Las flechas indican el momento de 50% de floración femenina para los niveles mayor (izquierda) y menor (derecha) de nitrógeno disponible. Adaptado de Uhart y Andrade, 1995b.

foliar, reduciendo el área final de las hojas y consecuentemente el IAF (Uhart y Andrade, 1995a; Muchow, 1988; McCullough y col., 1994; D'Andrea y col., 2006). El estrés nitrogenado produce una coloración verde claro a amarillenta en las hojas debido a la merma en el contenido de clorofila y su senescencia anticipada. Como consecuencia de la menor área foliar activa resultante se reduce la proporción de radiación incidente interceptada por el canopeo y, en consecuencia, la producción de biomasa (Figura 5).

Eficiencia de conversión de la radiación

La radiación solar capturada por el canopeo es convertida en biomasa a través de la fotosíntesis. El maíz tiene una alta eficiencia de conversión o de uso de la radiación (EUR) ya que no presenta fotorrespiración detectable por poseer un metabolismo de fijación de carbono por la vía C4, lo que le confiere un ritmo fotosintético entre un 30 y un 40% mayor que el de las especies C3 (Hesketh, 1963). Además, su canopeo está integrado por hojas con hábito erectófilo y buena separación vertical entre ellas, lo que le otorga un bajo coeficiente de extinción lumínica que posibilita una penetración y distribución más uniforme de la luz en el perfil del canopeo (Maddonni y Otegui, 1996). Ello le confiere ventajas comparativas para la fotosíntesis una vez alcanzados altos valores de cobertura.

El costo energético de los principales metabolitos producidos por la planta de maíz es bajo y prácticamente similar en sus distintas etapas ontogénicas. El maíz produce principalmente celulosa durante su fase de crecimiento vegetativo y almidón durante el llenado de los granos; ambos polisacáridos de menor valor energético que las proteínas o las grasas (un gramo de glucosa produce 0,8 g de carbohidratos, 0,6 g de proteínas y 0,4 g de lípidos; Varlet Grancher y col., 1982). En condiciones normales de cultivo (fecha de siembra oportuna, buena disponibilidad hídrica y nutricional) el maíz presenta una relación sostenidamente lineal entre la cantidad acumulada de materia seca y la radiación interceptada a lo largo de su ciclo (Andrade, 1995; Figura 6). Sin

embargo, dado que las bajas temperaturas ejercen un efecto negativo sobre la EUR (Andrade y col., 1993a), ésta puede verse disminuida durante las etapas iniciales del período vegetativo del cultivo en siembras muy tempranas, así como durante la fase final del llenado de granos en siembras muy tardías en ambientes templados (Cirilo y Andrade, 1994a; Otegui y col., 1995b; Ying et al., 2000).

Las deficiencias hídricas también afectan la EUR, aunque el efecto relativo es menor que el correspondiente a la expansión de tejidos. El maíz posee alta sensibilidad estomática en sus hojas que le permite regular eficazmente la pérdida de agua mediante la apertura y cierre oportunos de sus estomas frente a limitaciones en la disponibilidad hídrica (Farquhar y Sharkey, 1982; Andrade y Gardiol, 1995). Sin embargo, ello entorpece la difusión del dióxido de carbono hacia los sitios de carboxilación en las hojas, disminuyendo el ritmo fotosintético del cultivo y así la EUR, lo cual contribuye a deprimir la tasa de crecimiento del cultivo en situaciones de estrés hídrico (Muchow, 1989; Otegui y col., 1995a; Earl and Davis, 2003).

Deficiencias en la nutrición nitrogenada del cultivo también afectan la eficiencia de conversión (Figura 7), con un impacto relativo igual al descrito para las deficiencias hídricas (proporcionalmente mucho más a la expansión que a la fotosíntesis). Sin embargo,

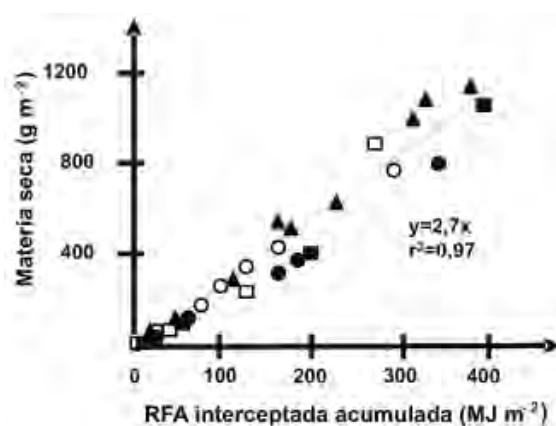


Figura 6: Relación entre la biomasa aérea acumulada y la radiación solar fotosintéticamente activa (RFA) interceptada por cultivos de maíz durante la etapa emergencia-floración en Balcarce (los diferentes símbolos corresponden a cinco años distintos). Adaptado de Andrade y col., 1996.

las reducciones del IAF promovidas por deficiencias nitrogenadas leves a moderadas no necesariamente implicarán cambios drásticos en la eficiencia de intercepción, en tanto el cultivo alcance un IAF cercano al crítico (Muchow y Davis, 1988; Uhart y Andrade, 1995b). Desbalances en la disponibilidad de asimilados para los granos durante su llenado (relación fuente-destino) también pueden afectar la eficiencia de conversión en maíz. Durante el período de postfloración, esa eficiencia disminuye cuando la relación entre la fuente asimilatoria y los destinos reproductivos en crecimiento (relación fuente-destino) aumenta (Rajcan y Tollenaar, 1999; Borrás y Otegui, 2001), posiblemente por mecanismos de inhibición fotosintética provocados por la acumulación del producto final ante limitaciones en la magnitud de los destinos. También cultivos densos de maíz sembrados en surcos angostos pueden presentar una eficiencia de conversión reducida durante el período de llenado de los granos, asociada al consecuente empobrecimiento del ambiente lumínico dentro del canopeo y a su senescencia más acelerada (Maddonni y col.,

2006) o a la pérdida excesiva de estructuras reproductivas, como granos y espigas (Andrade y col., 2002a).

Generación del rendimiento

El rendimiento en grano queda determinado por la manera en que el cultivo partitiona la biomasa acumulada durante su crecimiento entre los órganos de cosecha y el resto de la planta. Durante los primeros días del ciclo, el crecimiento del cultivo está en su mayor parte orientado a generar nuevos tejidos foliares. Posteriormente, durante la etapa de encañazón, el crecimiento del tallo es el que da cuenta de la mayor parte del aumento del peso total de la planta. Luego de la floración se detiene la producción de tejido foliar, el tallo continúa su incremento de peso durante un lapso de dos a tres semanas (debido a la acumulación de sustancias de reserva) e inmediatamente después los órganos reproductivos (granos) inician un acelerado proceso de crecimiento. Hasta la floración, el cultivo acumula apenas alrededor del 40 % del peso aéreo total a cosecha. Durante la etapa postfloración, la planta experimenta un proceso de removilización y translocación de reservas (carbohidratos y nutrientes) desde el resto de la misma hacia los granos, por lo que los órganos vegetativos sufren una pérdida neta de peso hacia el final del ciclo del cultivo. Al llegar a la madurez fisiológica, el peso de los granos puede representar cerca de la mitad del total de las partes aéreas de la planta. Esa proporción se designa con el nombre de índice de cosecha.

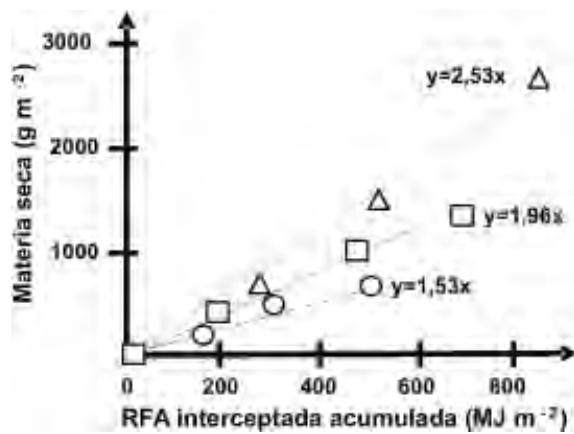


Figura 7 – Relación entre la biomasa aérea acumulada y la radiación fotosintéticamente activa (RFA) interceptada acumulada por el cultivo para diferentes niveles de disponibilidad nitrogenada: sin limitación (triángulos), déficit moderado (cuadrados) y severa restricción (círculos). Las regresiones (forzadas por el origen) presentan valores de $r^2 > 0,98$. Las pendientes de las rectas de regresión (b) representan la eficiencia de conversión.

Determinación del número de granos

El rendimiento en grano de un cultivo de maíz se compone del número de granos producidos y del peso medio de los mismos. Tanto el número como el peso de los granos responden a los cambios que experimentan las condiciones de crecimiento del cultivo en los momentos del ciclo en que cada componente es determinado. De los dos componentes, el número de granos maduros es el que está más estrechamente

relacionado con las variaciones en el rendimiento del maíz a campo (Cirilo y Andrade, 1994a; Otegui, 1995). La cantidad de estructuras florales diferenciadas, potencialmente viables para dar granos maduros, no es el principal determinante en maíz del número de granos que alcanza la cosecha sino la supervivencia de esas estructuras fecundadas (Cirilo y Andrade, 1994b; Otegui y Andrade, 2000). De modo que en maíz cobran crucial importancia los factores y mecanismos involucrados en el aborto de esas estructuras.

En el período de cuatro semanas centrado en la floración femenina el cultivo de maíz es particularmente sensible a cualquier estrés de crecimiento en cuanto al número final de granos logrados (Hall y col., 1981; Fischer y Palmer, 1984; Kiniry y Ritchie, 1985). Durante dicho período ocurre el crecimiento activo de la espiga, la aparición de los estigmas (barbas) y el comienzo del llenado del grano (Otegui y Bonhomme, 1998). Durante la primera mitad del período crítico previa a la aparición de los estigmas queda determinado el número de espigas por planta capaces de granar, mientras que en la segunda mitad se determina el número de granos fijados por espiga granada. El número de granos cosechados en el cultivo responde a las variaciones en la tasa de crecimiento que experimentó el cultivo durante el período crítico. Esta relación está caracterizada por una zona de respuesta positiva del número de granos fijados ante aumentos en la tasa de crecimiento, hasta un valor a partir del cual el aumento del número de granos fijados se hace sensiblemente menor (Figura 8). Este comportamiento está relacionado con el estado fisiológico de las plantas individuales en el cultivo alrededor de la floración. Dicho estado se refleja en su tasa de crecimiento, y determina su capacidad para fijar granos durante esa etapa crítica (Vega et al., 2001b). Existe una función de respuesta curvilinear del número de granos fijados a la tasa de crecimiento de la planta en la etapa, donde se observa un umbral de crecimiento por planta por debajo del cual no tendrá una espiga con granos a la cosecha (planta estéril), luego una zona de respuesta decreciente (hasta

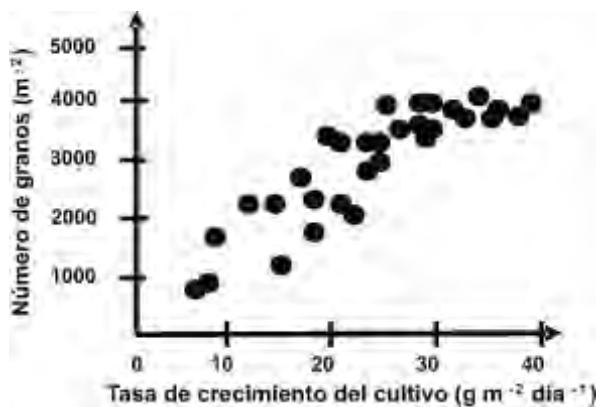


Figura 8: Relación entre el número de granos logrados y la tasa de crecimiento del cultivo durante el período de dos semanas previas y dos semanas posteriores a la floración femenina para maíces cultivados en distintas condiciones de disponibilidad hídrica, nutricional o radiativa. Adaptado de Andrade y col., 1996.

hacerse nula) de la granazón a incrementos en la tasa y, finalmente, otro umbral a altos valores de crecimiento por planta por encima del cual se logran dos espigas viables (Figura 9). Si bien este tipo de respuesta es característico de la especie, se ha encontrado variabilidad genotípica en los parámetros de la función de respuesta (Tollenaar y col.; 1992; Echarte y col., 2004; Luque y col., 2006). La relación es consistente aún para diversas situaciones de densidad de siembra, disponibilidad de agua, radiación, nitrógeno o régimen térmico que afectan la tasa de crecimiento de la planta (Andrade y col., 1999; Cantarero y col., 1999; Otegui y Andrade, 2000; Andrade y col., 2002c), aunque se ha encontrado importante variabilidad genotípica en la respuesta ante estrés hídrico (Echarte y Tollenaar, 2006) o nitrogenado (D'Andrea y col., 2006; D'Andrea y col., 2008).

Los granos que abortan son los más jóvenes, ubicados hacia la punta de la espiga de maíz. Los estigmas correspondientes a los óvulos apicales son los últimos en emerger, por lo cual son fertilizados tardíamente e inician su crecimiento más tarde (Tollenaar y Daynard, 1978a). Esto sugiere que el aborto de granos en posiciones apicales de la espiga estaría relacionado con una situación de competencia desfavorable por asimilados con

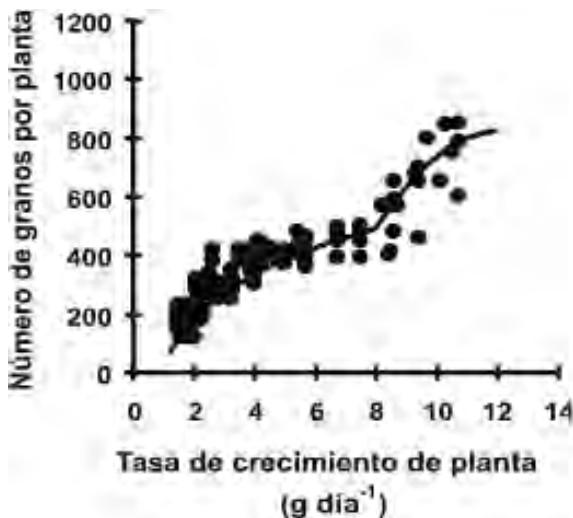


Figura 9: Relación entre el número de granos cosechados por planta y la tasa de crecimiento de la planta durante el período de floración (desde dos semanas previas a dos semanas posteriores) en maíz. El incremento de granos por planta a altas tasas de crecimiento corresponde a la granazón en la espiga secundaria (adaptado de Andrade y col., 1999).

respecto a los granos del resto de la espiga cuando aquellos resultan escasos. En efecto, una mayor sincronía en la fecundación entre y dentro de las espigas favorece la capacidad de la planta de fijar granos en floración (Cárcova y col., 2000; Cárcova y Otegui, 2001). Este efecto positivo de una polinización sincronizada no es atribuible a que los ovarios apicales hayan alcanzado un tamaño comparable al de los basales al momento de la polinización (Cárcova y Otegui, 2007), sino a que permite a más ovarios a lo largo de la espiga empezar a competir simultáneamente por asimilados para llenar el grano, disminuyendo la dominancia primigenia (Bangerth, 1989) y consecuentemente el aborto en posiciones apicales. Por consiguiente, la dinámica de emisión de estigmas, que determina la oportunidad de polinización y fecundación de los mismos, contribuye a explicar las variaciones en el número de granos fijados entre genotipos para un ambiente dado (Cárcova y col., 2000; Cárcova y Otegui, 2001).

Determinación del peso del grano

El segundo componente del rendimiento, el peso del grano, resulta de la duración de su período de llenado y de la tasa a la cual acumula materia seca. Esta acumulación reconoce tres etapas. La primera se extiende desde la fecundación del ovario hasta cerca de dos semanas posteriores. Durante esta etapa, conocida como fase “lag”, el peso seco del grano se incrementa muy levemente pero ocurre allí una activa división celular que determina el número de células endospermáticas y de amiloplastos que constituirán los sitios de deposición de almidón (Reddy y Daynard, 1983; Jones y col., 1996). En la etapa siguiente, llamada fase de llenado efectivo, el grano incrementa su peso seco sostenidamente en forma lineal y acumula más del 80% del peso final. En la etapa final, la tasa de llenado declina notoriamente hasta hacerse nula al momento de alcanzarse la madurez fisiológica, cuando pierden funcionalidad los haces vasculares que conectaban al grano con la planta madre y el grano alcanza su peso seco final.

En la fase “lag”, durante la cual la espiga completa su alargamiento (Otegui y Bonhomme, 1998) y queda determinado el número de granos cosechables (Cirilo y Andrade, 1994b), queda también determinado el tamaño potencial del grano en función del número de células endospermáticas y gránulos de almidón diferenciados que definen la capacidad posterior del grano como destino de deposición de reservas (Capitanio y col., 1983). La disponibilidad de fotoasimilados por grano fijado durante esta etapa inicial del desarrollo del grano de maíz determina el tamaño máximo que el mismo podrá alcanzar en madurez (Gambín y col., 2006). Restricciones en dicha disponibilidad, como las provocadas por cualquier estrés abiótico (Jones y col., 1985; Ouattar y col., 1987), limitarán el peso final del grano.

Un mayor tamaño potencial del grano definido en la fase “lag” determina una mayor tasa efectiva de llenado durante la fase de crecimiento lineal (Gambín y col.; 2006) como consecuencia del mayor número de sitios de deposición del almidón (Reddy y Daynard, 1983). La expresión de ese potencial dependerá, a su vez, de la acumulación

de agua en la primera parte del llenado activo del grano, la cual contribuye a definir el volumen máximo que podrá alcanzar el mismo (Gambín y col., 2007). Por lo general, las modificaciones en la tasa de llenado del grano explican más estrechamente las variaciones en el peso final del grano de maíz que las variaciones en la duración de la etapa (Borrás y Otequi, 2001). Los genotipos de mayor peso de grano presentan altas tasas de llenado (Maddonni y col., 1998). La tasa de llenado responde positivamente a la temperatura de la etapa (Cirilo y Andrade, 1996), aunque a elevadas temperaturas el acortamiento de su duración no alcanza a ser compensado por la mayor tasa y el peso final del grano quedará limitado (Thompson, 1986; Keeling y col., 1994). Variaciones en las condiciones de crecimiento del cultivo durante el período de llenado efectivo del grano también pueden afectar su peso final al modificar la disponibilidad de fotoasimilados (fuente) para cada grano en crecimiento (Tollenaar y Daynard, 1978 a y b; Cirilo y Andrade, 1996; Gambín y col., 2008). Ante reducciones transitorias en la tasa fotosintética de la planta durante esa etapa lineal de crecimiento del grano, su tasa de crecimiento se mantiene relativamente constante gracias a la removilización de carbohidratos almacenados en órganos de reserva (Kiniry y col., 1992; Cirilo y Andrade, 1996; Rajcan y Tollenaar, 1999). Sin embargo, aunque las reducciones de fuente no afecten la tasa de llenado sí pueden acelerar la pérdida de agua desde los granos, y esto dar lugar a un acortamiento de la duración del llenado (Gambín y col., 2007). Si la limitación en la provisión de asimilados se prolonga y las reservas se agotan, el grano interrumpe anticipadamente su llenado reduciendo marcadamente su peso final. Entonces, la duración del período de llenado depende del equilibrio entre la disponibilidad de asimilados disponibles para cada grano, la tasa con que los mismos son demandados para su llenado y el ritmo de pérdida de agua desde los mismos. Si los asimilados son suficientes para abastecer la demanda durante el llenado efectivo de los granos, éstos alcanzarán su peso potencial definido en la primera etapa de su crecimiento. En cambio, si la provisión de asimilados es baja, se

reduce la duración del período de llenado debido al cese de su crecimiento, dando lugar a su madurez fisiológica anticipada. Esto último ocurre en condiciones desfavorables para el crecimiento del cultivo durante el llenado de los granos por baja radiación incidente (nubosidad, siembras tardías), por baja eficiencia de intercepción de la misma debida a pérdida de área foliar activa (granizo, sequía, enfermedades foliares, insectos defoliadores) o por baja eficiencia de conversión (sequía, baja temperatura) que reducen el peso final del grano.

En zonas productoras de maíz de clima templado y en condiciones normales de cultivo existe una alta oferta de radiación y temperaturas favorables para mantener un vigoroso crecimiento del cultivo durante la etapa de llenado de los granos que aseguran una abundante disponibilidad de fotoasimilados por grano. En tales ambientes los granos alcanzan por lo general su peso potencial (Figura 10), quedando definidos los rendimientos por el número de granos que el cultivo fue capaz de fijar. En cambio, en regiones maiceras de altas latitudes los cultivos están expuestos a intensidades de radiación y temperaturas declinantes durante el llenado de los granos. En estas regiones, y también en siembras muy tardías en climas templados, la producción de fotoasimilados por grano resulta insuficiente para el crecimiento de los granos y no alcanza a ser compensada por la removilización de reservas. En tales condiciones, el peso del grano será reducido, generando reducciones en el rendimiento por fuente insuficiente (Wilson y col., 1995; Cirilo y Andrade, 1996; Maddonni y col., 1998). A diferencia de otros cereales, como el trigo, el cultivo de maíz es altamente sensible a reducciones de fuente de asimilados durante el llenado de los granos, pudiendo registrar caídas en el peso de igual magnitud proporcional que las registradas en la fuente (Borrás y col., 2004). Por el contrario, el cultivo de maíz responde muy escasamente a mejoras de la fuente durante el llenado del grano (Borrás y col., 2004). Por este motivo, condiciones adversas durante la fijación de granos no pueden ser compensadas a través de aumentos del peso del grano y se traducen en mermas del rendimiento.

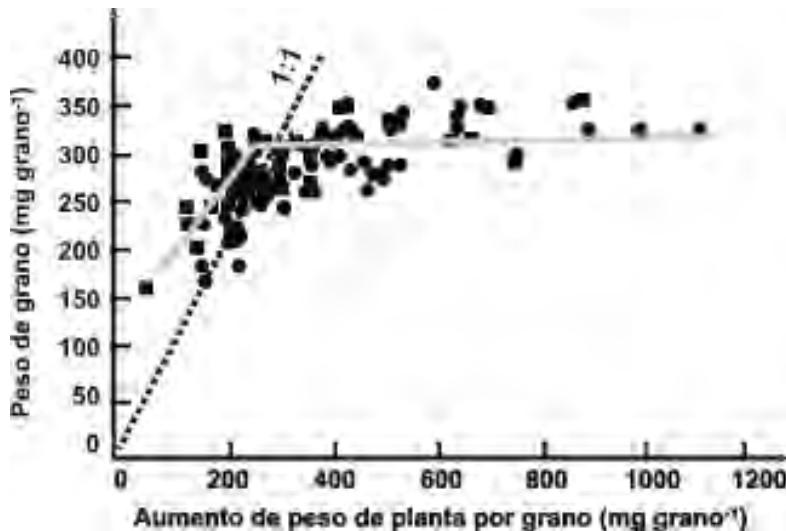


Figura 10: Peso seco final del grano de maíz en función de la cantidad de materia seca acumulada en el cultivo (expresada por grano logrado) durante el período de llenado (desde 15 días postfloración hasta la madurez fisiológica). Adaptado de Borrás y Otegui, 2001.

La ecofisiología y el manejo del cultivo

Los fundamentos ecofisiológicos presentados pueden orientar la toma de decisiones en el manejo del cultivo con la finalidad de lograr un mayor rendimiento y una producción más eficiente y estable. Comprender mejor el funcionamiento del cultivo y su relación con el ambiente contribuye a lograr una mejor expresión de su potencialidad mediante técnicas de cultivo adecuadas, explicando situaciones de producción ocurridas en el pasado y anticipar el impacto de variaciones climáticas esperables, o de nuevas prácticas de manejo o paquetes tecnológicos sobre la productividad del maíz.

El maíz posee una elevada capacidad de crecimiento debido, entre otros factores, a su alta eficiencia fotosintética, el bajo costo energético de producción de su biomasa y su conveniente estructura de cultivo. El alto potencial de rendimiento y la notable sensibilidad de ese rendimiento ante el estrés hacen del maíz un cultivo de gran respuesta biológica al ajuste correcto en su manejo. A continuación, se presentan las bases ecofisiológicas para orientar el manejo agronómico, analizando el funcionamiento del cultivo en relación con su productividad y su interacción con el ambiente.

Los rendimientos máximos

Los rendimientos que se pueden lograr cultivando las variedades más productivas con riego, sin deficiencias nutricionales y con óptimo manejo son estimadores de los techos de producción que el ambiente determina. Al aplicar la máxima tecnología disponible, la limitante a los rendimientos la imponen factores ambientales no controlables como son la radiación solar y la temperatura (Muchow et al., 1990; Andrade, 1992). Las variaciones entre diferentes ambientes en los rendimientos máximos de los cultivos reflejan esas limitaciones climáticas no controlables, y su conocimiento resulta imprescindible para predecir el impacto de la aplicación de altos niveles de insumos en la explotación agrícola y hacer, en consecuencia, un uso eficiente de los mismos.

El rendimiento de un cultivo en un ambiente dado depende de su capacidad de crecimiento dentro de los límites que dicho ambiente le impone y de la fracción de ese crecimiento que destina a la producción de los órganos cosechables (índice de cosecha). Siendo que el crecimiento resulta del aprovechamiento de la energía solar en la generación de los componentes necesarios para la conformación

y funcionamiento de los distintos órganos vegetales, el total de materia vegetal producida está directamente relacionado con la cantidad de radiación solar que el cultivo puede captar y usar en su producción. La latitud, la época del año, la heliofanía y el grado de cobertura vegetal que logra el cultivo a lo largo de su ciclo determinan esa cantidad. Cultivares de ciclo completo tendrán mayor oportunidad que aquellos más precoces de aprovechar la oferta estacional de insolación para una localidad determinada, presentando mayor potencial de crecimiento. Por su parte, la temperatura acelera la tasa de desarrollo del ciclo del cultivo reduciendo la duración de cada una de sus etapas. Por lo tanto, las altas temperaturas no son favorables si la finalidad es aprovechar la mayor proporción posible de la oferta estacional de luz de cada localidad. Entonces, estaciones luminosas y temperaturas moderadas son convenientes para promover un mayor crecimiento en cada una de esas etapas (Muchow y col., 1990).

La fracción del crecimiento total que es asignada a la formación de rendimiento en grano depende del patrón de repartición de la materia vegetal producida en la planta a lo largo de su ciclo de vida. Los granos constituyen los órganos de interés económico en maíz y, por lo tanto, la fracción que se busca maximizar. En condiciones potenciales de crecimiento, el porcentaje del peso total producido que termina alojado en los granos a la cosecha en el cultivo de maíz puede alcanzar al 50-55 %. Una mayor cantidad de granos fijados a llenar determina que una mayor parte del crecimiento del cultivo durante el período de llenado termine alojado en ellos a la cosecha (Zamski y Schaffer, 1996). Una mayor duración de la etapa crítica de la floración (Cantarero y col., 1999) y altas tasas de crecimiento del cultivo en la etapa (Andrade et al., 1996; Tollenaar y col., 1992; Echarte y col., 2004) asociados a temperaturas moderadas y alta insolación, con canopeos eficientes en capturarla y en ausencia de limitaciones hídricas, sanitarias o nutricionales, aseguran un alto número de granos en maíz.

El agua y el rendimiento del cultivo

La brecha entre los rendimientos obtenidos y los máximos posibles de alcanzar está explicada en gran parte por deficiencias hídricas (Cassman y col., 2003). La ocurrencia de sequías de diferente magnitud, intensidad y momento de ocurrencia es la causa principal de la variabilidad interanual de los rendimientos de cultivos de secano en la región pampeana argentina (Totis de Zeljkovich y Rebella, 1980; Hall y col. 1992). La consecuencia inmediata de un déficit hídrico sobre el cultivo es la pérdida de turgencia en sus tejidos que resulta en una menor tasa de crecimiento y menor tamaño final de los órganos que se encuentran creciendo activamente en el momento de ocurrencia del estrés. El efecto de las deficiencias hídricas sobre la producción del cultivo opera, en gran parte, a través de la reducción de la expansión de las hojas y, en consecuencia, de la eficiencia de captación de radiación, aunque sequías intensas afectan también su eficiencia fotosintética (Dardanelli y col., 2003). El acartuchamiento de las hojas, el cierre de estomas, la reducción de la expansión foliar y la senescencia foliar constituyen estrategias del cultivo para posponer la deshidratación limitando la pérdida de agua desde el follaje. El maíz presenta alta sensibilidad estomática frente al déficit hídrico, cerrando sus estomas para reducir las pérdidas de agua.

El impacto de una deficiencia hídrica sobre el rendimiento en maíz depende de su intensidad y duración, y del momento de ocurrencia en relación con la etapa del desarrollo del cultivo. El maíz manifiesta una sensibilidad diferencial a la sequía según la etapa del ciclo considerada. El rendimiento es altamente dependiente de la disponibilidad hídrica durante la floración principalmente a través de sus efectos sobre el número de granos (Hall y col., 1981; Westgate y Boyer, 1986; Shaw, 1988; Bassetti y Westgate, 1993c; Otegui y col., 1995a). El número de granos logrados en el cultivo está directamente asociado con el consumo de agua durante esa etapa (Figura 11), registrándose aumentos de 18 a 20 kg de grano ha⁻¹ y de unos 5 granos

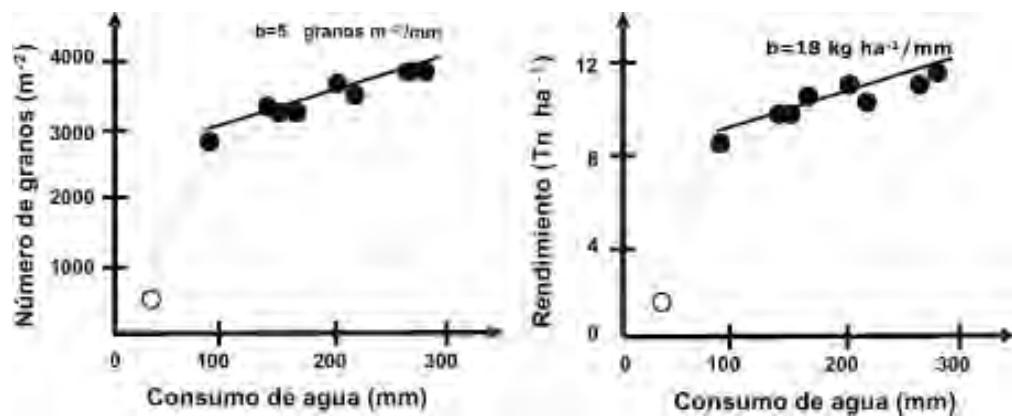


Figura 11: Relación del número de granos (izquierda) y del rendimiento (derecha) de maíz con el consumo de agua del cultivo (durante el período de 20 días previos y 20 días posteriores al 50% de floración femenina). Los símbolos corresponden a distintas condiciones de disponibilidad hídrica: sin deficiencias de agua o con déficit hídrico moderado (círculos llenos) y con severa limitación hídrica (círculos vacíos). Adaptado de Andrade y col., 1996.

m^{-2} por milímetro adicional de agua consumida en dicho período (Gómez, 1991; Otegui y col., 1995a). Mayores respuestas al consumo de agua pueden registrarse en sequías más severas (NeSmith y Ritchie, 1992; Muchow, 1989; Sinclair y col., 1990; Andrade y col., 1996), afectando sensiblemente el índice de cosecha.

Deficiencias hídricas en etapas vegetativas tempranas reducen el crecimiento, pero si el cultivo tiene la posibilidad de recuperar área foliar una vez finalizado el estrés, y llega al período crítico de la floración con una buena cobertura del suelo, las disminuciones en el rendimiento serán leves o nulas (Abrecht y Carberry, 1993; Andrade y col., 1996). Si la cobertura no se recupera luego del estrés, el crecimiento del cultivo en el período crítico se verá afectado y el rendimiento en grano se reducirá. Características propias del híbrido (largo de ciclo, número y tamaño de hojas, estructura de planta), de la estructura del cultivo (número de plantas y distancia entre hileras) y de la estación de crecimiento (oferta de radiación y temperatura) condicionarán la posibilidad de recuperación. Finalmente, el impacto sobre el rendimiento de deficiencias hídricas durante al llenado de los granos es menor respecto de su ocurrencia en el período de floración, aunque pueden afectar el índice de cosecha si el peso del grano se reduce por limitaciones en la

disponibilidad de fuente para su llenado.

Evitar la coincidencia de la floración con los momentos de máxima demanda atmosférica resulta una estrategia de escape al estrés acertada para disminuir los efectos negativos de una sequía. Para ello, el manejo correcto de la fecha de siembra y del ciclo del cultivar son las herramientas más importantes. La utilización de prácticas de manejo que favorezcan la acumulación de agua en el suelo y reduzcan las pérdidas por evaporación desde su superficie o por transpiración desde las malezas también atenúan el riesgo de estrés entre ocurrencia de lluvias. En la medida que las probabilidades de deficiencias hídricas aumenten, la estrategia adecuada consiste en disminuir el número de plantas en el cultivo, de modo que el recurso agua se distribuya mejor y posibilite que las reservas hídricas del suelo sean menos limitantes alrededor del período crítico. Finalmente, la elección del híbrido, en lo que respecta a su tolerancia frente al estrés hídrico, constituye otra decisión relevante cuando se incrementa el riesgo de que el recurso agua se vuelva limitante (Campos y col., 2006).

El manejo de la fecha de siembra

La elección de la fecha de siembra del cultivo de maíz es una decisión de manejo

frecuentemente condicionada por razones operativas (oportunidad de labranzas y/o siembra, humedad y temperatura de suelo, disponibilidad de insumos) o estratégicas (escape a adversidades climáticas o biológicas, rotaciones, oportunidad de mercados, rentabilidad de la explotación). Su modificación no implica cambios operativos ni en los costos de producción. Además, en gran parte de nuestra región pampeana es posible la instalación de un cultivo de maíz en la misma campaña agrícola a continuación de otro cultivo de crecimiento inverno-primaveral. Por lo tanto, conocer e interpretar los efectos de la variación del momento de implantación del cultivo sobre su productividad es estratégico para orientar decisiones de manejo.

En zonas de clima templado, los niveles de radiación, los registros térmicos y el largo del día varían marcadamente durante el año. La modificación de la fecha de siembra del cultivo en estas zonas altera la combinación de dichas variables ambientales a lo largo de toda su estación de crecimiento. Tales factores tienen una marcada influencia sobre el desarrollo y crecimiento del cultivo y sobre su rendimiento (Otegui y col., 1996; Andrade y Cirilo, 2000). Cuando la siembra se retrasa en tales regiones, las mayores temperaturas que experimenta el cultivo durante sus etapas iniciales del ciclo de crecimiento provocan la aceleración de su desarrollo fenológico, acortándose el período entre la siembra y la floración. El retraso de la siembra de maíz también expone a la planta a fotoperíodos más largos durante su etapa fotosensible previa a la inducción de su ápice (Cirilo, 1994). Si bien los días más largos demoran la inducción del ápice, la iniciación de la panoja se anticipa en siembras tardías debido al efecto térmico prevaleciente, que acelera el desarrollo. Al atrasar la siembra, las mayores temperaturas aceleran la velocidad de aparición y despliegue de las hojas determinando el rápido establecimiento de un canopeo eficiente para capturar radiación. Este efecto, sumado a los niveles crecientes de radiación solar incidente hacia el verano, le permite a las siembras tardías acumular una cantidad de radiación interceptada

hasta la floración semejante a la de las siembras tempranas a pesar del menor número de días transcurridos. Las mayores temperaturas durante la fase vegetativa que experimentan las siembras tardías favorecen una alta eficiencia de conversión de luz en crecimiento (Andrade y col. 1993), acumulando generalmente más biomasa al momento de floración que las siembras tempranas (Figura 12). Sin embargo, los niveles de radiación solar incidente y temperatura durante la etapa posterior a la floración decaen progresivamente al avanzar la estación cuando se demora la siembra, y en mayor grado cuanto mayor es la latitud de la localidad y más se retrasa la siembra, reduciendo la producción de biomasa en la etapa posterior a la floración (Cirilo y Andrade, 1994a).

Dentro de cada localidad, la estación de crecimiento está determinada por las restricciones permanentes que imponen las primeras y últimas heladas, los mayores rendimientos máximos de maíz se obtienen con siembras tempranas (Tabla 1). En planteos sin

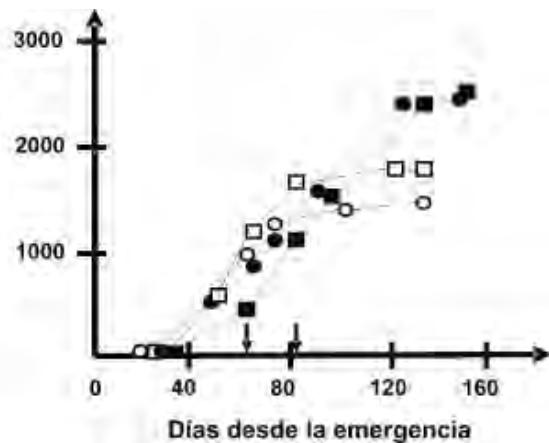


Figura 12: Biomasa aérea acumulada en maíz en función del tiempo para cultivos sembrados en septiembre (cuadrados llenos), octubre (círculos llenos), noviembre (cuadrados vacíos) y diciembre (círculos vacíos) en condiciones de crecimiento sin limitaciones hídricas ni nutricionales en Balcarce. Las flechas indican los momentos de 50% de floración femenina de la siembra de setiembre (derecha) y de diciembre (izquierda). Adaptado de Cirilo y Andrade, 1994a.

Tabla 1: Rendimiento en grano (14% humedad) y sus componentes (número de granos y peso del grano) y fechas promedio de floración y madurez fisiológica de cultivos de maíz en tres fechas de siembra (mediados de setiembre, de noviembre y de enero) en Pergamino. Se incluyen los valores promedios diarios de radiación global incidente (RGf) y amplitud térmica (ATf) del período de cuatro semanas alrededor de la floración y de radiación global incidente (RGr) y temperatura media (TM_r) del período reproductivo comprendido entre la floración y la madurez fisiológica, densidad de 9 pl m⁻², campañas 1997/98 y 1998/99). Se incluye el valor de diferencia mínima significativa al nivel de significancia del 5% (DMS 0.05) para comparación de medias.

Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Número de granos (m ⁻²)	Peso de grano (mg)	Fecha de floración med. térol	Fecha de mad. térol	RGf (MJ m ⁻²)	ATf (°C)	RGr (MJ m ⁻²)	TM _r (°C)
1997/98								
20-Sel.	15480	5072	262	16-Dic.	28-Feb.	22.5	13.9	22.2
20-Nov.	12730	4109	268	22-Ene.	9-Mar.	21.4	12.5	19.2
20-Ene.	5090	2915	150	30-Mar.	22-Jun.	10.7	11.5	9.2
DMS (0.05)	1080	211	19			0.03	0.10	0.04
1998/99								
20-Sel.	14650	5582	225	15-Dic.	22-Feb.	26.4	15.4	24.1
20-Nov.	11840	5037	202	25-Ene.	30-Mar.	22.3	14.4	19.8
20-Ene.	5860	3818	127	18-Mar.	27-May.	14.1	10.0	12.0
DMS (0.05)	972	180	16			0.03	0.09	0.05

limitaciones hídricas, nutricionales ni sanitarias, donde la radiación y la temperatura pasan a ser decisivas para la generación del rendimiento, las siembras tempranas permiten al cultivo fijar más granos al ubicar su floración a principios del verano con altos niveles de radiación incidente y elevadas amplitudes térmicas (Cirilo y Andrade, 1994 a y b; Otegui y col., 1996; Cantarero y col., 1999; Andrade y col., 2000). Sin embargo, las siembras tempranas tienen dos contratiempos: (i) una alta frecuencia de temperaturas subóptimas muy cercanas a la temperatura base (Padilla y Otegui, 2005), y (ii) aumentar el riesgo de daños por heladas tardías en la primavera. Las temperaturas cercanas a la base suelen dificultar el logro de una emergencia uniforme del stand y con ello favorecen la jerarquización de individuos desde etapas tempranas del ciclo (Liu y col., 2004), con consecuencias posteriores negativas sobre la determinación del número de granos y el rendimiento (Maddonni y Otegui, 2004; Tollenaar y col., 2006). En cuanto a las heladas, si bien el maíz es muy sensible durante todo su ciclo de crecimiento, en su etapa inicial el meristema apical se ubica debajo o al nivel de la superficie del suelo donde la temperatura es

mayor y menos variable que la del aire. Aún así, heladas intensas provocan la senescencia de las hojas expuestas y un grado variable de muerte de plantas. Al igual que con las temperaturas subóptimas, el efecto de las heladas sobre el rendimiento dependerá de la merma en la densidad de población y en la magnitud y heterogeneidad de la estructura de canopeo resultante y su incidencia en la eficiencia de captación de radiación posterior. Al demorar la siembra se reduce el riesgo de heladas, pero es frecuente observar una notable reducción en el peso de los granos asociada con los menores niveles de radiación y temperatura durante el llenado de granos, condiciones menos favorables para la producción de asimilados en la planta (Andrade y col., 1993a; Cirilo y Andrade, 1996; Maddonni y col., 1998). La caída progresiva en los niveles diarios de radiación incidente desde la floración en adelante es más marcada cuanto mayor es la latitud del lugar y las mermas en rendimiento por retraso de la siembra se hacen más pronunciadas (Figura 13). En la decisión del momento de siembra también deben tenerse en cuenta las temperaturas supraóptimas, especialmente en las regiones del norte del país.



Figura 13: Rendimiento de maíz en función de la fecha de siembra en Pergamino ($33^{\circ} 58'S$; círculos blancos) y en Balcarce ($37^{\circ} 45'S$; círculos negros) para cultivos creciendo sin limitaciones hídricas, nutricionales ni sanitarias con densidad de 9 pl m^{-2} (adaptado de Cirilo, 1994 y Cirilo, 2001b).

Elevadas temperaturas en la antesis pueden reducir la viabilidad del polen en maíz (Schoper y col., 1986) o afectar el llenado del grano (Hanft y Jones, 1986). En tales regiones es conveniente adelantar la siembra hacia el invierno (si el agua disponible y las heladas lo permiten) o demorarla hasta fin de año para escapar a los períodos de mayor temperatura durante la floración y llenado del grano (Otegui y López Pereira, 2003). Aunque debe advertirse que retrasos en la fecha de siembra a partir de diciembre se asocian con disminuciones significativas del rendimiento, en particular a través de la regulación del número de granos (Cantarero et al., 2000).

En maíces de segunda, la anticipación de su siembra resulta una práctica conveniente al permitir adelantar las etapas críticas del cultivo a momentos menos comprometidos en términos de radiación y temperatura, con beneficios apreciables tanto en el número como en el peso de los granos y, consecuentemente, en el rendimiento (Tabla 2). Por lo tanto, las prácticas de manejo que permitan adelantar la desocupación del lote (elección del antecesor y su cosecha anticipada) y reducir la demora de la siembra del maíz de segunda (labranza reducida o siembra directa) constituirán estrategias convenientes cuando no existan limitantes hídricos (sequías estacionales) que condicionen dicha anticipación (Otegui y col., 2002). Si bien los rendimientos esperables de esos maíces en la zona de Pergamino son alentadores (Cirilo, 2001a), especialmente en siembras anticipadas, existen aspectos desfavorables que es necesario resaltar. La ocurrencia de heladas tempranas al final del ciclo del cultivo puede reducir o interrumpir el crecimiento según su intensidad, afectando el peso final de los granos (Otegui y col., 1996). Por otro lado, las siembras de segunda encuentran ambientes poco favorables para el secado natural del grano en la planta, obligando al gasto del secado artificial (Otegui y col., 2002). Además, las siembras tardías están expuestas a una mayor incidencia de plagas y enfermedades. La incidencia de la

Tabla 2: Rendimiento en grano (14% humedad) y sus componentes (número de granos y peso del grano) y fechas de floración y madurez fisiológica de cultivos de maíz de segunda sembrados con tres semanas de diferencia en Pergamino en densidad de 6 pl m^{-2} durante la campaña 1996/97. Se incluye el valor de diferencia mínima significativa al nivel de significancia del 5% (DMS 0.05) para comparación de medias.

	Rendimiento (kg ha⁻¹)	Número de granos (m⁻²)	Peso de grano (mg)	Fecha de floración	Fecha de mad. fisiol.
26-Dic	10691	3691	253	26-Feb.	10-May.
16-Ene	9053	3575	211	21-Mar.	2-Jun.
DMS (0.05)	512	102	12		

virosis del Mal de Río IV aumenta en siembras tardías y obliga a la elección de genotipos tolerantes. El barrenador del tallo en maíz, cuyas poblaciones de adultos y el número de larvas por planta aumentan significativamente a partir de febrero en nuestra zona maicera (Dagoberto y col., 1980), produce importantes reducciones en el rendimiento al entorpecer la traslocación de asimilados en la caña hacia los granos y aumentar las pérdidas por quebrado (Otegui y Cirilo, 2001). En siembras de segunda, un cuidadoso control con insecticidas o el empleo de híbridos con gen Bt introducido por transgénesis resultarán indispensables.

El manejo de la densidad de plantas

Siendo que el crecimiento del cultivo está estrechamente asociado con su capacidad para aprovechar la luz solar incidente, el manejo de la densidad de plantas es una de las herramientas más efectivas para obtener canopeos eficientes en su captura (Maddonni y Otegui, 1996). El cultivo es capaz de alcanzar su máxima tasa de crecimiento recién cuando el área foliar desplegada le permite capturar el 95% de la luz incidente. Alcanzar esa cobertura al inicio del período crítico y mantenerla durante el mayor tiempo posible son los objetivos buscados con el manejo de la densidad, pues se traducen en mayor producción de biomasa y rendimiento en grano (Andrade y col., 1996). La cantidad de plantas necesarias para lograr esa cobertura es función del área foliar de cada planta, de la disposición de sus hojas (erectas o planas) y de la distribución espacial de las plantas sobre el terreno. Plantas poco foliosas y de hojas erectas sembradas en surcos distantes requerirán densidades mayores para conseguir la cobertura total del suelo.

El maíz tiene una capacidad limitada para compensar una baja densidad de plantas a través de una mayor superficie de sus hojas (Cox, 1996; Doebley y col., 1997), a diferencia de especies con mayor plasticidad fenotípica (Vega y Andrade, 2000) como el girasol (expansión foliar muy variable),

la soja (capacidad de ramificar) o el trigo (capacidad de macollar). En consecuencia, las bajas densidades afectan significativamente la captura de luz del maíz y, por lo tanto, el crecimiento del cultivo. Es por esto que el maíz presenta una notable respuesta al aumento de la densidad en términos de producción de biomasa como resultado de una mayor captura de luz por el cultivo. Esto es así mientras el número de plantas no supere aquel que permite la cobertura total del suelo al inicio del período crítico. Incrementos ulteriores en la densidad no mejorarán la producción total de biomasa ya que el mayor número de plantas será compensado por una disminución tal en la tasa de crecimiento de las mismas que puede conllevar la aparición de individuos estériles o de muy bajo número de granos (Figura 9).

El rendimiento en grano de maíz, por su parte, es poco estable ante variaciones en la densidad de plantas en comparación con otros cultivos (Vega y Andrade, 2000). En un estudio bajo condiciones de riego y fertilización, reducciones de 75% en la densidad correcta produjeron mermas de rendimiento cercanas al 50% en maíz, mientras que en girasol y soja sólo fueron del 12 y 24%, respectivamente (Valentinuz y col., 1995). Por su parte, en el mismo estudio, la duplicación de la densidad correcta no alteró el rinde de esos últimos dos cultivos pero lo redujo un 20% en maíz. Un pronunciado incremento en el aborto de estructuras reproductivas en las densidades excesivas, y la escasa capacidad de compensación en las densidades reducidas explican esa inestabilidad en maíz. Asimismo, altas densidades pueden provocar incrementos en la variabilidad planta-planta (Vega and Sadras, 2003; Vega et al., 2001b) que disminuyen la eficiencia de fijación de granos (Vega et al., 2001a) y el índice de cosecha a nivel de individuos (Vega et al., 2000) en una proporción de plantas que dependerá del genotipo.

El componente del rendimiento más afectado por la densidad es el número de granos que alcanzan la madurez (Tollenaar y col., 1992; Andrade y col., 1996). El número de granos logrados por planta en maíz está en estrecha relación con el crecimiento de la misma durante

la floración, la que se reduce con incrementos en la densidad. La forma de la función de respuesta (Figura 9) refleja la escasa plasticidad reproductiva del maíz en baja densidad, donde el número máximo de flores formadas en la espiga limita el aumento del número de granos logrados, cuando las plantas crecen a altas tasas (correspondientes a muy bajas densidades). Esta limitación puede ser parcialmente superada a través de la prolíficidad (carácter genotípico). Los genotipos prolíficos presentan un menor valor de crecimiento mínimo por planta para fijar esa segunda espiga respecto de los no prolíficos (Tollenaar y col, 1992; Otegui, 1997). Esta segunda espiga puede explicar entre el 30 y el 50% del rendimiento de maíz en bajas

densidades (Valentinuz y col., 2007). A medida que el crecimiento por planta disminuye por incrementos en la densidad, la caída en el número de granos fijados en la planta se hace más abrupta y puede producirse esterilidad completa de plantas cuando el crecimiento de éstas se acerca a valores umbrales (Vega et al., 2001a). Ello responde al relegamiento en la asignación de asimilados dentro de la planta que sufre la espiga en su posición axilar, debido a mecanismos de dominancia apical a medida que la disponibilidad de recursos para el crecimiento se reduce (Andrade y col., 1993b). Cuando la frecuencia (o número) de individuos que crecen a valores cercanos al umbral de crecimiento mínimo aumenta, las disminuciones

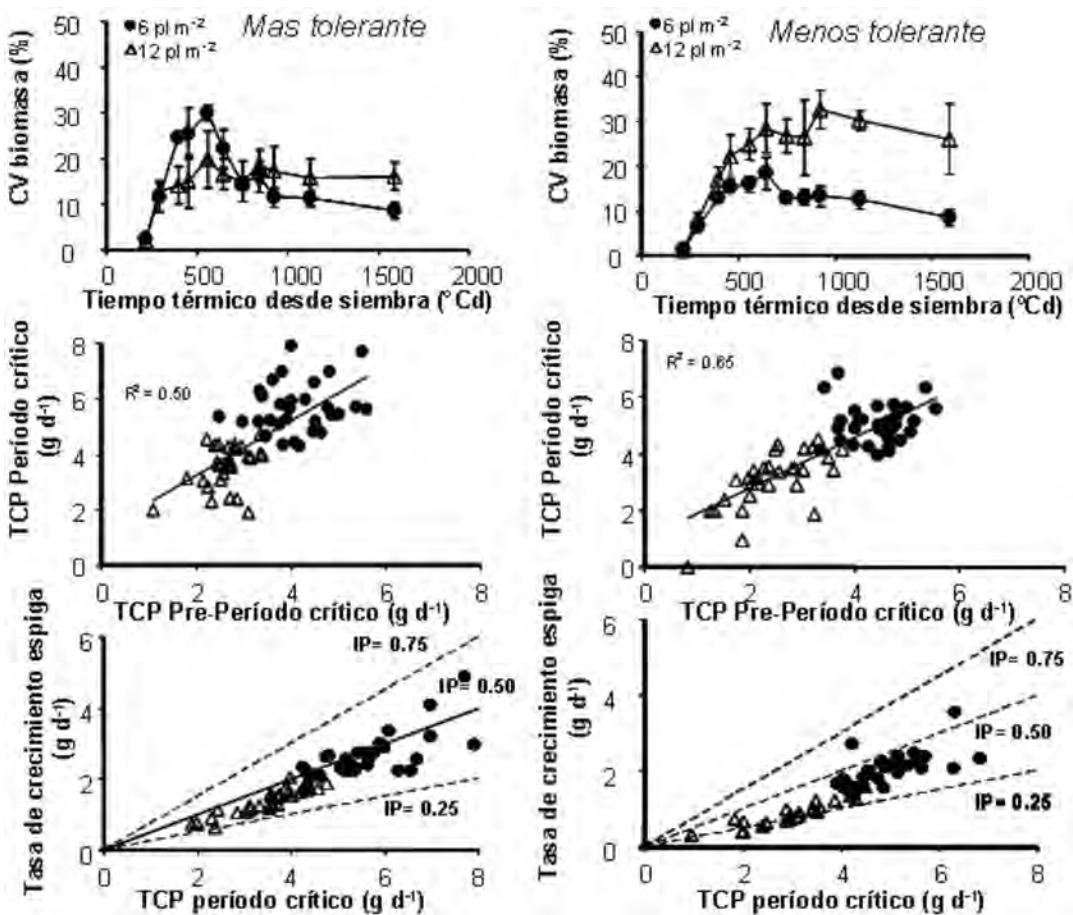


Figura 14: Evolución del coeficiente de variación (CV) de la biomasa de las plantas (arriba) de dos híbridos de maíz con distinta tolerancia a la densidad de siembra cultivados en baja (6 pl m^{-2}) y alta (12 pl m^{-2}) densidad. Se adjunta las relaciones entre las tasas de crecimiento de las plantas (TCP) durante el período crítico y pre-período crítico (medio), y entre la tasa de crecimiento de las plantas y de espiga en el período crítico. IP= líneas de isopartición de la biomasa total a las espigas durante el período crítico. Fuente: Pagano y Maddonni, 2007.

en el rendimiento a nivel de cultivo serán mayores debido al incremento de plantas estériles o con baja eficiencia reproductiva. El mejoramiento genético del maíz ha incrementado de modo notable la tolerancia a altas densidades, asociada con cambios en las relaciones entre la cantidad de granos fijados y la tasa de crecimiento de la planta (Echarte y col., 2004; Luque y col., 2006) y con una menor variabilidad entre plantas en el cultivo (Tollenaar y Wu, 1998). Ello, sumado al incremento en la aplicación de tecnología (fertilizantes, herbicidas, etc.) operado en los últimos años en la zona maicera pampeana, explica las mayores densidades óptimas empleadas actualmente en maíz respecto de décadas atrás.

Analizando el crecimiento de las plantas en baja y alta densidad de dos materiales contrastantes por su grado de tolerancia (Pagano y Maddonni, 2007), se observó que el híbrido más intolerante presentó en alta densidad de siembra una mayor variabilidad en el crecimiento de las plantas (mayor jerarquización temprana de plantas) desde etapas tempranas del ciclo (Figura 14, parte superior). Dicha variabilidad temprana se sostuvo durante el resto del ciclo, reflejándose en las tasas de crecimiento durante el período de definición del número de granos (Figura 14, parte media). De esta manera, la mayor variabilidad en el crecimiento de las plantas establecida tempranamente en el ciclo determinó que muchos individuos del stand (plantas dominadas), presenten una mayor caída en la partición de biomasa a la espiga (Figura 14, parte inferior) comprometiendo su fijación de granos.

La densidad óptima en maíz es la menor densidad que posibilita maximizar el rendimiento en grano. La densidad óptima depende de la plasticidad vegetativa y reproductiva del cultivar (Sarlangue y col., 2007). Esa densidad puede ser diferente de la densidad que asegura coberturas eficientes en la captura de luz ya que en maíz se modifica sensiblemente a través de los ambientes, respondiendo a las variaciones en la oferta de recursos para el crecimiento (de clima y de suelo, naturales o agregados). Por lo tanto, el ambiente y el manejo modifican la densidad óptima en maíz. Cuando los recursos para el crecimiento se tornan limitantes se reduce la capacidad de las

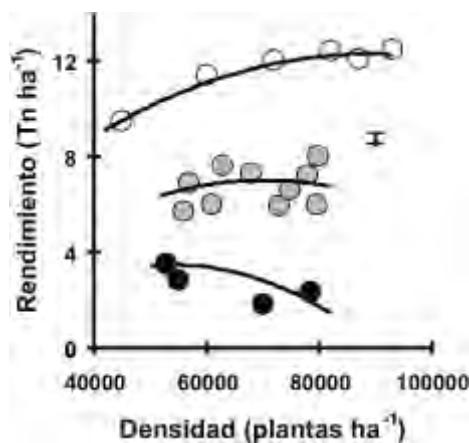


Figura 15: Rendimiento en grano (14% de humedad) en función de la densidad de plantas para tres niveles de disponibilidad hídrica: sin deficiencia (círculos blancos), con deficiencia de 150 mm (círculos grisados) y de 300 mm (círculos negros). La barra vertical representa el error estándar de la media (adaptado de Andrade y col., 1996).

plantas para crecer durante la floración y aumenta el riesgo de aborto de granos. Dicho riesgo debe ser prevenido sembrando una menor densidad que permita mejorar la disponibilidad de recursos para cada planta y revertir su granazón. Esta estrategia reportará beneficios de rendimiento mientras el incremento en la producción por planta supere la reducción en el número de plantas, desplazando la densidad óptima hacia menores valores (Andrade y col., 1996). La cantidad de plantas con la que ambas variaciones se compensen mutuamente define el nuevo valor del óptimo. A medida que la oferta de recursos ambientales disminuye los rendimientos esperables se reducen, pero serán siempre mayores alrededor de la densidad óptima (Figura 15). En secano, cuando la disponibilidad hídrica es limitada, el empleo de densidades moderadas o bajas evita un consumo excesivo de agua durante la etapa de instalación del canopeo al reducir y demorar la cobertura vegetal. Con ambientes de mediana a baja productividad, resultará conveniente ser mesurado en la densidad de siembra, pues las pérdidas de rendimiento por excesos en años secos son generalmente mayores que el potencial de rendimiento no explotado por quedar en densidades subóptimas en aquellos años de inesperada buena disponibilidad hídrica.

Desuniformidad de plantas en el cultivo

Los cultivos de maíz frecuentemente presentan planteos desuniformes. Las deficiencias de las máquinas sembradoras en distribuir las semillas, especialmente con velocidades excesivas de siembra, provocan una distribución irregular de plantas en el surco (desuniformidad espacial). Variaciones en la profundidad de siembra, contacto irregular entre suelo y semilla, mala preparación del suelo, deficiencias del abresurco, vigor desparejo de las semillas y/o bajas temperaturas causan variaciones en la emergencia y desarrollo inicial de las plantas (desuniformidad temporal). El efecto de la desuniformidad de plantas sobre el rendimiento del cultivo de maíz está asociado a la magnitud del déficit o exceso de recursos por planta y su incidencia en la producción de granos (Andrade y col., 1999; Vega y col., 2001; Vega y Sadras, 2003; Tollenaar y col., 2006). Dentro de ciertos rangos, el rendimiento adicional de las plantas que por mayor espacio acceden a mayor cantidad de recursos (con menor competencia) compensa el menor rendimiento de las plantas adyacentes (con mayor competencia y menos recursos). Sin embargo, cuando se establecen jerarquías marcadas entre plantas (sobre todo temporales), las dominadas compiten con desventajas con las plantas vecinas dominantes. Estas jerarquías entre plantas se establecen temprano en el ciclo del maíz, con apenas 7 hojas desplegadas por planta (Maddonni y Otegui, 2004) y, desde entonces, las plantas dominadas crecen a menor tasa que las dominantes y partitionan una menor proporción de ese crecimiento a la espiga en floración (Pagano y Maddonni, 2007), aumentando su asincronía floral y reduciendo el número de granos logrados (Pagano y col., 2007). Especialmente en cultivos densos se incrementa la competencia intraespecífica (Vega y Sadras, 2003), y se intensifica la variabilidad entre plantas y el establecimiento de jerarquías (Pagano y Maddonni, 2007).

Se han reportado disminuciones de varia-
da magnitud en el rendimiento de cultivos
desuniformes de maíz. Siembras con distancias

desuniformes entre plantas sobre la hilera han generado desde respuestas nulas (Liu y col., 2004; Giuliano y col., 2005) en el rendimiento respecto de planteos uniformes hasta mermas de 0,6 quintales por hectárea por cada centímetro de aumento en el desvío estándar de esa distancia (Nielsen, 1993; Nielsen, 2004). En cambio, la desuniformidad por una emergencia despareja tiene siempre un impacto negativo sobre el rendimiento del cultivo. Con 2 a 4 hojas de desfase entre plantas se han reportado disminuciones entre 4% y 8% para densidades de plantas medias a bajas (Liu y col., 2004) y disminuciones de entre 20% (Nafzinger y col., 1991) y 33% (Giuliano y col., 2005) en densidades medias a altas. Una respuesta diferente entre híbridos parece ocurrir a partir de un desfase de 4 hojas (Ramos y col., 2005). La función de respuesta del número de granos fijados en la planta a su tasa de crecimiento en floración presentada en la Figura 9 explica este comportamiento (Andrade y Abbate, 2005; Tollenaar y col., 2006). Dentro de ciertos rangos, la plasticidad en términos de rendimiento adicional de las plantas con más recursos (con menor competencia) compensa el menor rendimiento de las plantas con menos recursos (con mayor competencia) y las consecuencias sobre el rendimiento del cultivo serán escasas o nulas (Andrade and Abbate, 2005). Pero cuando se establecen jerarquías marcadas entre plantas, las dominadas compiten con desventajas con las plantas vecinas dominantes y su granazón se ve seriamente disminuida y hasta suprimida, mientras que las plantas que crecen a muy altas tasas (plantas más aisladas o dominantes) resultan ineficientes para traducir su mayor crecimiento en un incremento proporcional de su producción, reduciendo el rendimiento del cultivo (Maddonni y Otegui, 2006).

El empleo de semilla de alto vigor no sólo asegura el logro de la densidad deseada sino una correcta uniformidad del plantel, especialmente en siembras tempranas en las que frecuentemente ocurren temperaturas bajas para la germinación y las primeras etapas de crecimiento de las plántulas (Padilla y Otegui, 2005). El uso de sembradoras eficientes y

correctamente reguladas en una cuidadosa operación de siembra evita desprolijidades en el planteo de las semillas sobre el surco y garantiza su homogénea profundización evitando distribuirlas en estratos de suelo de diferente humedad o temperatura que provocarían desfases en su germinación. Debe prestarse especial atención en la operación de siembra ya que su resultado es definitivo y no habilita a posteriores correcciones en el cultivo.

El manejo de la distancia entre hileras

Una menor distancia entre las hileras de siembra en maíz permite una mayor equidistancia en la distribución de las plantas y posibilita cubrir mejor el suelo y capturar más luz desde etapas tempranas del cultivo (Maddonni y col., 2001a), incrementando la producción de biomasa (Andrade y col., 1996; Cirilo, 2000). En densidades bajas, la reducción de la distancia entre hileras contribuye también a asegurar una mayor cobertura durante la floración. Al reducirse la superposición de hojas sobre el surco, el área foliar mejora su eficiencia de cobertura y se reduce la cantidad necesaria para máxima intercepción de luz (Flénet y col., 1996; Maddonni y col., 2001b). Sin embargo, en la mayoría de los casos de cultivos de maíz bien manejados y con las densidades correctas se alcanzan las coberturas necesarias para máxima intercepción de luz antes del inicio del período crítico de la floración, independientemente del espaciamiento entre las hileras. Entonces, las ventajas de reducir la distancia entre hileras en maíz por debajo de 70 cm resultan generalmente de reducida magnitud o inconsistentes desde el punto de vista del rendimiento, aunque pueden justificarse en cuanto al uso de maquinaria de características comunes para varios cultivos. El aumento de rendimiento en respuesta a la disminución en la distancia entre hileras en maíz por debajo de 70-75 cm ha sido inferior al 10% (Porter y col., 1997; Westgate y col., 1997; Cirilo, 2000; Tabla 3).

Tabla 3: Respuesta del rendimiento (14% humedad) a la distancia entre surcos para distintos híbridos de maíz sembrados a densidad de 60000 plantas por hectárea para condiciones de crecimiento sin limitaciones de agua ni nutrientes en Pergamino (adaptado de Cirilo, 2000). Se incluye el valor de diferencia mínima significativa al nivel de significancia del 5% (DMS 0.05) para comparación de medias.

	Rendimiento (Tn/ha^*)		% Incremento (50 cm vs 70 cm)
	50 cm	70 cm	
Morgan 4	12,7	11,8	7,4
Cargill Titanium F1	13,5	13,2	2,6
Cargill 343	12,4	12,3	1,1
Dekalb 757	14,5	13,9	4,3
Nidera AX924	13,2	13,0	1,7
Nidera AX884	14,6	14,5	0,9
DMS (0.05)			0,9

La respuesta del rendimiento a la reducción de la distancia entre hileras dependerá de la mejora en la cobertura que alcance el cultivo en ese momento crítico para la determinación del rendimiento. Si el cultivo sembrado en entresurcos anchos no logra la plena captura de la luz incidente en floración (tal el caso de plantas pequeñas o de follaje erecto, plantas de escasa foliosidad o defoliadas o pocas plantas por unidad de superficie, con índice de área foliar menor al crítico) el rendimiento mejorará al acercar las hileras debido al mayor crecimiento resultante durante esa etapa crítica (Andrade et al., 2002b). La respuesta será mayor cuanto menor sea la intercepción de luz en floración que se logre en el cultivo con entresurcos anchos y cuanto mayor sea el incremento porcentual en esa intercepción resultante de la siembra en entresurcos más angostos (Figura 16). Entonces, cuando ocurren limitaciones para la normal instalación del canopeo por sequías tempranas transitorias, defoliaciones (Andrade y col., 2002b) o limitaciones nitrogenadas (Barbieri y col., 2000), la siembra en entresurcos angostos puede ser aconsejable ya que en esos casos se pueden esperar respuestas favorables. Los cultivos de maíz de segunda, especialmente en siembras muy demoradas que exigen reducir la cantidad de plantas en el cultivo (Cirilo, 2001a), también pueden responder favorablemente a un acortamiento de la distancia entre hileras.

La planta de maíz puede modificar su arquitectura en función del arreglo espacial

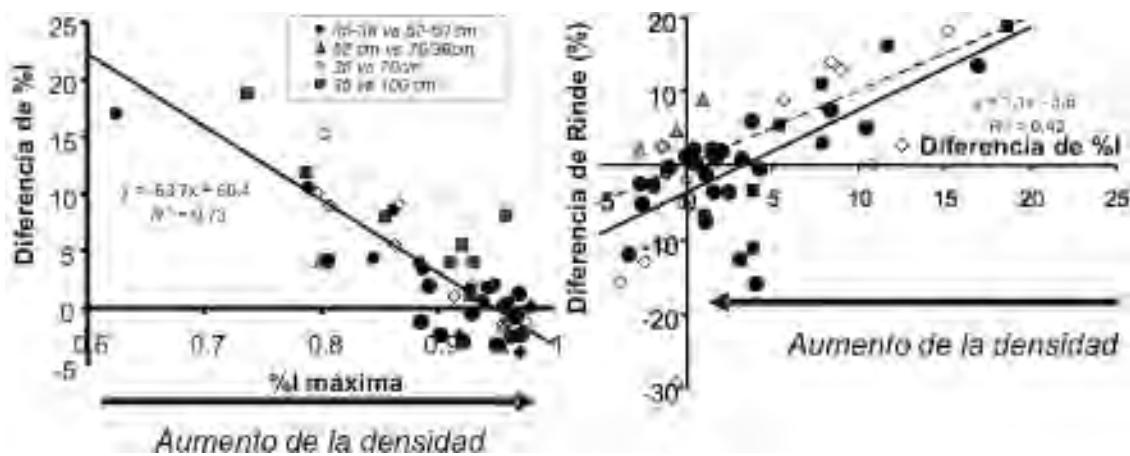


Figura 16 – Relación entre la variación en el porcentaje de intercepción (%I) máxima de radiación en floración por reducción de la distancia entre surcos y el valor de intercepción obtenido en surcos anchos (izquierda) y variación en el rendimiento en grano en respuesta a la variación en el porcentaje de intercepción (%I) máxima en maíz en ausencia de limitaciones hídricas severas (varios híbridos y varias localidades). Fuente: Andrade y col., 2002; Maddonni y col., 2006; Maddonni, 2007.

del planteo (Maddonni y col., 2001ab). Desde etapas muy tempranas del ciclo, el crecimiento de las hojas y su disposición azimutal (angulación horizontal) son modificadas por el ambiente lumínico que exploran, reorientándose hacia espacios con menor competencia (Maddonni y col., 2002). Existen diferencias genotípicas en esa capacidad de reorientación foliar que permite agrupar los genotipos de maíz en plásticos o rígidos en función de su mayor o menor respuesta a la calidad de luz que reciben. Este comportamiento diferencial contribuye a explicar las distintas respuestas al estrechamiento de entresurcos en cuanto a cobertura y rendimiento para densidades y foliosidad de planta semejantes, siendo en genotipos rígidos donde se pueden esperar las mayores respuestas (Maddonni y col., 2001).

En planteos densos no se esperan ventajas en captura de radiación en floración por el acortamiento de la distancia entre hileras dado que el tamaño del canopeo se encuentra por encima del índice de área foliar crítico necesario para maximizar la eficiencia de intercepción, excepto en genotipos muy precoces de pocas hojas y muy erectos. Sin embargo, en cultivos densos sembrados en entresurcos angostos los estratos inferiores del canopeo reciben en la etapa postfloración menores valores de irradiancia y de calidad de luz (baja relación rojo/rojo lejano) que en entresurcos más anchos. Esta condición deprime la actividad fotosintética y la eficiencia de conversión de

radiación del canopeo, lo que provoca reducciones en el peso final de los granos por limitaciones en la fuente de asimilados (Maddonni y col., 2006).

En condiciones de cultivo de secano, la tasa de evaporación del suelo se reduce cuando la superficie del mismo se seca al instalarse un período de sequía, ya que el aire que llena los poros interrumpe la conductividad del agua en el sistema suelo-atmósfera. En esta situación, el acortamiento de la distancia entre hileras reduce la proporción de suelo descubierto e incrementa el consumo de agua por transpiración del cultivo, dado que el follaje ofrece menos resistencia a la pérdida de agua que el suelo seco en superficie. Este fenómeno puede intensificar los efectos negativos de una sequía progresiva sobre la floración dado que el cultivo consume más agua del suelo en etapas tempranas, limitando la reserva hídrica disponible para aquel momento crítico. En tales escenarios, los cultivos sembrados en entresurcos angostos presentarán mayores mermas de rendimiento si la sequía no es revertida oportunamente por lluvias (Cirilo, 2001b).

El maíz en cultivos múltiples

La producción de maíz se ha abordado tradicionalmente como único cultivo anual. Sin embargo, la producción de un solo cultivo por año generalmente tiene menor eficiencia

que los cultivos múltiples o policulturas (Fukai, 1993; Evans, 1998; Caviglia y col., 2004). La ventaja esperable de los cultivos múltiples sobre los monocultivos se sustenta en el mayor aprovechamiento de los recursos disponibles (principalmente agua y radiación) por parte de los cultivos participantes, incrementando la productividad anual del suelo. Esta estrategia ha sido cubierta en muy baja escala con maíz sembrado como segundo cultivo detrás de otro de crecimiento inverno-primaveral (Otegui y col., 2002). Pero recientemente se abrió la alternativa de realizar cultivos múltiples de maíz y soja en la misma estación de crecimiento con el advenimiento de cultivares e híbridos resistentes a herbicidas de probada efectividad en el control de las principales malezas de esos cultivos y la disponibilidad actual de una amplia diversidad en el parque de maquinarias.

Los cultivos múltiples de maíz y soja son sistemas de producción donde las dos especies se desarrollan y crecen más o menos contemporáneamente en una misma superficie y estación de crecimiento. En la literatura existen diversos indicadores de la productividad de los cultivos múltiples que reflejan su comportamiento relativo respecto a los correspondientes monocultivos (Loomis y Connor, 1996). Uno de los indicadores más usados es el rendimiento relativo total, que resulta de la sumatoria de los rendimientos relativos de los participantes del cultivo múltiple respecto del rendimiento de cada cultivo puro. Ese indicador puede ser interpretado con sentido práctico como la superficie de tierra necesaria para obtener la misma producción si se siembran los componentes del cultivo múltiple por separado respecto a cuando crecen asociados (Sarandón y Chamorro, 2003), de allí que el índice también se conozca como equivalente de uso de la tierra. Un valor del índice mayor a la unidad indica una asociación ventajosa (a mayor valor del índice, mayor es la ventaja del cultivo múltiple), y un valor menor a 1 refleja su inconveniencia.

Existen diversas variantes de cultivos múltiples de maíz y soja según el grado de superposición entre los componentes y su participación relativa en el cultivo múltiple (Calviño y col., 2005; Caviglia, 2007a; Caviglia, 2007b). Su empleo deberá basarse en el aprovechamiento de los desfases temporales entre los períodos críticos para la determinación del rendimiento de los cultivos participantes (Andrade y col., 2002a; Andrade y Cirilo, 2002). En el caso de los cultivos en franjas (donde varios surcos contiguos de cada participante van dispuestos alternadamente) o los interculturales (donde sólo un surco o un par de ellos están dispuestos alternadamente) el componente

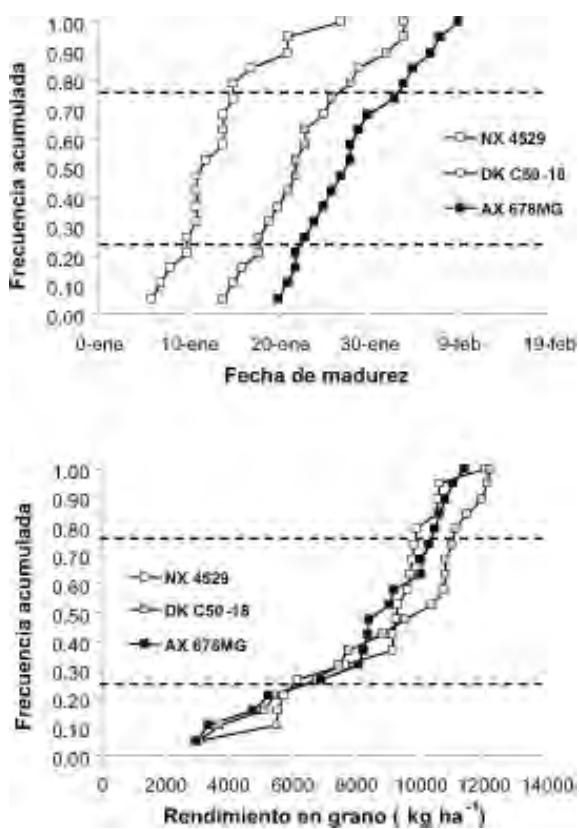


Figura 17. Frecuencias acumuladas de ocurrencia de fechas de madurez y rendimiento de maíz simuladas con modelo Ceres-Maize (serie climática 1971-1989; serie de suelo Rojas) para tres híbridos precoces sembrados el 30 de agosto. Los valores de madurez y rendimiento simulados dentro de la franja de frecuencias comprendida entre las líneas punteadas de 0.25 y 0.75 corresponde al 50% de los casos más probables (adaptado de Miranda y col., 2006).

de mayor porte (maíz) se verá beneficiado en la zona de “interfase” o transición, mejorando su producción respecto de la condición de monocultivo debido a una mayor disponibilidad de recursos (Monzón y col., 2005). Estudios recientes han demostrado que los rendimientos de maíz sólo disminuyen un 20% cuando se utiliza un diseño de interseñeras maíz-soja a 1.57m entre hileras de maíz (Calviño, 2006). Al mismo tiempo, es de esperar allí una reducción del rendimiento del componente de menor porte por la competencia de su vecino (Tabla 4). El desfase entre los períodos críticos de ambos componentes debe lograrse con la correcta elección de la longitud de los ciclos de crecimiento y/o del momento de implantación de cada uno.

El mayor desfase entre los períodos críticos de los componentes del cultivo múltiple se logra con la sucesión de cultivos o doble

cultivo, donde el segundo cultivo se siembra al cosechar el primero y, en consecuencia, los ciclos de crecimiento de ambos participantes se desfasan por completo. El mayor condicionante para el doble cultivo maíz-soja es el período libre de heladas de cada región, que impone una restricción permanente para su factibilidad. Esta estrategia requiere la utilización de genotipos de maíz de ciclo muy corto en siembras muy tempranas de fin del invierno que permitan alcanzar la madurez comercial a fin de año o principios del siguiente. Su ventaja respecto al intercultivo es que no requiere modificaciones operativas respecto de los monocultivos. El rendimiento en el cultivo de soja de segunda mejora notablemente en respuesta al adelantamiento de su siembra (Andrade y Cirilo, 2000), pero esa estrategia demanda el empleo de híbridos de maíz muy precoces (de madurez relativa menor a 105) que alcanzarán menores

Tabla 4. Comparación de los rendimientos de cultivos puros (monocultivos) de maíz y de soja con los rendimientos de esos componentes dentro de dos tipos de cultivos múltiples: franjas e intercultivo. Se presenta el rendimiento de surco (expresado sólo respecto a la superficie correspondiente al surco) de la hilera de borde en las franjas y de una hilera en el intercultivo. Se muestra entre paréntesis la variación porcentual de los rendimientos respecto a los monocultivos en cada caso. Se indica el valor calculado del equivalente de uso de la tierra calculado a partir de valores promedio. La información de franjas corresponde a la localidad de Balcarce (Monzón y col., 2005) y la de intercultivo a Pergamino (Cirilo y Otegui , 2006).

	Maíz	Soja
Franjas: 3,18 m Soja + 3,18 m Maíz		
(secano; distancia entre surcos 0,53 m; 8 pl m ⁻² Maíz y 30 pl m ⁻² Soja en franjas)		
Rendimiento de monocultivos (Tn ha ⁻¹)	10.6	3.1
Rendimiento de surco borde (Tn ha ⁻¹) (variación sobre monocultivo)	16.7 (+57.6%)	1.5 (-51.9%)
Rendimiento de lote del cultivo múltiple (Tn ha ⁻¹) (variación sobre monocultivo)	6.3 (-40.9%)	1.4 (-55.0%)
Equivalente uso de la tierra (EUT)		1.041
 Intercultivo: 2 surcos Soja + 1 surco Maíz		
(riego; distancia entre surcos 0,50 m; 7,3 pl m ⁻² Maíz y 26 pl m ⁻² Soja en lote)		
Rendimiento de monocultivos (Tn ha ⁻¹)	12.4	3.9
Rendimiento de surco en intercultivo (Tn ha ⁻¹) (variación sobre monocultivo)	27.4 (+121.5%)	2.0 (-49.6%)
Rendimiento de lote del cultivo múltiple (Tn ha ⁻¹) (variación sobre monocultivo)	9.0 (-26.9%)	1.3 (-66.7%)
Equivalente uso de la tierra (EUT)		1.064

rendimientos como consecuencia de su corta estación de crecimiento. Sin embargo, es posible esperar rendimientos entre 6 y 10 Tn ha⁻¹ en uno de cada dos años en la región maicera núcleo que permiten la siembra de soja de segunda dentro de la segunda semana del año (Miranda y col., 2006; Figura 17).

Los cultivos múltiples de maíz y soja se presentan como una alternativa para aumentar la superficie destinada al maíz con la inclusión del cultivo de soja en el mismo ciclo de producción. Esto permitiría realizar un cultivo de alto rédito económico como la soja sin resignar la posibilidad de incluir un cultivo de alto aporte de rastrojos al sistema como el maíz, con los beneficios esperables para la sustentabilidad de los planteos agrícolas.

Comentarios finales

La comprensión de las interrelaciones entre las particularidades del ambiente de una determinada localidad, los atributos morfológicos y genéticos de las plantas y la expresión de los procesos fisiológicos que determinan el rendimiento del cultivo de maíz nos permiten una visión integradora de los factores que limitan ese rendimiento y nos concede una perspectiva mejorada para implementar los ajustes necesarios en su manejo agronómico tendientes a la obtención de rendimientos más altos y estables.

La información presentada en este capítulo proviene de experiencias realizadas a campo en situaciones reales de cultivo, apoyada o completada por la revisión de datos de la literatura científica. La misma es presentada con la esperanza de ser útil en la orientación de decisiones de manejo de los cultivos de maíz frente a la problemática de cada situación productiva.

Bibliografía

- Abrecht D.G. y P.S. Carberry. 1993. The influence of water deficit prior to tassel initiation on maize growth, development and yield. *Field Crops Res.* 31: 55-69.
- Andrade F.H. 1992. Radiación y temperatura determinan los rendimientos máximos de maíz. *Boletín Técnico* 106. Est. Exp. Agr. Balcarce, Argentina. 16 pp.
- Andrade F.H. 1995. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. *Field Crops Res.* 41:1-12..
- Andrade, F.y P. Abbate. 2005. Response of maize and soybean to variability in stand uniformity. *Agron. Journal* 97:1263-1269.
- Andrade F.H. y Cirilo A.G. 2000. Fecha de siembra y rendimiento de los cultivos. En: "Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja". F.H. Andrade y V.O. Sadras (Eds.), INTA-UIB. ISBN 987-521-016-1. Capítulo 5, páginas 135-154.
- Andrade, F.H. y Cirilo, A.G. 2002. Fecha de siembra y rendimiento de los cultivos. En: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. UIBalcarce. Cap. 5. Pág: 137-156.
- Andrade F.H. y J. Gardiol. 1995. Sequía y producción de los cultivos de maíz, girasol y soja. *Boletín Técnico* 132. Est. Exp. Agr. Balcarce, Argentina. 21 pp.
- Andrade F.H.; L.A.N. Aguirrezábal y R.H. Rizzalli. 2002a. Crecimiento y rendimiento comparados. In: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. F.H. Andrade y V.O. Sadras (Eds.), INTA-UIB. Capítulo 5, páginas 57-96.
- Andrade F.H., M.E. Otegui y C.R.C. Vega. 2000. Intercepted radiation at flowering and kernel number in maize. *Agron. J.* 92:92-97.
- Andrade F.H., S.A. Uhart y A.G. Cirilo. 1993a. Temperature affects radiation use efficiency in maize. *Field Crops Res.* 32:17-25.
- Andrade F.H., S.A. Uhart y M. Frugone. 1993b. Intercepted radiation at flowering and kernel number in maize: shade versus plant density effects. *Crop Sci.* 33:482-485.
- Andrade F., P. Calviño, A. Cirilo y P. Barbieri. 2002b. Yield responses to narrow rows depend on increased radiation interception. *Agronomy Journal*, 94:975-980.
- Andrade F.H., A.G. Cirilo, S.A. Uhart y M.E. Otegui. 1996. *Ecofisiología del Cultivo de Maíz*. Editorial La Barrosa-EEA Balcarce, CERBAS, INTA-FCA, UNMP (Eds.). Dekalb Press. Buenos Aires. 292 pp
- Andrade F.H., S.A. Uhart, G.G. Arguissain y R.A. Ruiz. 1992. Radiation use efficiency of maize grown in a cool area. *Field Crops Res.* 28:345-354.
- Andrade F.H., L. Echarte, R. Rizzalli, A. Della Maggiora y M. Casanovas. 2002c. Kernel number prediction in maize under nitrogen or water stress. *Crop Sci.*:42:1173-1179.
- Andrade F.H., C. Vega, S.A. Uhart, A.G. Cirilo, M.G. Cantarero y O. Valentiniuz. 1999. Kernel number determination in maize. *Crop Sci.*:39:453-459.
- Bangerth, F. 1989. Dominance among fruits/sinks and the search for a correlative signal. *Physiol. Plant.* 76:608-614.
- Barbieri P.A.; H.Sainz Rosas; F.H Andrade y H.E Echeverría. 2000. Row spacing effects at different levels of nitrogen availability in maize. *Agron. J.* 92:283-288.
- Bassetti P. y M.E. Westgate. 1993 a. Emergence, elongation, and senescence of maize silks. *Crop Sci.* 33: 271-275.
- Bassetti P. y M.E. Westgate. 1993 b. Senescence and receptivity of maize silks. *Crop Sci.*: 33: 275-278.
- Bassetti P. y M.E. Westgate. 1993 c. Water Deficit Affects Receptivity of Maize Silks. *Crop Sci.* 33: 279-282.
- Benson, G.O. 1990. Corn replant decisions : a review. *J. of Prod. Agric.* 3 :180-184.
- Blacklow W.M.. 1972. Influence of temperature on

- germination and elongation of the radicle and shoot of corn (*Zea mays* L.). *Crop Sci.*, 12:647-650.
- Bolaños J. y G.O. Edmeades. 1996. The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. *Field Crops Res.*, 48:65-80.
- Bonhomme R., M. Derieux y G.O. Edmeades. 1994. Flowering of diverse maize cultivars in relation to temperature and photoperiod in multilocation field trials. *Crop Sci.* 34: 156-164.
- Bonhomme R., M. Derieux, J.R. Kiniry, G.O. Edmeades y H. Ozier-Lafontaine. 1991. Maize leaf number sensitivity in relation to photoperiod in multilocation field trials. *Agronomy Journal*. 83:153-157.
- Borrás, L. y M.E. Otegui. 2001. Maize kernel weight response to postflowering source-sink ratio. *Crop Science*, 41:1816-1823.
- Borrás, L., Slafer, G.A., y Otegui, M.E. 2004. Seed dry weight response to source-sink manipulations in wheat, maize and soybean. A quantitative reappraisal. *Field Crops Res.* 83:131-146.
- Boyer, J.S. 1970. Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean and sunflower at various leaf water potentials. *Plant Phys.* 46:233-235.
- Boyer, C. D., Shannon, J. C., Garwood, D. L., y R. G. Calviño, P. 2006. El desafío de las policulturas. Su relación con la intensificación de sistemas de producción agrícola. *JAT AACREA*, Río Cuarto.
- Calviño, P., Cirilo, A.G., Caviglia, O., y Monzón, J.O. 2005. Resultados de intercultivo de maíz y soja en tres regiones maiceras argentinas. *Actas VIII Congreso Nacional de Maíz*, AIANBA. Rosario, Nov. 2005. Pág. 83-85.
- Campos, H., M. Cooper, G.O. Edmeades, C. Löffler, J.R. Schussler, and M. Ibañez. 2006. Changes in drought tolerance in maize associated with fifty years of breeding for yield in the U.S. corn belt. *Maydica* 51:369-381.
- Cantarero, M.G., S.F. Luque, and O.J. Rubiolo. 2000. Effects of sowing date and plant density on grain number and yield of a maize hybrid in the central region of Córdoba, Argentina. *AgriScientia* 17:3-10.
- Cantarero M.G., A.G. Cirilo y F.H. Andrade. 1999. Night temperature at silking affects kernel set in maize. *Crop Sci.*, 39:703-710.
- Capitanio, R., E. Gentinetta y M. Motto. 1983. Grain weight and its components in maize inbred lines. *Maydica* 28:365-379.
- Cárcova J. y M.E. Otegui. 2001. Pollination asynchrony and kernel abortion in maize. *Crop Sci.*, 41:1809-1815.
- Cárcova, J. y Otegui, M.E. 2007. Ovary Growth and Maize Kernel Set. *Crop Science* 47:1104-1110.
- Cárcova, J., Andrieu, B., y Otegui, M.E. 2003. Silk Growth in Maize: Relationship with Flower Development and Pollination. *Crop Science* 43:914-920.
- Cárcova J., M. Uribelarrea, L. Borrás, M.E. Otegui y M.E. Westgate. 2000. Synchronous pollination within and between ears improves kernel set in maize. *Crop Sci.*, 40:1056-1061.
- Cassman, K.G., Dobermann, A., Walters, D.T. y Yang, H. 2003. Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 2003. 28: 315-58.
- Caviglia, O.P. 2007a. La contribución de los cultivos múltiples a la sustentabilidad de los sistemas agrícolas en Entre Ríos, p. 139-148, In O. P. Caviglia, et al., eds. *Agricultura Sustentable en Entre Ríos*. Ediciones INTA, Buenos Aires.
- Caviglia, O.P. 2007b. Intensificación de la secuencia de cultivos en Entre Ríos: balance de carbono y aprovechamiento de recursos, p. 149-157, In O. P. Caviglia, et al., eds. *Agricultura Sustentable en Entre Ríos*. Ediciones INTA, Buenos Aires.
- Caviglia O.P., V.O. Sadras y F.H. Andrade. 2004. Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas. I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double-cropped wheat-soybean. *Field Crops Res.* 87:117-129.
- Cirilo A.G.. 1994. Desarrollo, crecimiento y partición de materia seca en cultivos de maíz sembrados en diferentes fechas. Tesis M.Sc. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. 86 pp.
- Cirilo A.G. 1995. Fecha de siembra y productividad de maíz. I- Crecimiento del cultivo y partición de materia seca. II- Determinación del número de granos. III- Peso del grano. Tesis Dr EPG FCA-UNMP. 130 pp.
- Cirilo A.G. 2000. Distancia entre surcos en maíz. *Revista de Tecnología Agropecuaria*. INTA Pergamino. Vol.V Nro. 14, Segundo Cuatrimestre: Mayo/Agosto 2000. Pág. 19-23.
- Cirilo A.G. 2001a. Maíces tardíos y maíz de segunda. *Revista de Tecnología Agropecuaria*. INTA Pergamino. Vol. VI Nro. 18, Segundo Cuatrimestre: Setiembre/Diciembre 2001. Pág. 44-48.
- Cirilo A.G. 2001b. La distancia entre surcos y el rendimiento en maíz: Una interpretación ecofisiológica. *Revista de Tecnología Agropecuaria*. INTA Pergamino. Vol. VI Nro. 17, Segundo Cuatrimestre: Mayo/Agosto 2001. Pág. 26-30.
- Cirilo A.G. y F.H. Andrade. 1994 a. Sowing date and maize productivity: I. Crop growth and dry matter partitioning. *Crop Sci.* 34:1039-1043.
- Cirilo A.G. y F.H. Andrade. 1994 b. Sowing date and maize productivity: II. Kernel number determination. *Crop Sci.* 34:1044-1046.
- Cirilo A.G. y F.H. Andrade. 1996. Sowing date and kernel weight in maize. *Crop Sci.*, 36:325-331.
- Cirilo A.G. y Otegui M.E. 2006. El cultivo de maíz y la intensificación de la agricultura en la región pampeana: interculturales y dobles cultivos. *Horizonte A. Magazine de las Ciencias Agrarias*. Nesa Ed., Buenos Aires, Arg. Año 3, Nro. 12, Octubre 2006. Pág. 6-13.
- Cox W.J.. 1996. Whole-plant physiological and yield responses of maize to plant density. *Agron. J.* 88:489-496.
- Dagoberto, E., Parisi, R., Iannone, N. y Frutos, E. 1980. Incidencia del barrenador del tallo *Diatraea saccharalis* (F.) en el cultivo de maíz. En: AIANBA (eds), *Actas II Congreso Nacional de Maíz*. Pergamino, Argentina. pp. 194-200.
- D'Andrea K.E., Otegui M.E., Cirilo A.G. 2008. Kernel number determination differs among maize hybrids in response to nitrogen. *Field Crops Res.* 105:228-239.
- D'Andrea K.E., Otegui M.E., Cirilo A.G. y Eyhérabide G. 2006. Genotypic Variability in Morphological and Physiological Traits among Maize Inbred Lines – Nitrogen Responses. *Crop Science*, 46:1266-1276.
- Dardanelli, J., D. Collino, M.O. Otegui y V.O. Sadras. 2003. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de grano. En: *Producción de granos: Bases funcionales para su manejo*. E.H. Satorre, R. Benech-Arnold, G.A. Slafer, E.B. de la Fuente, D.J. Miralles, M.O. Otegui y R. Savin (Eds.). Editorial Facultad Agronomía-Universidad de Buenos Aires. Cap. 16. Pág. 375-440.
- Doebley J.A.; Stec A.y L. Hubbard. 1997. The evolution of apical dominance in maize. *Nature* 386: 485-488.
- Earl, H.J., and R.F. Davis. 2003. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use

- efficiency and yield of maize. *Agronomy Journal* 95:688-696.
- Echarte, L., Andrade, F.H., Vega, C.R.C., Tollenaar, M., 2004. Kernel Number Determination in Argentinean Maize Hybrids Released between 1965 and 1993. *Crop Sci.* 44, 1654–1661
- Echarte, L., y Tollenaar, M. 2006. Kernel set in maize hybrids and their inbred lines exposed to stress. *Crop Sci.* 46, 870–878.
- Ellis R.H., R.J. Summerfield, G.O. Edmeades y E.H. Roberts. 1992 a. Photoperiod, leaf number, and the interval from tassel initiation to emergence in diverse cultivars of maize. *Crop. Sci.* 32:398-403.
- Ellis R.H., R.J. Summerfield, G.O. Edmeades y E.H. Roberts. 1992 b. Photoperiod, temperature, and the interval from sowing to tassel initiation in diverse cultivars of maize. *Crop. Sci.* 32:1225-1232.
- Eslava, F. 2008. Análisis del quebrado y vuelco en maíz (*Zea mays L.*) bajo diferentes relaciones fuente/destino durante el llenado de granos. TFG para acceder al título de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de Villa María, Villa María, Córdoba.
- Evans, L.T. 1998. Feeding the ten billion: plants and population growth. Cambridge Univ. Press. Cambridge. UK. 247 pp.
- Farqhuar G.D. y T.D. Sharkey. 1982. Stomatal conductance and photosynthesis. *Annu.Rev. Plant Physiol.* 33: 317-345.
- Fischer K.S. y F.E. Palmer. 1984. Tropical maize. In P.R. Goldsworthy & N.M. Fisher (Eds.). *The physiology of tropical field crops*. Wiley. pp 213-248.
- Flénet F., J.R Kiniry, J.E Board, M.E. Westgate y D.C. Reicosky. 1996. Row spacing effects on light extinction coefficients of corn, sorghum, soybean and sunflower. *Agron. J.* 88:185-190.
- Fukai, S. 1993. Intercropping-bases of productivity. *Field Crops Res.* 34:239-245.
- Gambín, B. L., Borrás, L. y M. E Otegui. 2006. Source-sink relations and kernel weight differences in maize temperate hybrids. *Field Crops Res.* 95: 316-326.
- Gambín, B.L., Borrás, L. y Otegui, M.E. 2007. Kernel Water Relations and Duration of Grain Filling in Maize Temperate Hybrids. *Field Crops Res.* 101:1-9.
- Gambín, B.L., Borrás, L. y Otegui, M.E. 2008. Kernel weight dependence upon plant growth at different grain-filling stages in maize and sorghum. *Australian Journal of Agric. Res.* 59 (3):280-290.
- Giuliano, D; A. Cirilo y M.E. Otegui. 2005. Desuniformidad espacial y temporal de plantas en el cultivo de maíz: Influencia de la densidad y la distancia entre surcos. Acta VIII Congreso Nacional de Maíz. AIANBA (Ed). Rosario (S.F.), Argentina. 16-18 de Noviembre de 2005. Pág. 71-74.
- Gómez P. 1991. Disponibilidad hídrica y fecha de siembra como factores determinantes del rendimiento en maíz. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias, Univ.Nacional de Mar del Plata. Balcarce. 39 pp.
- Hall A.J., J.H. Lemcoff y N. Trapani. 1981. Water stress before and during flowering in maize and its effects on yield, its components, and their determinants. *Maydica* 26:19-38.
- Hall,A.J., C.M. Rebella, C.M. Ghersa, and J.P. Culot. 1992. Field-crop systems of the Pampas, p. 413-449, In C.J. Pearson, ed. *Field Crop Ecosystems*.
- Elsevier, Amsterdam, the Netherlands.
- Hanft, J.M. y R.J. Jones. 1986. Kernel abortion in maize. I. Carbohydrate concentration patterns and acid invertase activity of maize kernels induced to abort in vitro. *Plant Phys.* 81:503-510.
- Hesketh J. 1963. Limitations to photosynthesis responsible for differences among species. *Crop Sci.* 3:493-496.
- Hesketh J.D. y I.J. Warrington. 1989. Corn growth response to temperature: rate and duration of leaf emergence. *Agronomy Journal.* 81:696-701.
- Hsiao T.C. y E. Acevedo. 1974. Plant responses to water deficits, water use efficiency and drought resistance. *Agric. Meteorol.* 14: 59-84.
- Jacobs B.C. y C.J. Pearson. 1991. Potential yield of maize, determined by rates of growth and development of ears. *Field Crops Res.* 27:281-298.
- Jones R.J., J. Roessler y S. Ouattar. 1985. Thermal environment during endosperm cell division in maize: Effects on number of endosperm cells and starch granules. *Crop Sci.* 25:830-834.
- Jones R.J., B.M.N. Shreiber y J. Roessler. 1996. Kernel sink capacity in maize: genotypic and maternal regulation. *Crop Sci.* 36:301-306.
- Keeling, P.C., R. Banisadr, L. Barone, B.P. Wasserman y G.W. Singletary. 1994. Effect of temperature on enzymes in the pathway of starch biosynthesis in developing wheat and maize grain. *Aust. J. Plant Physiol.* 21:807-827.
- Kiniry J.R. y J.T. Ritchie. 1985. Shade-sensitive interval of kernel number in maize. *Agron. J.* 77:711-715.
- Kiniry J.R. y R. Bonhomme. 1991. Predicting maize phenology. In: *Predicting crop phenology*. Ed. T. Hodges. CRC Press. Boca Raton, Ann. Arbor. Boston. P. 115-131.
- Kiniry J.R., J.T. Ritchie y R.L. Musser. 1983 a. Dynamic nature of the photoperiod response in maize. *Agron. J.*, 75:700-703.
- Kiniry J.R., J.T. Ritchie, R.L. Musser, E.P. Flint y W.C. Iwig. 1983 b. The photoperiod sensitive interval in maize. *Agron. J.*, 75:687-690.
- Kiniry J.R., C.R. Tischler, W.D. Rosenthal y T.J. Gerik. 1992. Nonstructural carbohydrate utilization by sorghum and maize shaded during grain growth. *Crop Sci.* 32:131-137.
- Lee, E.A., M.A. Staebler, and M. Tollenaar. 2002. Genetic Variation in Physiological Discriminators for Cold Tolerance--Early Autotrophic Phase of Maize Development. *Crop Sci* 42:1919-1929.
- Liu, W., Tollenaar, M., Stewart, G. y Deen, W. 2004. Response of corn grain yield to spatial and temporal variability in emergence. *Crop Sci.* 44, 847-854
- Loomis, R.S. y Connor, D.J. 1996. *Crop Ecology. Productivity and management in agricultural systems*. Cambridge Univ. Press. Cambridge, UK. 538 pp.
- Luque S.F, A.G. Cirilo, M.E. Otegui y F.H. Andrade. 1998. Sincronía floral en maíz: Cambios introducidos con el mejoramiento genético en Argentina Luque S.F, A.G. Cirilo, M.E. Otegui, F.H. Andrade. Actas XXII Reunión Argentina de Fisiología Vegetal. Soc. Arg. de Fis. Vegetal. Mar del Plata, 23 al 25 de Setiembre de 1998. Sección 3, página 260-261.
- Luque, S.F., Cirilo A.G., Otegui, M.E. 2006. Genetic gains in grain yield and related physiological attributes in Argentine maize hybrids. *Field Crops Res.* 95:383-397.
- Maddoni, G. A. 2007. Bases eco-fisiológicas del cultivo para alcanzar altos rendimiento. En: AAPRESID (ed.). Maíz en siembra directa. 73-79.
- Maddoni G.A y, M.E.Otegui. 1996. Leaf area, light

- interception, and crop development in maize.. *Field Crops Res.*, 48:81-87.
- Maddonni, G.A.y Otegui, M.E. 2004. Intra-specific competition in maize: early establishment of hierarchies among plants affects final kernel set. *Field Crops Research* 85: 1-13.
- Maddonni G.A., Otegui M. E. y A.G. Cirilo. 2001a. Plant population density, row spacing, and hybrid effects on maize canopy architecture and light interception. *Field Crops Res.* 71:183-193.
- Maddonni G.A., Cirilo A.G.. Otegui M. E.. 2006. Row Width and Maize Grain Yield. *Agron. J.* 98:1532-1543.
- Maddonni, G.A., Chelle, M., Drouet, J-L., y Andrieu, B. 2001b. Light interception of contrasting leaf azimuth canopies under square and rectangular plant spatial distributions: simulations and crop measurements. *Field Crops Res.* 70:1-13.
- Maddonni G.A., M.E.Otegui, P. González y A.G. Cirilo. 1997. Modificaciones en la relación entre intercepción de la radiación e índice de área foliar, en dos híbridos de maíz ante cambios en la densidad de plantas. En: Actas VI Congreso Nacional de Maíz. AIANBA Ed. Pergamino (BA), Argentina. Noviembre de 1997. III:1-6.
- Maddonni G.A., M.E.Otegui, B. Andrieu, M. Chelle y J.J. Casal. 2002. Maize leaves turn away from neighbors. *Plant Physiology* 130:1181-1189.
- Manrique L.A. y T. Hodges. 1991. Development and growth of tropical maize at two elevations in Hawaii. *Agron. J.* 83:305-310.
- McCullough D.E., Ph. Girardin, M. Mihajlovic, A. Aguilera y M. Tollenaar. 1994. Influence of N supply on development and dry matter accumulation of an old and new maize hybrid. *Can. J. Plant Sci.*, 74:471-477.
- Miranda, W., Cirilo, A., Otegui, M., y Mercau, J. 2006. Doble cultivo maíz-soja de segunda en el norte de Buenos Aires. Resúmenes XXVI Reunión Argentina de Fisiología Vegetal.
- Monzón, J.O., Carrozza, T.J., Calviño, P., y Andrade, F.H. 2005. Efectos del intercultivo en franjas de maíz y soja sobre el rendimiento. Actas VIII Congreso Nacional de Maíz, AIANBA. Rosario, Nov. 2005. Pág. 64-66.
- Muchow R.C. 1989. Comparative Productivity of Maize, Sorghum and Pearl Millet in a Semi-Arid Tropical Environment. II. Effect of water deficits. *Field Crops Res.*, 20:207-219.
- Muchow R.C. y R. Davies. 1988. Effect of nitrogen supply en the comparative productivity of maize and sorghum in a semi-arid tropical environment. II. Radiation interception and biomass accumulation. *Field Crops Res.*, 18:17-30.
- Muchow R.C., T.R. Sinclair y J.M. Bennett. 1990. Temperature and solar radiation effects on potential maize yield across locations. *Agron. J.* 82:338-343.
- Nafzinger E.D.; Carter P.R.y E.E. Graham. 1991. Response of corn to uneven emergence. *Crop Sci.* 31:811-815.
- NeSmith D.S. y J.T. Ritchie. 1992. Effects of soil water-deficits during tassel emergence on development and yield components of maize (*Zea mays*). *Field Crops Res.*, 28: 251-256.
- Nielsen R.L. 1993. Stand establishment variability in corn. AGRY-91-01. Agronomy Dep., Purdue Univ., Indiana USA. 7pp.
- Nielsen, R.L. 2004. Effect of Plant Spacing Variability on Corn Grain Yield [Online]. Available by Purdue University.
- Otegui M.E.. 1995. Prolificacy and grain yield components in modern argentinean maize hybrids. *Maydica*, 40:371-376.
- Otegui M.E.. 1997. Kernel set and flower synchrony within the ear of maize. II. Plant population effects. *Crop Sci.*, 37:448-455.
- Otegui M.E.y F.H Andrade. 2000. New relationships between light interception, ear growth, and kernel set in maize. In: *Physiology and modeling kernel set in maize*. CSSA Special Publication Number 29, CSSA and ASA, Madison WI, USA, pp. 89-102.
- Otegui M.E. y R. Bonhomme. 1998. Grain yield components in maize. I. Ear growth and kernel set. *Field Crops Res.*, 56:247-256.
- Otegui M.E. y A.G. Cirilo. 2001. Producción de maíz: cuándo y por qué usar los Bt. *Revista de Tecnología Agropecuaria*. INTA Pergamino. Vol. VI Nro. 17, Segundo Cuatrimestre: Mayo/Agosto 2001. Pág. 11-14.
- Otegui M.E.y M. López Pereira. 2003. Fecha de siembra. En: *Producción de granos: Bases funcionales para su manejo*. E.H. Satorre, R. Benech-Arnold, G.A. Slafer, E.B. de la Fuente, D.J: Miralles, M.O. Otegui y R. Savin (Eds.). Editorial Facultad Agronomía-Universidad de Buenos Aires. Cap. 12. Pág. 257-275.
- Otegui, M.E. y Melón, S. 1997. Kernel set and flower synchrony within the ear of maize. I- Sowing date effects. *Crop Sci.* 37:441-447.
- Otegui M.E., F.H. Andrade y E.E. Suero. 1995a. Growth, water use, and kernel abortion of maize subjected to drought at silking. *Field Crops Res.* 40: 87-94.
- Otegui, M.E., Mercau, J.L. y Menéndez, F.J. 2002. Estrategias de manejo para la producción de maíz tardío y de segunda. *Guía Dekalb del Cultivo de Maíz*. Ed. Servicios y Marketing Agropecuario, Argentina. Pp: 171-184.
- Otegui M.E., R.A. Ruiz y D. Petrucci. 1996. Modeling hybrid and sowing date effects on potential grain yield of maize in a humid temperate region. *Field Crops Res.*, 47:167-174.
- Otegui M.E., A. Cirilo, G. Maddonni y J. Cárcova. 2000. Otegui M.E., M.G. Nicolini, R.A. Ruiz y P.A. Dodds. 1995 b. Sowing date effects on grain yield components for different maize genotypes. *Agron. J.* 87:29-33.
- Ouattar S., R.J. Jones y R.K. Crookston. 1987. Effect of water deficit during grain filling on the pattern of maize kernel growth and development. *Crop Sci.* 27: 726-730.
- Padilla, J.M., y Otegui, M.E. 2005. Coordination between leaf initiation and leaf appearance rates in field grown maize (*Zea mays L.*): genotypic differences in response to temperature. *Annals of Botany*, 96 :997-1007.
- Pagano, E. y G.A. Maddonni. 2007. Intra-specific competition in maize: Early established hierarchies differ in plant growth and and biomass partitioning to the ear around silking. *Field Crops Res.*, 101:306-320
- Pagano, E. S. Cela, G.A. Maddonni y M.E. Otegui. 2007. Intra-specific competition in maize: Ear development, flowering dynamics and kernel set or early established plant hierarchies. *Field Crops Res.*, 102:198-209
- Porter P.M., D.R Hicks, W.E Lueschen, J.H. Ford, D.D Warnes y T.R Hoverstad. 1997. Corn response to row width and plant populations in the northern corn belt. *J. Prod. Agric.* 10:293-300.
- Rajcan, I y M. Tollenaar. 1999. Source:sink ratio and leaf senescence in maize: Dry matter accumulation and partitioning during grain filling. *Field Crops Res.* 60:245-263.
- Ramos, J.; Valentín, O.; Cabada, S.; Díaz, G.; García, E. Respuesta diferencial de híbridos de maíz ante emergencias desuniformes. *Acta VIII Congreso Nacional de Maíz*. AIANBA (Ed). Rosario

- (S.F.), Argentina. 16-18 de Noviembre de 2005. Pág. 21-23.
- Reddy, V.M. y T.B. Daynard. 1983. Endosperm characteristics associated with rate of grain filling and kernel size in corn. *Maydica* 28:339-355.
- Richards, R.A.; C. López Castañeda, H. Gómez-Macpherson y A.G. Condon. 1993. Improving the efficiency of water use by plant breeding and molecular biology. *Irrig. Sci.* 14:93-104.
- Ritchie J.T. y J.J. Hanway. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service, Ames, Iowa. Special Report N° 48.
- Ritchie J.T. y D.S. NeSmith. 1991. Temperature and crop development. In: Modeling plant and soil systems. Ed. John Hanks y J.T. Ritchie. ASA-CSSA-SSSA. Madison, WI. Agronomy monograph Nro 31, p g. 5-29.
- Sadras, V.O. y Milroy, S.P. 1996. Soil-water thresholds for the responses of leaf expansion and gas exchange: A review. *Field Crops Res.* 47:253-266.
- Sarandón, S.J., y Chamorro, A.M. 2003. Policultivos en los sistemas de producción de granos. En: Producción de Granos: Bases funcionales para su manejo. Ed. Fac. Agron-UBA. Cap. 15. Pág. 353-370.
- Sarlangue, T. F. Andrade, P. Calviño y L. Purcell. 2007. Why do maize hybrids respond differently to variations in plant density?. *Agron. Journal*.99 :984-991.
- Schoper, J.B., R.J. Lambert y B.L. Vasilas. 1986. Maize pollen viability and ear receptivity under water stress and high temperature stress. *Crop Sci.* 26:1029-1033.
- Shaw R.H. 1988. Climate requirement. En "Corn and corn improvement" Third Edition. G.F. Sprague y J.W. Dudley (Eds). Series Agronomy N 18. American Society of Agronomy, Inc. Publishers. Madison, Wisconsin, USA. p 609-638.
- Sinclair T.R.; J.M. Bennett y R.C. Muchow. 1990. Relative Sensitivity of Grain Yield and Biomass Accumulation to Drought in Field-Grown Maize. *Crop Science* 30: 690-693.
- Thompson, L.M. 1986. Climatic change, weather variability and corn production. *Agron. J.* 78:649-653.
- Tollenaar M. y T.B. Daynard. 1978 a. Effect of defoliation on kernel development in maize. *Can. J. Plant Sci.* 58:207-212.
- Tollenaar M. y T.B. Daynard. 1978 b. Relationship between assimilate source and reproductive sink in maize grown in a short season environment. *Agron. J.* 70:219-223.
- Tollenaar M. y J. Wu. 1998. Improving maize grain yield potential in a cool environment. In: Otegui, M.E. and Slafer, G.A. (eds). Proceedings of the International Workshop on Physiological Bases for Maize Improvement. October 8-9, 1998, Buenos Aires, Argentina.
- Tollenaar M., L.M. Dwyer y D.W. Stewart. 1992. Ear and kernel formation in maize hybrids representing three decades of grain yield improvement in Ontario. *Crop Sci.* 32:432-438.
- Tollenaar, M., Deen, W., Echarte, L. y Liu, W. 2006. Effect of Crowding Stress on Dry Matter Accumulation and Harvest Index in Maize. *Agron. J.* 2006 98: 930-937.
- Totis de Zeljkovich, L.E. y C.M. Rebella. 1980. Necesidades de agua de un cultivo de maíz en la región de Pergamino. En: AIANBA (eds.). Actas del II Congreso Nacional de Maíz. Pág. 211-219.
- Uhart S.A. y F.H. Andrade. 1995 a. Nitrogen shortage in maize: I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning and kernel set. *Crop Sci.* 35:1376-1383.
- Uribelarrea M., J. Cárcova, M.E. Otegui y M.E. Westgate. 2002. Pollen production, pollination dynamics and kernel set in maize. *Crop Sci.* 42 :1910-1918.
- Valentinuz O.R.; Vega C.R.; Andrade F.H.; Uhart S.A. 1995. Estabilidad del rendimiento ante variaciones en densidad de plantas en girasol, maíz y soja. Relación entre crecimiento y granos fijados por planta. I Congreso Nacional de Soja y II Congreso Nacional de Oleaginosas. Pergamino, Argentina. pp. 151-159.
- Valentinuz O., Cabada S. y Sánchez C. 2007. Contribución de espigas y macolllos al rendimiento de híbridos en distintas densidades. Actualización técnica de Maíz. EEA Paraná Serie Extensión n° 44.
- Vega C.R. y F.H. Andrade. 2000. Densidad de plantas y espaciamiento entre hileras. In: "Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja". F.H. Andrade y V.O. Sadras (Eds.), INTA-UIB. Capítulo 4, páginas 97-133.
- Vega C.R.C y V.O. Sadras. 2003. Size-dependent growth and the development of inequality in maize, sunflower and soybean. *Annals Bot.* 91 :791-805.
- Vega C.R.C., F.H. Andrade, y V.O. Sadras. 2001a. Reproductive partitioning and seed set efficiency in soybean, sunflower and maize. *Field Crops Research* 72:163-175.
- Vega, C.R.C., V.O. Sadras, F.H. Andrade, and S.A. Uhart. 2000. Reproductive allometry in soybean, maize and sunflower. *Annals of Botany* 85:461-468.
- Vega, C.R.C., F.H. Andrade, V.O. Sadras, S.A. Uhart, and O.R. Valentinuz. 2001b. Seed number as a function of growth. A comparative study in soybean, sunflower, and maize. *Crop Science* 41:748-754.
- Varlet-Grancher C. 1982. Analyse du rendement de la conversion de l'énergie solaire par un couvert végétal. Tesis Dr. Etat, Orsay, Nro. 2593, 144 pp.
- Warrington I.J. y E.T. Kanemasu. 1983 a. Corn growth response to temperature and photoperiod. I.Seedling emergence, tassel initiation, and anthesis. *Agronomy Journal*.75:749-754.
- Warrington I.J. y E.T. Kanemasu. 1983 c. Corn growth response to temperature and photoperiod. III.Leaf number. *Agronomy Journal*.75:762-766.
- Westgate M.E. y J.S. Boyer. 1986. Reproduction at low silk and pollen water potentials in maize. *Crop Science* 26: 951-956.
- Wilson, D.R., R.C., Muchow y C.J. Murgatroyd. 1995. Model analysis of temperature and solar radiation limitations to maize potential productivity. *Field Crops Res.* 43:1-18.
- Ying, J., E.A. Lee, and M. Tollenaar. 2000. Response of maize leaf photosynthesis to low temperature during the grain-filling period. *Field Crops Research* 68:87-96.
- Zamski, E. and A.A. Schaffer. 1996. Photoassimilate distribution in plants and crops. Marcel Dekker. New York .

3. MEJORAMIENTO GENÉTICO DE MAÍZ

Guillermo H. Eyhérabide

Estación Experimental Agropecuaria INTA
Pergamino

Índice

Introducción	59
El método de endocría e hibridación para la explotación de la heterosis	59
Tipos de acción génica. Bases genéticas de la heterosis	
Patrones de heterosis	60
Métodos de mejoramiento	61
<i>Método de pedigree o genealógico. Variantes</i>	62
<i>Selección gamética y cigótica</i>	63
<i>Métodos de haploides duplicados</i>	64
<i>Selección recurrente</i>	64
<i>Respuesta a la selección recurrente</i>	65
<i>Métodos de selección recurrente</i>	65
<i>Selección recurrente fenotípica</i>	66
<i>Selección recurrente de medios</i>	
<i>hermanos</i>	66
<i>Selección recurrente de hermanos completos</i>	67
<i>Selección recurrente de progenies endocriadas</i>	67
<i>Selección recurrente recíproca de medios hermanos</i>	67
<i>Selección recurrente recíproca de hermanos completos</i>	68
<i>Estimación y comparación de respuesta esperada para distintos métodos de selección recurrente.</i>	68
<i>Sistemas de endocría</i>	68
<i>Desarrollo de híbridos</i>	70
<i>Evaluación de líneas endocriadas</i>	70
<i>La selección recurrente en programas de desarrollo de híbridos</i>	71
Mejoramiento para sistemas de producción intensificados	72

<i>Mejoramiento para doble cultivos</i>	72
<i>Mejoramiento para sistemas consociados o intercultivos</i>	73
Biotecnología aplicada al mejoramiento de maíz	74
Mejoramiento genético de maíz en la Argentina	75
Bibliografía	77

Introducción

El maíz (*Zea mays L.*) es una gramínea originaria de América. Aunque su centro de origen se encuentra en América Central y México, existen varios centros de diversidad a lo largo de la Cordillera de los Andes. Se trata de una especie diploide, que consta de diez pares de cromosomas ($2n=2x=10$). Se reproduce por semillas resultantes de la fecundación cruzada de óvulos dispuestos en una inflorescencia femenina (espiga), generalmente única y ubicada en posición axial, por granos de polen producidos en una inflorescencia masculina (panoja) ubicada en la porción apical del tallo. La polinización es anemófila y el porcentaje de autofecundación en condiciones naturales es muy reducido.

La separación en la misma planta de estructuras florales de distinto sexo permite la aplicación de una variada gama de métodos de mejoramiento y producción de semilla. El mejoramiento genético se basa en la aplicación de selección artificial, esto es la selección deliberada de un grupo de individuos como progenitores de la siguiente generación. El mejoramiento genético de maíz más simple ha sido el realizado durante siglos por los agricultores al seleccionar visualmente por características de la espiga o del grano que se ajustaban a sus necesidades de alimento. Durante el siglo XX el mejoramiento de la especie tomó un impulso muy importante gracias a los avances en Genética. A principios de ese siglo, Shull (1909) propuso la utilización del método de endocría e hibridación a fin de aprovechar el fenómeno de heterosis que exhibían los cruzamientos entre razas o genotipos poco emparentados. La existencia de heterosis se evidencia por un mayor vigor de los individuos híbridos respecto a sus progenitores para caracteres relacionados con la aptitud reproductiva, entre ellos el rendimiento de grano. A partir de la década del '40 se realizaron numerosos trabajos de investigación en Genética Cuantitativa a fin de determinar el tipo de acción génica involucrado en el control del rendimiento de grano. Las

metodologías empleadas en estos trabajos dieron paso a métodos de selección recurrente más elaborados.

El grado de evolución de los programas comerciales de mejoramiento genético de maíz se refleja en el tipo de cultivar que generan. Así es como en los EEUU el principal producto hasta la década del '30 (en Argentina hasta la década del '60) fueron variedades de polinización abierta. Estas variedades cedieron posteriormente su espacio en el área cultivada a híbridos dobles (de cuatro líneas), luego a híbridos de tres líneas y finalmente a híbridos simples (producto del cruzamiento entre dos líneas). El desarrollo y adopción de los híbridos simples se vió dificultado o demorado durante mucho tiempo por el escaso rendimiento de las líneas progenitores y el consecuente efecto sobre los costos de producción de la semilla.

El método de endocría e hibridación para la explotación de la heterosis

Los trabajos de Shull (1908, 1909) y de East (1908) determinaron la futura orientación del mejoramiento de maíz. Estos autores demostraron que una población o variedad de maíz está compuesta por una colección heterogénea de genotipos, a partir de los cuales era posible generar, mediante sucesivas autofecundaciones, líneas endocriadas homogéneas (en el sentido de que todos los individuos que pertenecen a una misma línea son genéticamente idénticos) y homocigotas (condición en la cual ambos cromosomas de cada par poseen en cada locus los mismos alelos). Estas líneas mostraban disminución de tamaño de planta y rendimiento de grano (depresión por endocría), pero los híbridos resultantes del cruzamiento entre líneas recuperaban el vigor y exhibían rendimientos que podían ser menores, similares, o superiores a los de las poblaciones de las que se derivaban las líneas. La aplicación práctica del método de mejoramiento por endocría e hibridación se demoró hasta después de la propuesta

de Jones (1918), consistente en la producción de híbridos dobles (cruzamiento entre dos híbridos simples) en lugar de híbridos simples como manera de superar las limitaciones de rendimiento de semilla de las líneas endocriadas.

El método de endocriación e hibridación permite la producción a voluntad de semilla híbrida con una constitución genética determinada y constante, a condición de que se resguarde la pureza de las líneas progenitoras y se apliquen buenas prácticas agronómicas de producción de semilla (evitar la contaminación con polen extraño, mezclas mecánicas, etc). En la medida que las líneas progenitoras sean endocriadas hasta completa homocigosis, la recombinación genética resultante del entrecruzamiento o *crossing over* durante la meiosis no altera el genotipo de las gametas que darán origen a cada semilla F1. Los individuos de la F1 serán genéticamente heterocigotas (condición en la cual ambos cromosomas de cada par poseen en cada locus alelos distintos) en aquellos loci en que las líneas progenitoras tenían fijados en estado homocigota alelos distintos. La denominación de alelo hace referencia a formas alternativas de un mismo gen, a su vez ubicado en una posición determinada (*locus*) en el cromosoma. La semilla híbrida, dependiendo del

tipo de híbrido, puede dar origen a poblaciones homogéneas o heterogéneas. Los individuos F1 de un híbrido simple conforman una población homogénea por cuanto todos los individuos son genéticamente idénticos. Por el contrario, la siembra de híbridos de tres líneas o dobles, dan origen a cultivos o poblaciones heterogéneas, ya que la recombinación genética se da en al menos uno de los dos progenitores del híbrido sembrado. El mayor grado de uniformidad u homogeneidad de los híbridos simples constituye una de las características más apreciadas por los agricultores. Ha sido demostrado, por otra parte, que un menor nivel de competencia entre plantas de un cultivo mediante prácticas culturales y homogeneidad genotípica se asocia a mayores rendimientos (Janik, 1999).

Tipos de acción génica. Bases genéticas de la heterosis. Patrones de heterosis.

Los modelos genéticos aplicados a los caracteres métricos asumen que estos están controlados por un elevado número de genes con efecto pequeño. Esos efectos genéticos pueden ser de tipo aditivo, de dominancia y de epistasia. La Figura 1 presenta de manera conceptual los

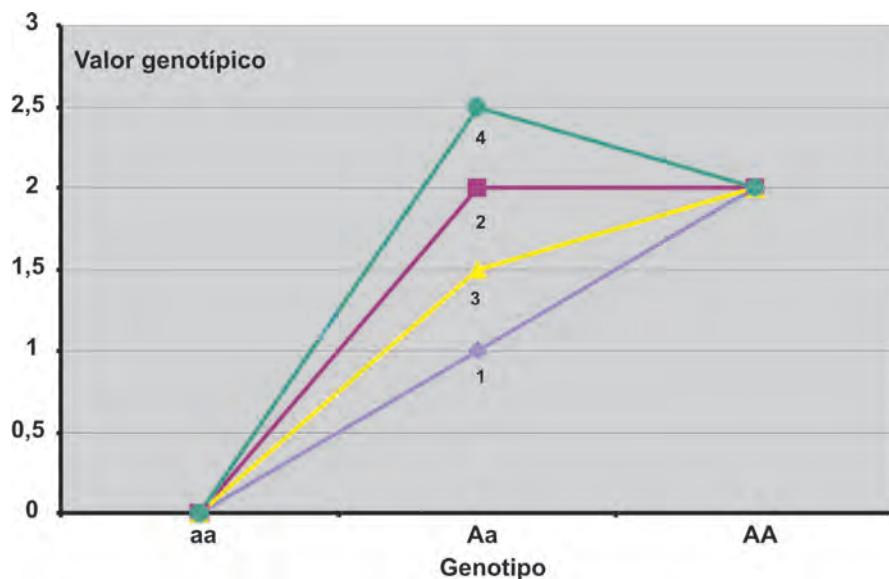


Figura 1: Valores genotípicos esperables para un locus bajo diferentes modelos de aditividad y dominancia: aditivo sin dominancia (1), aditivo con dominancia completa (2), aditivo con dominancia parcial (3) y aditivo con sobredominancia (4).

valores genotípicos esperables en ausencia de epistasia y dos alelos por locus bajo un modelo exclusivamente aditivo (1), aditivo con dominancia completa (2), con dominancia parcial (3) y con sobredominancia (4). La epistasia surge de la interacción de alelos ubicados en diferentes loci. Para un determinado individuo y cuando existe epistasia, el valor genotípico no depende sólo de los efectos aditivos y de dominancia correspondiente a los alelos que lo componen tomados individualmente, sino también de los efectos de interacción entre loci. Según el tipo de acción génica de los alelos y número loci involucrados, la interacción epistática puede ser de tipo aditivo x aditivo, aditivo x dominante o dominante x dominante, o análogamente para las interacciones de mayor orden.

Las bases genéticas de la heterosis, pese a haber sido informada por Beal (citado por Hallauer, 1999) a fines del siglo XIX y utilizada extensivamente en el desarrollo de cultivares, no han sido completamente dilucidadas. Existen diferentes teorías, pero se considera que la heterosis se debe a la acción de genes con dominancia parcial a completa. Su magnitud depende de la diferencia de frecuencia génica entre las líneas progenitoras para los loci que controlan el carácter y de la existencia de cierto nivel de dominancia y de la contribución de efectos epistáticos asociados a dominancia (Miranda Filho, 1999).

La asociación directa entre la diversidad genética de los progenitores y la probabilidad de obtener heterosis justifica la organización de programas de mejoramiento en patrones de heterosis. Cuando del cruzamiento entre grupos específicos de germoplasma se obtienen, con una frecuencia relativamente alta, híbridos que presentan elevados niveles de heterosis, se dice estar en presencia de dos grupos heteróticos que conforman entre sí un patrón de heterosis. La organización de un programa de mejoramiento en grupos y patrones de heterosis permite una mejor planificación de cruzamientos destinados tanto a la obtención de nuevas líneas endocriadas como de nuevos cultivares híbridos. El ejemplo de patrón heterótico más conocido y explotado en áreas maiceras

ubicadas en regiones de clima templado es Lancaster Sure Crop x Reid Yellow Dent. El patrón heterótico más empleado en el área pampeana de Argentina es el Flint (Argentino) x Dent (Americano). Los patrones de heterosis pueden generarse mediante el desarrollo de poblaciones divergentes que expresen heterosis en su cruzamiento, la que a su vez puede incrementarse como resultado de la aplicación de métodos de selección recurrente recíproca u otros métodos de mejoramiento. Los patrones de heterosis definidos por grandes grupos de germoplasma admiten, a su vez, subdivisiones en otros más específicos o propios de cada programa de mejoramiento.

Métodos de mejoramiento

La magnitud de la heterosis para rendimiento en cruzamientos de maíz explica que el producto final por excelencia de los programas de mejoramiento sean cultivares híbridos. Ello implica que el proceso de mejoramiento, a diferencia de lo que ocurre en la mayoría de las especies autógamas de importancia agrícola, abarca conceptualmente dos etapas, la primera consistente en el desarrollo y mejoramiento de progenitores de híbridos (líneas endocriadas), y la segunda de evaluación y selección de las mejores combinaciones o cruzamientos entre esos progenitores en términos de comportamiento agronómico, producción y calidad. Estas dos etapas son instrumentadas de manera que permitan lograr cultivares en el más breve plazo.

La respuesta o progreso por selección requiere, como materia prima de variabilidad genética. El mejoramiento genético debe entenderse como un proceso incremental y continuo de búsqueda de nuevas recombinaciones de genes que permitan obtener cultivares que expresen mayores niveles de rendimiento, calidad, tolerancia a condiciones de estrés, etc. Consecuentemente la etapa de mejoramiento de progenitores de híbridos tiene como material de partida, normalmente, a genotipos que ya poseen un comportamiento agronómico aceptable. Es

frecuente que líneas progenitoras élite de origen similar (mismo grupo heterótico) sean cruzadas entre sí, y los híbridos resultantes posteriormente autofecundados para obtener poblaciones F2. Esta filial presenta el mayor nivel de segregación posible en aquellos loci en los cuales las líneas progenitoras portaban alelos diferentes. Existe otro tipo de materiales de partida, además de la F2 de híbridos simples entre líneas élite. Las filiales F2 pueden provenir de híbridos de tres líneas, o de cuatro líneas, de generaciones de retrocruza, etc. Alternativamente puede emplearse otra clase de germoplasma de partida, como poblaciones más complejas que derivan por intercruzamiento y recombinación de un número mayor de líneas (sintéticas), o bien compuestos y variedades de polinización abierta.

El desafío del fitomejorador consiste en identificar y seleccionar dentro de esas poblaciones o materiales de partida, a individuos con una constitución genética (genotipo) que resulte, para el carácter que se desea mejorar, en un comportamiento lo más elevado posible respecto al promedio de la población. Frecuentemente el mejorador debe basar su selección en el comportamiento observable de los individuos (fenotipo), el cual no sólo está condicionado por factores genéticos (heredables), sino también ambientales (no heredables). Estos últimos incluyen no solamente los efectos del ambiente al que se ven expuestos los individuos, sino también a la interacción entre el genotipo y el ambiente (interacción genotipo x ambiente). Afortunadamente existen metodologías que asisten al fitomejorador y le permiten discernir, con mayor o menor grado de precisión (heredabilidad), el mérito genético de los individuos bajo selección. Las técnicas de evaluación en ensayos con repeticiones y replicados en diferentes ambientes, las evaluaciones de comportamiento a plagas y enfermedades en condiciones de infestación artificial, la medición del comportamiento de progenies emparentadas, y la creciente utilización de marcadores moleculares, son algunas de las herramientas empleadas por los mejoradores

para aumentar la eficiencia de la selección. El lector puede encontrar mayor información sobre la interacción genotipo x ambiente en el capítulo correspondiente a criterios para la elección de cultivares

Los métodos más tradicionales para desarrollar líneas progenitoras de híbridos son el de pedigree, que presenta una serie de variantes, y la selección recurrente. Esta última permite el mejoramiento paulatino de poblaciones que pueden ser utilizadas como fuente de extracción de líneas. Ambas metodologías son complementarias y pueden aplicarse en forma combinada.

Método de pedigree o genealógico. Variantes

Este método, es uno de los más frecuentemente utilizados para desarrollar líneas endocriadas. El proceso se inicia con la autofecundación de individuos de una población que dispone de suficiente variabilidad genética. Cada individuo autofecundado da origen a lo que se denominan familias o progenies endocriadas. Cada progenie recibe una identificación única (pedigree) correspondiente a su origen y una secuencia numérica que se aplica en cada generación de endocría y selección, de manera tal que el pedigree o historial de desarrollo de una línea o progenie estabilizada puede describirse de manera completa.

Las poblaciones de partida pueden tener origen muy diverso. Puede tratarse de cultivares de polinización abierta, sintéticas, la generación F2 de un híbrido, o de alguna generación resultante del cruzamiento planeado entre líneas endocriadas ya disponibles. Frecuentemente los programas de mejoramiento aplican el método de pedigree a las generaciones segregantes (ej. F2s, retrocruzas) derivadas del cruzamiento entre líneas promisorias que pertenecen a un mismo grupo heterótico. Este tipo de cruzamientos (elite x elite) ofrece mayores probabilidades de éxito en el corto plazo.

El método de pedigree requiere un cuidadoso registro del material genético en cada generación. Las semillas de cada espiga obtenidas por autofecundación (progenie) son

generalmente sembradas en la campaña siguiente en uno o más surcos perfectamente individualizados (“espiga x hilera”). En las primeras generaciones de autofecundación se practica selección entre progenies y dentro de progenies, fundamentalmente para caracteres de alta heredabilidad. Paralelamente al avance de las generaciones de endocría, las progenies son evaluadas en cruzamientos con una o más líneas probadoras (generalmente de un grupo heterótico diferente) a fin de seleccionar aquellas con mayor habilidad combinatoria para rendimiento.

El método de retrocruza constituye una variante del método de pedigree o genealógico y se emplea cuando se desea transferir un carácter deseable presente en una línea (donante), a otra que carece de él, pero posee otros caracteres agronómicos favorables y que se desea mejorar (línea recurrente).

Otra variante del método de pedigree es el SSD (“single seed descent” o “descendencia de una sola semilla”), en el cual se asegura la inclusión de al menos una semilla de cada planta de la población en la siguiente generación. Es decir que durante el proceso de avance de endocría y hasta alcanzar el nivel de homocibosis se minimiza la selección artificial a fin de mantener todo lo posible la variabilidad contenida en la población de partida. Requiere menor cantidad de registros. Por la escasa o nula aplicación de selección artificial, algunas modificaciones del método SSD se emplean para generar grupos de líneas endocriadas recombinantes (RILs) destinados a estudios de herencia mediante técnicas de Genética Cuantitativa o que emplean marcadores moleculares. Su utilización como procedimiento de rutina para el desarrollo de líneas, fuera de esos objetivos más básicos, es reducido, aunque una de sus ventajas es que permite acortar el tiempo necesario para estabilizar las líneas mediante el uso de ambientes controlados o viveros fuera de estación para acelerar generaciones.

El método del “bulk” es otra alternativa de conducción genealógica durante el desarrollo de líneas, que puede combinarse con el

método de pedigree. En este caso las espigas obtenidas por autofecundación de la población no se mantienen individualizadas, sino que en el siguiente ciclo se siembra una mezcla balanceada de semillas provenientes de todas las espigas autofecundadas cosechadas sobre plantas seleccionadas de una misma progenie o grupos de progenies. Este procedimiento puede seguirse por una o dos generaciones mientras se selecciona por caracteres de alta heredabilidad y de allí en más continuarse con el método de pedigree convencional. En comparación con el método de pedigree, el método de bulk y el SSD requieren menor espacio físico y registros para ser llevados a cabo.

La aplicación sistemática del método de pedigree a poblaciones resultantes de cruzamientos planeados entre líneas elite da origen a lo que se denominan líneas de segundo, tercero o *n*-ésimo ciclo.

Selección gamética y cigótica

Otras metodologías para el desarrollo de líneas han sido propuestas a partir de sus ventajas teóricas, pero no han sido mayormente aplicadas. Tal es el caso de la selección gamética propuesta por Stadler (1944). La selección gamética es en realidad un método de mejoramiento de líneas que parte del hecho de que en cualquier población y locus considerados, la proporción o frecuencia de gametas (gametofito) que llevan el alelo favorable es mayor que la de los individuos (esporofitos) homocigotas para ese mismo alelo ($p > p^2$), lo que facilitaría su detección en la generación gametofítica. Cuando se detecta una buena combinación híbrida entre dos líneas, A y B, y una de ellas (A) se mantendrá como progenitor de futuros híbridos, este método puede emplearse para detectar gametas portadoras de alelos favorables en una población C que permitan desarrollar híbridos que superen el comportamiento del híbrido A x B. Para ello se obtiene la F1 entre la línea B y la población C. Los individuos F1 diferirán unos de otros según la contribución gamética recibida de la población C. Cada planta F1 será autofecundada y cruzada con la línea A. Los cruzamientos

$F_1 \times A$ que superen el comportamiento del híbrido $A \times B$, serán los que provienen de plantas F_1 resultantes de la fecundación de gametas de A por gametas portadoras de los alelos favorables de la población C . En la siguiente generación se siembra la semilla obtenida por autofecundación de las plantas F_1 seleccionadas, aunque sólo el 25% de los individuos de esas familias serán homocigotas para el alelo favorable. La selección cigótica (Hallauer, 1970) es una variante de la selección gamética y consiste en autofecundar individuos de una población y cruzarlos con una línea probadora. Una vez evaluados los cruzamientos, se seleccionan los mejores individuos y su semilla S_1 se siembra mediante el método de espiga x hilera para continuar con el trabajo de autofecundación y cruzamiento con la línea probadora. Si esta última es, a su vez, progenitora de un híbrido comercial, el método se adapta fácilmente al desarrollo de nuevos híbridos.

Método de haploides duplicados

La metodología de doble haploides o haploides duplicados fue delineada por Chase (1952). Si bien permitió obtener líneas endocriadas que alcanzaron a utilizarse en la producción de híbridos, es un método que por mucho tiempo no alcanzó mayor difusión. Es posible acortar prácticamente a una única etapa el logro del 100% de homocigosis en todos los loci, pero tropieza con el inconveniente de que el muestreo de la población segregante de la que se derivan los haploides duplicados resulta reducido en razón de su baja frecuencia de ocurrencia. Sin embargo ésta metodología está recibiendo mayor atención en los últimos años, ya que además de reducir drásticamente el tiempo requerido para alcanzar máxima homocigosis, se ha mejorado la eficiencia del sistema de modo de aumentar la frecuencia de obtención de haploides y duplohaploides. Existen líneas o stocks genéticos que cuando se utilizan como polinizadores “inducen” la formación de semillas haploides en las plantas utilizadas

como progenitor femenino (haploides maternos). Estos materiales inductores son portadores, además, de marcadores genéticos que facilitan la identificación de las semillas haploides. Un porcentaje de embriones haploides duplican espontáneamente su número cromosómico. Existe variabilidad entre los inductores de haploidía en cuanto a la frecuencia con que pueden generar haploides y duplo-haploides espontáneos. La etapa inicial del método consiste en realizar el cruzamiento de un híbrido F_1 o de planta F_2 del que se quieren derivar nuevas líneas (utilizado como progenitor femenino) por una línea inductora polinizadora.

Otro sistema para obtención de líneas duplohaploides consiste en la utilización de algunos genes, como por ejemplo el gametofito indefinido, que permiten aumentar la frecuencia de obtención de haploides duplicados, especialmente cuando se los combina con ciertas translocaciones cromosómicas.

Debido a que el producto final del mejoramiento es un cultivar híbrido, no puede prescindirse de la importante etapa de evaluación de la habilidad combinatoria de las líneas homocigotas que se obtengan, lo cual contrarresta las ventajas de obtener rápidamente la homocigosis. Sin embargo la mayor variancia genética aditiva en la población de líneas duplohaploides es una ventaja adicional del método, ya que posibilita trabajar con mayores heredabilidades y en consecuencia mejorar la respuesta a la selección. Al existir escasas oportunidades de selección durante el proceso de obtención de las líneas, en general el material de partida consiste en cruzamientos planeados entre materiales élite.

Selección recurrente

La frecuencia de alelos favorables en una población determina su comportamiento para la expresión de un carácter métrico. Es posible que esos alelos favorables se encuentren en baja frecuencia en la población, y es razonable esperar que el aumento de esa frecuencia se refleje en un mejor comportamiento de la población. La lógica detrás de la selección recurrente es aplicar un método que progresivamente vaya aumentando

la frecuencia de esos alelos favorables y al mismo tiempo evite en lo posible la pérdida de variabilidad genética. Esto permite mejorar a la población para una o más características de interés y obtener respuesta a la selección durante un número significativo de ciclos de selección. Es por ello que, a diferencia del método de pedigree, la selección recurrente constituye una estrategia de mejoramiento a mediano y largo plazo. Los aumentos en frecuencia de los alelos favorables que controlan un carácter, aunque sean pequeños, incrementan significativamente las probabilidades de recuperar en ciclos posteriores individuos y líneas con una constitución genotípica más favorable.

Los métodos de selección recurrente son cíclicos, se conducen de forma repetitiva y constan de tres etapas: a) la de muestreo de individuos, con o sin generación de algún tipo de progenie; b) la de evaluación y selección de esos individuos, ya sea directamente o a través de progenies emparentadas (pruebas de progenies), y c) la de recombinación de los individuos seleccionados (los que poseen mayor frecuencia de alelos favorables), que cierra cada ciclo de selección y posibilita que la población resultante posea mayor frecuencia de alelos favorables comparada con la población original.

Existen numerosos métodos de selección recurrente. Ellos pueden clasificarse en dos grandes grupos según se tenga como objetivo el mejoramiento de una única población (selección recurrente intrapoblacional) o del híbrido entre dos poblaciones (selección recurrente interpoblacional o selección recurrente recíproca). La adopción de métodos de selección recurrente interpoblacionales depende, entre otros factores, de la existencia y magnitud de la heterosis que se expresa en el cruzamiento entre ambas poblaciones. Estos métodos de selección recurrente admiten un número importante de variantes, las que pueden clasificarse según qué tipo de progenies o individuos se evalúen, y qué tipo de progenies se utilicen para la etapa de recombinación.

Respuesta a la selección recurrente

Algunos de los métodos de selección recurrente surgieron como una herramienta

para investigar sobre los tipos de acción génica involucrados en la expresión del rendimiento de grano, como por ejemplo la selección recurrente recíproca. Todos los métodos de selección recurrente capitalizan los efectos aditivos que controlan el carácter bajo selección, aunque aquellos que evalúan familias de hermanos completos exploran, además, los efectos no aditivos.

Tomando en cuenta las características de cada método de selección recurrente, es posible estimar la respuesta esperada. En cualquier caso la magnitud de varianza genética aditiva en la población es la que impone un límite potencial a la respuesta. Haciendo abstracción del método de selección, y teniendo a disposición varias poblaciones que difieren en su variabilidad genética aditiva, el progreso o ganancia esperada por ciclo de selección recurrente será mayor en aquella con mayor varianza aditiva. Además de la variabilidad genética, el otro criterio que normalmente se tiene en cuenta en la elección de una población para iniciar un programa de selección recurrente es su comportamiento medio para el carácter de interés. Con niveles similares de varianza aditiva, entre poblaciones que poseen diferentes medias, en términos generales se prefiere seleccionar en forma recurrente a la que posee mejor comportamiento de partida.

La respuesta esperada a la selección en una población determinada varía en función de las características de cada método. Conceptualmente, la respuesta será mayor cuanto mayor es la heredabilidad del tipo de unidad de selección, la relación o emparentamiento genético entre un individuo seleccionado en la población inicial y otro tomado al azar en la población resultante, y la intensidad de selección. Asumiendo una distribución normal de la población, si se seleccionan todos los individuos (o progenies) que superan un nivel mínimo para el carácter (selección por truncamiento), la intensidad de selección está en función de la diferencia entre la media de los individuos o las progenies seleccionadas y la media de todos los individuos o progenies evaluadas. Esta última media será similar a la media verdadera de la población original en la medida que se haya efectuado

un muestreo representativo de la misma. A mayor intensidad de selección puede esperarse mayor respuesta inmediata a la selección. Sin embargo existe una relación de compromiso entre la mayor respuesta en el corto plazo y la posibilidad de mantenerla en el mediano/largo plazo. Ello puede ocurrir en situaciones en que el número de individuos o familias seleccionadas y que serán recombinadas para completar cada ciclo de selección (en función de la intensidad de selección elegida) sea reducido y resulte en pérdida de variabilidad genética.

Existe abundante documentación sobre mediciones de respuesta en rendimiento de grano a diferentes métodos de selección recurrente, revelando un rango promedio de respuesta directa del 2 al 4% por ciclo (Coors, 1999) para los métodos intrapoblacionales e interpoblacionales.

Métodos de Selección Recurrente

Los métodos de selección recurrente intrapoblacional pueden clasificarse en cuatro grupos principales:

1. Selección recurrente fenotípica (masal)
2. Selección recurrente de medios hermanos
3. Selección recurrente de hermanos completos
4. Selección recurrente de progenies endocriadas

Los métodos de selección recurrente interpoblacional pueden agruparse en:

1. Selección recurrente recíproca de medios hermanos
2. Selección recurrente recíproca de hermanos completos

Selección recurrente fenotípica

En este método la evaluación del carácter se efectúa *per se* sobre los individuos de la población. Asumiendo que se trabaja con una muestra suficientemente representativa de la población, el mejorador tiene a su disposición toda la varianza genética aditiva presente en ella. Sin embargo para la mayoría de los caracteres de

interés económico (el rendimiento, por ejemplo), la respuesta esperada a la selección se ve limitada por el hecho de que la heredabilidad cuando se trabaja con plantas individuales es menor que la heredabilidad trabajando con familias. La selección masal basa su evaluación en el comportamiento de individuos, el cual está condicionado por otros tipos de acción génica, además de la aditiva, y por el ambiente en el que se encuentra. Al trabajar con plantas individuales no hay posibilidad de realizar experimentos con repeticiones y en diferentes ambientes que permitan conocer el error experimental y el efecto de la interacción genotipo x ambiente. Por otro lado el nivel de emparentamiento entre un individuo seleccionado en la población inicial y otro que compondrá la población resultante se ve reducido por la falta de control parental en la polinización (la generación siguiente surge del cruzamiento de individuos seleccionados por individuos seleccionados y no seleccionados). Este método tiene la ventaja, sin embargo, de admitir la aplicación de altas intensidades de selección sin mayores pérdidas de variabilidad. Las limitaciones de la selección recurrente fenotípica han tratado de solucionarse a través de modificaciones. La más conocida es la selección fenotípica estratificada (Gardner, 1961), que permite trabajar con mayor heredabilidad al controlar mejor el efecto del ambiente. Las modificaciones propuestas por otros autores apuntan a mejorar la respuesta mediante un mayor control parental.

Selección recurrente de medios hermanos

Cuando dos o más individuos tienen en común a sólo uno de sus progenitores, se dice que constituyen una familia de medios hermanos. El comportamiento de las familias de medios hermanos provee una prueba de progenie de los individuos en la población, que se utilizará como criterio de selección. A diferencia de la selección recurrente fenotípica, la correcta evaluación requiere llevar a cabo experimentos con repeticiones y en lo posible en varios ambientes.

Las variantes de la selección recurrente de medios hermanos se basan en la naturaleza del polinizador o progenitor común a todas las

familias, denominado probador o “tester”. El probador puede ser una población, un híbrido, o una línea endocriada. Estos posibles probadores pueden, a su vez, estar o no emparentados con la población que se desea mejorar. Los probadores más frecuentemente utilizados son líneas endocriadas no emparentadas, pertenecientes a un grupo heterótico diferente al de la población bajo selección.

El método más sencillo y antiguo de selección recurrente de medios hermanos es la “selección espiga x hilera” (Hopkins, 1899). En este caso el probador es la propia población. La “selección espiga por hilera modificada” (Lonnquist, 1964) fue ideada para mejorar la evaluación, al efectuarla con repeticiones y en diferentes ambientes. Al igual que en la selección recurrente fenotípica, sólo las gametas femeninas que dan lugar a la semilla de la población mejorada corresponde a las familias o individuos seleccionados. Una variante del método que permite duplicar el control parental fue propuesta posteriormente (Compton y Comstock, 1976).

En las demás variantes de la selección recurrente de medios hermanos, la unidad de recombinación son las semillas remanentes ($S_{0.1}$) obtenidas por autofecundación de los individuos seleccionados en base al comportamiento de sus cruzamientos con el probador. En este caso el control parental es completo, ya que las semillas que dan origen a la población mejorada provienen de la fusión de gametas masculinas y femeninas provenientes sólo de los individuos seleccionados en base a las pruebas de progenie.

Selección recurrente de hermanos completos

Cuando dos o más individuos comparten ambos progenitores, constituyen una familia de hermanos completos. El método de selección recurrente de hermanos completos requiere, entonces, del cruzamiento entre pares de plantas de la población original. Estas familias se evalúan posteriormente en ensayos con repeticiones y en diferentes ambientes. Concluida la etapa de evaluación y selección, se utiliza semilla remanente de las familias seleccionadas para efectuar la recombinación (Moll y Stuber, 1971)

Selección recurrente de progenies endocriadas

En este método se evalúan los individuos de la población original mediante progenies obtenidas luego de una o más generaciones de autofecundación. La evaluación se circunscribe a pruebas de comportamiento *per se* de las progenies endocriadas. La recombinación se realiza utilizando semilla remanente correspondiente a las familias seleccionadas. El control parental es sobre ambos progenitores, ya que toda la semilla de la población mejorada se origina en gametas provenientes de familias o individuos seleccionados. El tipo de familia endocriada más utilizada en estos métodos de selección recurrente en maíz es la de S_1 (Lonnquist y Lindsey, 1964), es decir con una generación de autofecundación.

Selección recurrente recíproca de medios hermanos

Dadas dos poblaciones, A y B, deben formarse dos grupos de familias de medios hermanos interpoblacionales (MHAxB y MHBxA) mediante el cruzamiento de plantas polinizadoras identificadas de la población A por una muestra de cuatro a cinco plantas utilizadas como hembras de la población B, y viceversa. Las plantas de cada población utilizadas como polinizadoras para obtener las familias de medios hermanos interpoblacionales son a su vez autofecundadas y ésta semilla mantenida en reserva para la etapa de recombinación. Los dos grupos de familias de medios hermanos interpoblacionales, MHAxB y MHBxA, son evaluadas en ensayos con repeticiones en diferentes localidades. Una vez seleccionadas las mejores familias, se recurre a la semilla de autofecundación de los individuos de la población A y de la población B que dieron origen a las familias selectas para realizar dos recombinaciones por separado, que darán origen a los ciclos mejorados de la población A y de la población B.

Este método de selección fue originalmente propuesto por Hull (1945) para establecer la importancia de la sobredominancia en el rendimiento de maíz. Posteriormente Paterniani y Vencovsky (1977) y Paterniani (1978)

propusieron modificaciones destinadas a reducir el trabajo manual en la formación de las familias interpoblacionales, aunque a costa de una respuesta esperada inferior a la del método original. Souza Jr (1987) propuso otra variante al esquema original de selección que permite acortar el ciclo de selección ya que en la etapa de recombinación se desarrollan familias intrapoblacionales e interpoblacionales que se utilizan como unidades de recombinación y evaluación, respectivamente.

Selección recurrente recíproca de hermanos completos

En la propuesta original (Hallauer y Eberhart, 1970) dadas dos poblaciones prolíficas, A y B, debe generarse y evaluarse un grupo de familias de hermanos completos, las que surgen del cruzamiento de pares de plantas de ambas poblaciones. Sobre cada planta prolífica se obtienen dos clases de familias: sobre la espiga superior se obtiene semilla por autofecundación, y sobre la espiga inferior semilla del cruzamiento con plantas identificadas de la población opuesta. A diferencia del método anterior, sólo un grupo de familias interpoblacionales deben ser evaluadas, de modo que para una misma cantidad de recursos podría evaluarse el doble de familias interpoblacionales que con el método de medios hermanos y aplicarse finalmente mayor intensidad de selección. Una vez seleccionadas las mejores familias, se recurre a la semilla de autofecundación de los individuos de la población A y de la población B que dieron origen a las familias selectas para realizar dos recombinaciones por separado, y generar los ciclos mejorados de las poblaciones A y B. Hallauer y Miranda Filho (1988) presentaron modificaciones al procedimiento original aplicables a poblaciones no prolíficas (cuyos individuos producen típicamente una espiga por planta). La semilla remanente S_1 de las familias seleccionadas de ambas poblaciones pueden, a su vez, ser sembradas en surcos apareados para proseguir con generaciones de autofecundación y cruzamientos interfamiliares de tipo A x B para desarrollar simultáneamente nuevos híbridos y sus líneas parentales.

Estimación y comparación de la respuesta esperada para distintos métodos de selección recurrente

Los modelos teóricos para predecir la respuesta o ganancia por selección permiten comparar diferentes estrategias para un mismo método de selección (asignación de recursos para evaluación, disponibilidad de más de una generación de cultivo por año, intensidad de selección) o comparar entre métodos con el objetivo de elegir el que mejor se adapta a las particularidades y objetivos de cada programa de mejoramiento. Las Tablas 1 y 2 presentan las fórmulas aritméticas para predecir la respuesta por cada ciclo de selección. De su simple observación se advierte que existen diferencias importantes en el tiempo requerido para completar cada ciclo. A los fines prácticos, el fitomejorador debe prestar mayor atención, entonces, a la respuesta obtenible por unidad de tiempo. El denominador de las fórmulas de ganancia es el desvío estándar fenotípico de la población o de los promedios de familias evaluadas. Para un mismo tipo de familia, el desvío estándar fenotípico se reduce en la medida que las medias de familias se hayan estimado a partir de un número mayor de observaciones, sea por un mayor número de localidades de prueba, de repeticiones por ensayo, o de ambos factores a la vez. Para un mismo número de observaciones por familia, el desvío estándar fenotípico de las medias de familias varía en función del tipo de familia empleado. Así por ejemplo éste será mayor en el caso de familias de hermanos completos cuya variancia entre ellas contiene, además del componente aditivo, componentes de variancia de dominancia y epistasis.

Sistemas de Endocriña

La posibilidad de reproducir un pedigree híbrido sin modificaciones exige la uniformidad de las líneas progenitoras, además de buenas prácticas de producción de semilla que eviten mezclas mecánicas, contaminaciones por polen extraño, etc. Ello requiere un elevado nivel de homocigosis que anule en la práctica

Tabla 1: Respuestas directas estimadas (Δ_G) para diferentes métodos de selección recurrente intrapoblacional, fracción de la variancia aditiva poblacional (σ_A^2) explorada por cada método y número mínimo de estaciones de cultivo requeridas para completar un ciclo de selección.

Métodos de selección intrapoblacional	Estacio nes por ciclo	σ_A^2	Δ_G (ciclo) ⁻¹ (1)
Recurrente fenotípica (masa)	1	1	$i c \sigma_A^2 (\sigma_p)^{-1}$
Medios Hermanos			
Espiga x hilera modificada ⁽²⁾	1	0.25	$i c 0.125 \sigma_A^2 (\sigma_t)^{-1}$
Espiga x hilera doble modificada ⁽²⁾	2	0.25	$i c 0.25 \sigma_A^2 (\sigma_t)^{-1}$
Misma población probadora			
Recombinación de semilla de medios hermanos remanente	2	0.25	$i c 0.25 \sigma_A^2 (\sigma_t)^{-1}$
Recombinación de semilla S ₁ remanente	3	0.25	$i c 0.50 \sigma_A^2 (\sigma_t)^{-1}$
Línea endocriada probadora con recombinación de S	3	0.25- 0.50	$i c 0.50 \sigma_A^2 (\sigma_t)^{-1}$ a $i c 0.75 \sigma_A^2 (\sigma_t)^{-1}$
Hermanos Completos	3	0.5	$i c 0.50 \sigma_A^2 (\sigma_t)^{-1}$
Progenies endocriadas S _{0:1} ⁽³⁾	3	1	$i c \sigma_A^2 (\sigma_t)^{-1}$
Progenies endocriadas S _{1:2} ⁽³⁾	4	1.5	$i c 1.5 \sigma_A^2 (\sigma_t)^{-1}$

⁽¹⁾ i es la intensidad de selección o coeficiente de selección medidos en desviaciones estándar;

⁽²⁾ c es el control parental o relación entre las unidades de selección y las unidades de recombinación;

σ_p es el desvío estándar fenotípico en la población para el carácter bajo selección; σ_t es el desvío

estándar fenotípico de las medias de familias para el carácter bajo selección.

⁽³⁾ La fórmula de ganancia se completa con la respuesta obtenible por selección dentro de progenies.

^a El componente de variancia aditiva está subestimado a menos que no exista dominancia o las frecuencias

génicas en la población para el carácter sean $p=q=0.5$.

Tabla 2. Respuestas directas estimadas (Δ_G) para diferentes métodos de selección recurrente recíproca o interpoblacional y número mínimo de estaciones de cultivo requeridas para completar un ciclo de selección.

Métodos de selección interpoblacional	Estacio nes por ciclo	Δ_G (ciclo) ⁻¹ (1)
Recurrente de medios hermanos		
Comstock	4	$i c 0.25 \sigma_{A1(2)}^2 (\sigma_{f1(2)})^{-1} + i c 0.25 \sigma_{A2(1)}^2 (\sigma_{f2(1)})^{-1}$
Paterniani (1967a)	3	$i c 0.0625 \sigma_{A1(2)}^2 (\sigma_{f1(2)})^{-1} + i c 0.0625 \sigma_{A2(1)}^2 (\sigma_{f2(1)})^{-1}$
Paterniani (1967b)	3	$i c 0.125 \sigma_{A1(2)}^2 (\sigma_{f1(2)})^{-1} + i c 0.125 \sigma_{A2(1)}^2 (\sigma_{f2(1)})^{-1}$
Recurrente de hermanos completos		
Hallauer	3	$i c 0.50 \sigma_{A12}^2 (\sigma_{f12})^{-1}$

i es la intensidad de selección o coeficiente de selección medidos en desviaciones

estándar; c es el control parental o relación entre las unidades de selección y las unidades de recombinación; σ_p es el desvío estándar fenotípico en la población para el carácter bajo selección, σ_{f12} es el desvío estándar fenotípico de las medias de familias de hermanos completos interpoblaciones para el carácter bajo selección;

$\sigma_{f1(2)}$ y $\sigma_{f2(1)}$ son los desvíos estándar de las medias de familias de medios hermanos interpoblacionales para el carácter bajo selección. σ_{A12}^2 es la variancia aditiva correspondiente a familias de hermanos completos interpoblacionales; $\sigma_{A1(2)}^2$ y $\sigma_{A2(1)}^2$ corresponden a las variancias aditivas de los cruzamientos de familias de medios hermanos interpoblacionales.

la formación de gametas recombinantes producidas por el entrecruzamiento durante la meiosis. Para ello pueden emplearse diferentes sistemas de endocría, dependiendo del método de polinizaciones controladas que se adopte. El sistema más frecuentemente utilizado es el de autofecundación, puesto que posee la tasa más elevada de aproximación a la homocigosis. En este caso cada generación de autofecundación reduce, en promedio, la frecuencia de loci heterocigotas en un 50%. Otros sistemas como el de medios hermanos o hermanos completos son menos utilizados, limitándose a complementar al método de autofecundación según la preferencia del fitomejorador. La razón es que su tasa de aproximación a un nivel similar de homocigosis es considerablemente menor que el del sistema de autofecundación, lo cual contrarresta su ventaja de disponer, durante el avance de la endocría, de mayores oportunidades de ocurrencia de nuevas recombinaciones genéticas y selección.

El método de duplicación de haploides es el más drástico que permite obtener homocigosis completa en una única etapa.

Desarrollo de híbridos

Como se mencionó anteriormente, el proceso de mejoramiento de maíz abarca la etapa de

desarrollo y mejoramiento de progenitores de híbridos (líneas endocriadas), y la de evaluación y selección de las mejores combinaciones o cruzamientos entre esos progenitores. Estas dos etapas se implementan de manera conjunta, de forma tal que el proceso de evaluación de las líneas se integra al proceso de identificación de híbridos promisorios que pueden convertirse en futuros cultivares. La Figura 2 pretende visualizar la relación entre diferentes métodos de mejoramiento, destacando las interrelaciones entre estos y varias de las etapas.

Evaluación de líneas endocriadas

A diferencia de lo que sucede en el mejoramiento de especies autógamas, en el de maíz resulta imprescindible evaluar la aptitud o habilidad combinatoria de las líneas en desarrollo, ya que el producto final será una combinación híbrida. Estas evaluaciones se efectúan paralelamente al avance de endocría de las líneas, utilizando para ello líneas probadoras. La elección de los probadores tiene en cuenta la estructura del programa en patrones heteróticos, utilizándose como líneas probadoras aquellas cuyo fondo genético corresponda a un grupo heterótico opuesto al de las líneas a evaluar. Generalmente las líneas probadoras coinciden con progenitores de híbridos comerciales, de

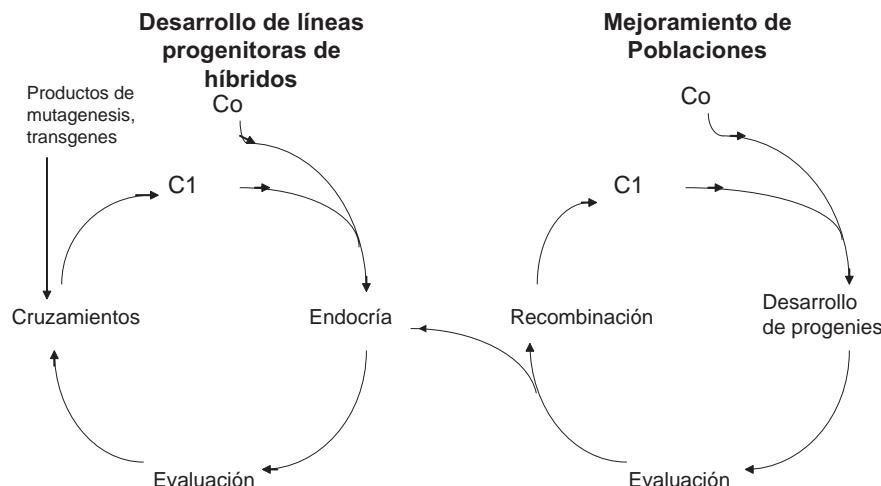


Figura 2. Esquema general de los métodos de mejoramiento de maíz aplicados al mejoramiento de poblaciones y de líneas que posteriormente se utilizarán como progenitores de híbridos comerciales.

manera de integrar la evaluación de las líneas con el desarrollo de futuros híbridos. El número de líneas probadoras utilizadas aumenta en función del nivel de endocría de las líneas en desarrollo. Los cruzamientos de prueba o “testcrosses” (línea en desarrollo x línea probadora) se evalúan utilizando un número creciente de ambientes y repeticiones, o combinaciones de ambos, cuanto mayor es el nivel de endocría y en la medida que se haya producido un descarte importante de material menos promisorio. Existen dos estrategias generales de evaluación de la habilidad combinatoria de las líneas en desarrollo: la implementación de pruebas tempranas o la de pruebas avanzadas. En el primer caso la evaluación del comportamiento de las líneas en cruzamientos de prueba comienza en las primeras filiales (S_0 , S_1 o S_2), mientras que en el segundo las pruebas se demoran hasta la generación S_3 u otras más avanzadas. Tanto la evidencia empírica como la que resulta de estudios teóricos señalan ventajas para la estrategia de pruebas tempranas, ya que permite descartar o eliminar al inicio del programa de evaluación la fracción del material genético menos promisorio, dejando disponibles, para un mismo nivel de recursos, mayor número de parcelas de evaluación que permitirán identificar y seleccionar con mayor nivel de precisión (heredabilidad) las líneas superiores. En función del nivel de endocría de las líneas en prueba, de la heredabilidad y del nivel de probabilidad o seguridad escogido de no eliminar material promisorio, Bernardo (1992) presentó una serie de tablas que permiten establecer las intensidades de selección más convenientes en cada caso. La etapa posterior a la de evaluación de líneas en cruzamientos de prueba consiste en ampliar el número de cruzamientos entre la línea promisoria y un grupo de líneas destacadas del programa y que pertenecen a diferentes grupos de heterosis. Estas pruebas pueden disponerse como experimentos que siguen diseños genéticos especiales y tienen como objetivo completar la evaluación y selección de líneas y detectar híbridos experimentales promisorios.

La evaluación de híbridos experimentales requiere de pruebas a campo en la mayor escala que lo permita cada programa de mejoramiento, a fin de poder establecer la estabilidad de su comportamiento en el rango de ambientes a los

que el cultivar estará destinado, definir áreas de adaptación, etc. Mayores detalles sobre metodologías de evaluación pueden consultarse en el capítulo de “Cultivares: criterios para su elección”

La selección recurrente en programas de desarrollo de híbridos

La utilidad de la selección recurrente como método de mejoramiento está ampliamente documentada, especialmente cuando se adopta con criterios de integración con otros métodos de mejoramiento, más que de sustitución (Hallauer, 1999; Vasal et al., 1999). Su utilidad en programas de desarrollo de híbridos reside no sólo en el mejoramiento de la población per se, sino también en las mayores probabilidades de obtener de ella líneas endocriadas superiores. Los métodos interpoblacionales permiten, además del mejoramiento del cruzamiento entre las dos poblaciones, el del comportamiento de híbridos surgidos del cruzamiento de líneas progenitoras derivadas de ambas.

El producto de la selección debe poseer un comportamiento agronómico general adecuado, lo que en la práctica obliga a seleccionar simultáneamente por varios caracteres de interés. En tales casos una herramienta eficiente la constituyen los índices de selección. Se trata de sintetizar en un único valor, el mérito genético del material bajo selección para un número variable de caracteres considerados simultáneamente. Los índices más utilizados son funciones lineales de los valores fenotípicos para los caracteres que lo componen, cada uno de ellos ponderado por un coeficiente. Existen además índices no lineales.

En general el acoplamiento de los métodos de selección recurrente con programas de desarrollo de híbridos es más fácil cuando aquellos requieren el desarrollo de progenies endocriadas. Por otro lado, puede considerarse que los métodos de selección recurrente recíproca por su objetivo de mejorar el comportamiento de un híbrido interpoblacional, se adaptan especialmente a programas de desarrollo de híbridos.

Los métodos típicos de selección recurrente descriptos en la sección anterior admiten modificaciones a fin de ajustarlos a las necesidades de cada programa de desarrollo de híbridos, conforme los criterios y experiencia del fitomejorador. Así por ejemplo, es común una combinación de los métodos de progenies endocriadas y de medios hermanos. En este caso se procede a generar una muestra representativa de progenies S₁ de la población que se evalúan y seleccionan primeramente por caracteres de alta heredabilidad. Un número variable de progenies S₁ (frecuentemente mayor de 100 y menor de 300) se cruzan con una línea endocriada utilizada comercialmente como progenitora de híbridos y perteneciente a un grupo heterótico diferente al de la población. De esta manera se restringe la evaluación de los cruzamientos de prueba a la fracción de familias o progenies S₁ que poseen buen comportamiento agronómico para caracteres relacionados a resistencia a plagas o enfermedades, fortaleza y sanidad del tallo y del sistema radicular. La semilla remanente de las progenies S₁, que dieron lugar a los mejores cruzamientos de prueba es utilizada con un doble propósito: 1) para efectuar la recombinación y generar la población mejorada, y 2) para continuar el desarrollo de las líneas.

Mejoramiento de maíz para sistemas de producción intensificados

En los últimos años ha surgido mayor interés sobre la factibilidad técnica y económica de la intensificación agrícola a partir de la incorporación del cultivo de maíz bajo la modalidad de doble cultivos, es decir dos cultivos consecutivos en el mismo lote, e interculturales o situaciones donde dos o más especies se cultivan en el mismo lote, superpuestos en el tiempo (Brummer, 2006) al menos durante parte de su ciclo vital.

Por lo general los objetivos de los programas de mejoramiento han tenido en cuenta la selección para caracteres que aseguren el éxito del cultivo en términos de comportamiento

agronómico, rendimiento y calidad de producto en ambientes monoespecíficos, es decir el cultivo de maíz como único constituyente del sistema. Las perspectivas futuras de la intensificación productiva señalada en el párrafo anterior están asociadas a la disponibilidad y desarrollo de genotipos especialmente adaptados a ambientes de doble cultivo e interculturales. Así como desde el punto de vista del manejo del cultivo esas dos modalidades implican desafíos específicos para cada caso, también las demandas desde el punto de vista de la genética y mejoramiento serán diferentes en cada caso.

Mejoramiento de maíz para doble cultivos

De las dos modalidades de intensificación, el desarrollo de genotipos especialmente adaptados (ideotipos) a sistemas de producción de doble cultivo es el que presenta mayor similitud con el desarrollo actual de cultivares. Se trata también de una situación de cultivo monoespecífica, pero se modifica la importancia relativa de ciertos caracteres agronómicos. La necesidad de disponer dos cultivos consecutivos necesariamente acota la longitud del ciclo siembra-cosecha de los componentes. El desarrollo de ideotipos para doble cultivo requerirá prestar especial atención a la precocidad, buscando plantas con menor longitud de ciclo siembra-cosecha y que presenten niveles de producción aceptables. Esto implica enfrentar un desafío importante debido a la correlación genética negativa entre esos caracteres. Resultará importante explorar y aprovechar la variabilidad para longitud del período de llenado de grano en relación al período siembra-floración, así como también las diferencias en la tasa de secado del grano en planta. Las necesidades o exigencias de precocidad del cultivo de maíz dependerán de la "ventana" de tiempo que permita el cultivo antecesor para una región determinada. Por ello debe considerarse el mutuo condicionamiento o interdependencia del mejoramiento de los dos cultivos componentes del sistema. En la

medida que las siembras se retrasan, será importante contar con resistencia a las plagas y enfermedades que inciden sobre tales ambientes. Si bien la práctica de la siembra de maíz de segunda ya ocupa un lugar dentro de las alternativas de producción, fundamentalmente a partir de la disponibilidad de híbridos Bt, se considera que existe un margen importante de contribución posible del mejoramiento para ambientes de doble cultivo.

Mejoramiento de maíz para sistemas consociados o interculturivos

El mejoramiento de maíz para interculturivos implica modificaciones importantes en cuanto a los caracteres a tener en cuenta en la selección de maíz (además de rendimiento, sanidad y calidad), las modalidades de evaluación y las estrategias de selección.

Entre los principales factores a tener en consideración están: i) determinar en qué medida los mejores cultivares resultantes de la selección para ambientes monoespecíficos se comportan como los mejores en ambientes poliespecíficos, ii) la manera de cuantificar este comportamiento, y iii) las interacciones entre los cultivos que integran la asociación.

La habilidad para rendimiento de determinado genotipo y que lo hace superior en ambiente de monocultivo no guarda relación, necesariamente, con la habilidad competitiva que se requiere para lograr buen comportamiento en interculturivos. Hill (1996) se refiere a la habilidad competitiva de un componente del intercultivo como su capacidad para proveerse de los recursos del ambiente en la misma medida que lo hace en situaciones de monocultivo. Schutz y Brim (1967) distinguen cuatro tipos de competencia intergenotípica: la subcompensación, la compensación complementaria, la compensación neutral y la sobrecompensación. Si bien estos tipos se refieren a la competencia entre individuos de una misma especie y se consideran en el desarrollo de cultivares multilíneas, conceptualmente podrían ser tenidos en cuenta para entender el fenómeno de competencia y comportamiento relativo de los componentes de un intercultivo.

La compensación neutral se verifica cuando el rendimiento de los componentes es similar en condiciones de cultivo puro como de intercultivo. La subcompensación, compensación complementaria y sobrecompensación ocurren cuando la mejora en el comportamiento de uno de los componentes del intercultivo no alcanza, iguala, o supera, respectivamente, al perjuicio que experimenta el otro componente del intercultivo en relación al cultivo puro.

Si el mejoramiento para condiciones de monocultivo no garantiza la obtención de genotipos superiores en ambientes de intercultivo, la estrategia de selección para estos últimos requerirá considerar, en alguna etapa del proceso, a los componentes en condiciones de interacción. Por una economía de recursos y mayor eficiencia, la etapa de selección en condiciones de intercultivo debería ser posterior a la selección por comportamiento en cultivo puro. Uno de los parámetros útiles en la evaluación de genotipos para cultivos multiespecíficos es la habilidad o aptitud combinatoria ecológica, y su subdivisión en general y específica (Harper, 1967). La primera (acge) hace referencia al comportamiento promedio del genotipo 'i' de uno de los componentes en condiciones de competencia interespecífica con varios genotipos del otro componente ('j'). La habilidad ecológica combinatoria específica (acee) se refiere a los desvíos del comportamiento entre combinaciones específicas de los dos componentes 'ij' respecto de la media general y los promedios de acge de los componentes 'i' y 'j' (Hill, 1990).

En cuanto a estrategias selectivas, pueden plantearse básicamente dos esquemas (Hill, 1996). En el primero se practica selección sobre uno de los componentes del intercultivo. Consiste en que un número de genotipos del componente A se evalúe en interculturivos con un número reducido de genotipos del componente B, seguido por la recombinación de los genotipos de A seleccionados. El esquema guarda similitud con la selección recurrente intrapoblacional. En el segundo esquema se seleccionan ambos componentes, A y B, pero en forma alternada. Se sigue en principio el primer esquema, pero las

evaluaciones de genotipos de un componente se hacen en intercultivo con un reducido número de genotipos del otro componente, obtenidos previamente por selección.

La biotecnología aplicada al mejoramiento de maíz.

Una de las contribuciones fundamentales de la biotecnología al mejoramiento genético ha sido la posibilidad de acceder a la variabilidad genética contenida en especies que no tienen posibilidad de cruzamiento sexual con el maíz. El ejemplo más conspicuo de la eliminación de las barreras al flujo génico entre especies es la incorporación al pool génico del maíz del gen Bt de la bacteria *Bacillus thuringiensis*. Existen diferentes eventos transgénicos con distinta capacidad para dar resistencia a insectos lepidópteros y coleópteros que limitan el rendimiento del cultivo. Una vez lograda la transformación y expresión estable del transgen en los órganos de la planta, en las diferentes etapas ontogénicas y en los niveles adecuados como para proteger de la plaga, se aplican métodos de retrocruzamiento para transferir el gen Bt a líneas elite, utilizadas como padres recurrentes. A fin de reducir el número de generaciones de retrocruzamiento necesarias para recuperar el genotipo del padre recurrente, el método de retrocruzamiento convencional se complementa frecuentemente con selección de aquellos segregantes que en base a marcadores moleculares, tales como RFLD, "rápids", AFLP, o más frecuentemente microsatélites, y SNPs se ha determinado que poseen, además del transgen, mayor similitud con el padre recurrente a nivel molecular.

El objetivo básico del empleo de marcadores moleculares en el mejoramiento consiste en detectar aquellos cuya presencia o ausencia está asociada a una característica genética de interés (Ferreira y Grattapaglia, 1996) y utilizarlos como indicador de la presencia de un gen o genes de interés en los individuos durante las generaciones de endocriá. Esta asociación entre

el carácter genético y el marcador debe residir en la existencia de ligamiento genético entre ambos. Cuanto mayor sea la proximidad de las secuencias del ADN correspondientes a ambos, o dicho de otra manera, mayor sea el ligamiento genético entre ellos, mayor será la utilidad del marcador en programas de selección asistida. El caso extremo se da cuando el marcador coincide en su localización en el genoma con la ubicación del carácter de interés. Por ejemplo, se utilizan sondas de ADN como uno de los medios posibles para detectar la presencia de individuos transgénicos, cuya secuencia de bases en el ADN coincide con las del promotor del transgen integrado al genoma. Otra de las áreas de mayor potencial para utilización de los marcadores moleculares es la selección por características difíciles de evaluar a campo, a nivel de planta entera, o de detectarlas a nivel fenotípico antes de la floración.

Las técnicas de selección in vitro permiten seleccionar en un sistema de cultivo celular por resistencia a un agente tóxico. En ciertos casos resulta de interés, por ejemplo, obtener genotipos resistentes a moléculas herbicidas que tengan mayor efectividad contra las malezas, combinado con menor toxicidad y potencial contaminante del suelo y acuíferos. En estos sistemas la unidad de selección no es el individuo o sus progenies, sino el menor número de células en una población que pueden, independientemente, dar origen a un fenotipo (expresión del genotipo) alterado.

La selección in vitro presenta varias ventajas, como la de utilizar un medio apropiado para identificar y aislar mutantes favorables y permitir el uso eficiente de agentes selectivos cuya purificación no es posible en grandes cantidades. De todos modos, como cualquier metodología, presenta algunas limitaciones. Esta técnica puede emplearse especialmente para características controladas por un gen y que se expresan a través de un fenotipo fácilmente seleccionable, tales como genes de resistencia a herbicidas, a toxinas de microorganismos, a iones metálicos, y en genotipos que son aptos para cultivo in vitro y que poseen capacidad para regenerar plantas completas y fértiles a partir de cultivos celulares. Es posible, sin embargo, que

el fenotipo mutante seleccionado a nivel celular no se exprese a nivel de planta entera. Algunos ejemplos de aplicación exitosa en maíz de la selección in vitro son el desarrollo de genotipos con resistencia a ciertos herbicidas. Esta resistencia se debe a la selección de mutantes que codifican para una enzima alterada que no puede ser bloqueada por la molécula herbicida, o bien que provocan una sobre-expresión y síntesis de la enzima nativa o normal.

Otros casos de aplicación de selección in vitro tiene como objetivo el aumento del valor nutricional del endosperma, alterando el metabolismo de aminoácidos. En otras especies ha sido utilizado con éxito con diferentes finalidades, como genotipos de alfalfa con mayor tolerancia a *Fusarium*, de sorgo con mayor tolerancia a estrés hídrico y salino, o de cultivares de tabaco que toleran mayores niveles de aluminio en el suelo. La selección in vitro puede posibilitar la selección de germoplasma élite por caracteres no fácilmente obtenibles por métodos convencionales.

El mejoramiento genético de maíz en Argentina

En general, los métodos de mejoramiento descriptos en las secciones anteriores son de aplicación en la Argentina, con diferente énfasis según que los objetivos de los programas sean de corto o largo plazo. Los objetivos de corto plazo guardan relación con la obtención del producto final del mejoramiento, es decir

cultivares comerciales, mientras que los de largo plazo tienen que ver con la incorporación de germoplasma inédito, el mejoramiento progresivo de poblaciones y la conservación de la variabilidad que posibiliten una tasa de progreso genético sostenible en el tiempo. Estas dos características conceptuales, sin embargo, están presentes en todo programa integral de mejoramiento, predominando los objetivos de corto o largo plazo según sus particularidades.

Se estima que la contribución del mejoramiento genético al incremento en el promedio nacional de rendimiento de maíz por hectárea en la Argentina en los últimos treinta años fue de aproximadamente el 50%. Sin embargo este aporte debe ser considerado conjuntamente con los avances en el manejo del cultivo, ya que éste es parte del ambiente donde los logros genéticos pueden expresarse. Existen numerosas estimaciones de la ganancia genética en nuestro país utilizando diferentes metodologías. Un grupo de trabajos analizan las variaciones en el rendimiento de un grupo de cultivares en función del año de su liberación al mercado, utilizando para ello experimentos específicos (Tabla 3). Así Mella et al. (1984) estimaron ganancias genéticas de 44 y 80 kg/ha/año para el período 1959-1971 y 1972-1984. Las estimaciones obtenidas por Presello et al. (1997) fueron 91 y 72 kg/ha/año en condiciones de riego y de estrés hídrico, respectivamente, para el período 1961-1995. Otra manera de cuantificar la ganancia o progreso genético es utilizar series históricas de ensayos comparativos

Tabla 3. Estimaciones de progreso genético en el rendimiento de maíz resultante del trabajo de mejoramiento genético en la Argentina

Autores	Período	Progreso Genético Kg.ha ⁻¹ año ⁻¹	%
Nider y Mella, 1980	1961 - 1979	93	
Nider y Mella, 1980	1970 - 1978	109	
Mella et al. 1984	1949 - 1984	82	1,1
Eyhérabide y Damilano, 1992	1979 - 1988	70	1,1
Eyhérabide et al. 1994	1979 - 1991	112	1,8
Presello et al, 1997	1961 - 1995	81	1,4
	1979 - 1998	169	2,9
Eyhérabide y Damilano, 2001	1979 - 1988	67	1,1
	1989 - 1998	249	3,7

de rendimiento, en la que interviene al menos un híbrido testigo común a todos los experimentos y analizar por regresión el rendimiento de nuevos híbridos en función de los años transcurridos desde el inicio de la serie. Empleando este procedimiento y aplicando un modelo lineal, Eyherabide y Damilano (2001) estimaron una tasa de ganancia de 169 kg/ha/año entre 1979 y 1999, aunque un modelo cuadrático presentaba una mejor descripción de la evolución del rendimiento. Los mismos autores ajustaron líneas de regresión separadamente para el período 1979-1989 y 1989-1999 que resultaron en estimaciones de 67 kg/ha/año y 249 kg/ha/año, respectivamente, y estadísticamente diferentes entre sí. Los autores especulan sobre el impacto del desarrollo de híbridos simples en la aceleración de la tasa de ganancia en la última década.

Los programas de mejoramiento de maíz en Argentina reconocen como principales factores limitantes de la producción al estrés hídrico, al MRCV (virus del Mal de Río Cuarto), los insectos barrenadores, orugas cortadoras y, entre las enfermedades foliares, las royas. Otras adversidades también pueden afectar el rendimiento, pero resultan más limitantes de la calidad de la producción. Tal es el caso de las enfermedades (podredumbres) de espiga y la consecuente probable contaminación con micotoxinas (Presello et al., 2007, 2008). Estos factores limitantes son tenidos en cuenta en las diferentes etapas de selección del material genético, buscando con ello aumentar no sólo el rendimiento, sino la estabilidad y calidad de la producción. Los avances registrados en el rendimiento de grano fueron acompañados, entonces, por mejoras en otros caracteres de importancia agronómica, como la mayor resistencia al vuelco y quebrado de plantas, al Mal de Río Cuarto (MRCV), diversas enfermedades foliares, adaptación a condiciones de estrés abiótico, etc.

Encuestas realizadas a diferentes programas de mejoramiento y desarrollo de híbridos de maíz en Argentina (INTA, no publicado) indican que las poblaciones más empleadas como fuentes de extracción de líneas son los cruzamientos planeados (híbridos simples, dobles, retrocruzadas), y en menor medida sintéticas de base genética estrecha e híbridos

comerciales. La utilización de compuestos o materiales con mayor amplitud de base genética resulta importante en el caso de programas orientados a cubrir objetivos a más largo plazo, e incorporar nueva variabilidad, como los del sector público (Lorea et al., 2006). En general y para un mismo nivel de recursos, para desarrollar nuevas líneas los fitomejoradores prefieren trabajar con un menor muestreo individual sobre un mayor número de poblaciones, antes que muestrear más exhaustivamente un menor número de poblaciones. La primera estrategia tiende a reducir los riesgos de no cumplir las metas del programa a causa de una indebida elección del germoplasma de partida. Durante el desarrollo de líneas endocriadas, la sincronía floral, tomada como un indicador general de tolerancia a factores de estrés abiótico, es uno de los caracteres más tenidos en cuenta en la selección, junto con el rendimiento per se y el comportamiento frente a enfermedades. Les siguen en importancia aspectos de morfología de espiga, arquitectura de planta y tolerancia a insectos.

El número creciente de aplicaciones del maíz en la industria agroalimenticia y las oportunidades que el mejoramiento ofrece para mejorar la aptitud intrínseca del grano de maíz para su utilización industrial justifica la incorporación de nuevos caracteres a ser tenidos en cuenta en los programas de selección (Eyherabide et al., 2006, 2007^a, 2007^b; Borrás et al., 2006). Por otra parte la necesidad de contribuir a la sustentabilidad y eficiencia en el uso de energía ha llevado la atención al desarrollo de genotipos más adaptados a situaciones limitantes de nitrógeno, o que presenten mejor respuesta a la fertilización nitrogenada (D' Andrea et al. (2006, 2009); Munaro et al. (2011).

El método más comúnmente utilizado para el desarrollo de líneas es la siembra de parcelas “espiga por hilera” de cada planta autofecundada y seleccionada (método de pedigree o genealógico). El muestreo de individuos en las poblaciones de partida (S_0 o F_2) es variable en función del estilo del fitomejorador y de las características del material genético. Cuando se parte de poblaciones de base genética estrecha con frecuencia de alelos favorables relativamente mayor a las encontradas en

poblaciones de base genética amplia, el número de individuos sembrados varía entre 250 y 1000, de los cuales se autofecundan y seleccionan a cosecha entre el 10 y el 20%. En el caso de poblaciones de base genética amplia y con una frecuencia de alelos favorables menor a la que se estima poseen las poblaciones provenientes de cruzamientos planeados, se hace necesario ampliar el muestreo de individuos. Típicamente este es el caso de poblaciones que se someten a selección recurrente. En consecuencia el número de individuos sembrados frecuentemente está entre 2000 y 4000, de los cuales se autofecundan y se seleccionan para luego continuar el proceso de selección entre un 8 y 10%.

Recientemente el método de obtención de líneas a partir de inducción de haploides maternos está recibiendo mayor atención por parte de los programas de mejoramiento en Argentina, especialmente asociado a los avances en otros aspectos importantes que hacen a la eficiencia del mejoramiento, como los adelantos en las capacidades de "genotipado" mediante marcadores moleculares, y la factibilidad de manejo informático de bases de datos de creciente complejidad.

La incorporación de la biotecnología en los programas de mejoramiento de maíz en Argentina ha permitido la liberación al mercado de híbridos transgénicos. En los últimos años la República Argentina se ha consolidado como el tercer país productor de cultivos transgénicos, siguiendo a los EEUU y Brasil. Actualmente se encuentran aprobados en el mercado argentino los eventos 176, MON810, MON89034, MIR162 y BT11 que confieren resistencia a insectos, los eventos NK603 y GA21 que dan resistencia al herbicida glifosato. En las últimas campañas comienzan a difundirse cultivares que poseen más de un evento transgénico (eventos "apilados") que combinan resistencia a insectos y tolerancia a herbicidas, como TC1507, NK603xMON810, Bt11xGA21, 1507xNK603, MON88017, MON89034xMON88017, Bt11xGA21xMIR162. El impacto de estas tecnologías sobre la producción puede apreciarse al considerar su nivel de adopción. En la campaña 2010/11 los cultivos transgénicos de maíz ocupaban aproximadamente el 82% (3.526.000 ha) del área cultivada. De ese total, en su mayor parte,

el área correspondió a la siembra de híbridos transgénicos con eventos apilados (47%) e híbridos con eventos simples Bt para resistencia a insectos (45%). Sólo el 8% correspondió a híbridos transgénicos con eventos simples para tolerancia a herbicidas. Otros avances logrados por la biotecnología sin apelar a transformación genética es la liberación al mercado de un número significativo de cultivares con resistencia a herbicidas del grupo de imidazolinonas.

Bibliografía

- ArgenBIO, 2012. www.argenbio.org Enero de 2012
- Bernardo R., 1992. Retention of genetically superior lines during early-generation testcrossing of maize. *Crop Sci.* 32:933-937.
- Borrás, F., K. Seetharaman, N. Yao, J.L. Robutti, N.M. Percibaldi, G.H. Eyerabide. 2006. Relationship between popcorn composition and popping volume and discrimination of corn types by using zein properties. *Cereal Chem.* 83(1):86-92.
- Brummer, E.C. 2006. Breeding for cropping systems. In: Plant breeding: The Arnel R. Hallauer International Symposium. Ed: K.R. Lamkey y M.Lee. Blackwell Publishing, Ames, Iowa, USA.
- Chase S. S., 1952. Production of homozygous diploids of maize from monoploids. *Agron. J.* 44:263-267.
- Compton W. A., R. E. Comstock, 1976. More on modified ear-to-row selection in corn. *Crop Sci.* 16:122.
- Coors J. G., 1999. Selection methodologies and heterosis. In: Genetics and exploitation of heterosis in Crops. Editors. J.Coors and S. Pandey, páginas 225-245. American Society of Agronomy, EEUU.
- D'Andrea, K., M. Otegui, A. Cirilo, G. Eyerabide. 2006. Genotypic variability in morphological and physiological traits among maize inbred lines. Nitrogen responses. *Crop Sci.* 46:1266-1276.
- D'Andrea, K.E., Otegui, M.E., Cirilo, A.G., Eyerabide, G.M. 2009. Ecophysiological traits in maize hybrids and their parental inbred lines: Phenotyping of responses to contrasting nitrogen supply levels. *Field Crop Res.* 114:147-158.
- East E.M., 1908. Inbreeding in corn. Connecticut Agric. Exp. Stn. Rep. 197:419-428.
- Eyerabide, G.H., A.L. Damilano and J. Colazo. 1994. Genetic gain for grain yield of maize in Argentina. *Maydica* 39:207 211.
- Eyerabide G.H., A. L. Damilano, 2001. Comparison of genetic gain for grain yield of maize between the 1980s and 1990s in Argentina. *Maydica* 46: 277-281.
- Eyerabide G.H.; Percibaldi N.M.; Borrás F.S.; Presello D.A. 2006. Modification Of The Relative Content Of Fatty Acids In Maize Oil Through Recurrent Selection. International Plant Breeding Symposium. Mexico , DF. 20-25 de agosto de 2006.
- Eyerabide, G., F. Borrás, J. Robutti, P. White. 2007. Gelatinization and retrogradation traits of starches from Argentinian corn inbred lines: Patterns

- of correlation among traits. Cereal Chemistry 84(3):220-224.
- Eyhérabide, G., F. Borrás, J. Robutti, P. White. 2007. Gelatinization and retrogradation traits of starches from Argentinian corn inbred lines: Genotypic and environmental variability. Cereal Chemistry 84(1):92-96.
- Ferreira M.A., D. Grattapaglia, 1996. Introdução ao uso de marcadores moleculares em análise genética. EMBRAPA. Brasília, Brasil.
- Gardner C.O., 1961. An evaluation of effects of mass selection and seed irradiation with thermal neutrons on yield of corn. Crop Sci. 1:241-245.
- Hallauer A. R., 1970. Zygote selection for the development of single-cross hybrids in maize. Adv. Front. Plant Sci. 25:75-81.
- Hallauer A. R., 1990. Methods used in developing maize inbreds. Maydica 35:1-16.
- Hallauer A.R., 1999. Temperate maize and heterosis. In: Genetics and exploitation of heterosis in Crops. Editors. J.Coors and S. Pandey, páginas 353-361. American Society of Agronomy, EEUU.
- Hallauer A. R., S. A. Eberhart, 1970. Reciprocal full-sib selection. Crop Sci. 10:315-16.
- Hallauer, A. R., J.B. Miranda Filho, 1988. Quantitative genetics in maize breeding. 2nd. Edition. Iowa State University Press. Ames, Iowa, EEUU.
- Harper, J.L. 1967. A Darwinian approach to plant ecology. J. Ecol. 55:247-270.
- Hill, J. 1990. The three C's – competition, coexistence, and coevolution – and their impact on the breeding of forage crop mixtures. Theor. Appl. Genet. 79:168-176.
- Hill, J. 1996. Breeding components for mixture performance. Euphytica 92: 135-138.
- Hopkins C.G., 1899. Improvement in the chemical composition of the corn kernel. Illinois Agric. Exp. Stn. Bull. 55:205-240.
- Hull F. H., 1945. Recurrent selection for specific combining ability in corn. Agron. J. 37:134-145.
- Janik J., 1999. Inbreeding depression and heterosis. In: Genetics and exploitation of heterosis in Crops. Editors. J.Coors and S. Pandey, páginas 319-333. American Society of Agronomy, EEUU.
- Jones D.F., 1918. The effects of inbreeding and crossbreeding upon development. Connecticut Agric. Exp. Stn. Bull. 207:5-100.
- Lonnquist J.H., 1964. Modification of the ear-to-row procedures for the improvement of maize populations. Crop Sci. 4:227-228.
- Lonnquist J.H , M. F. Lindsey, 1964. Topcross versus S1 line performance in corn (*zea mays L.*). Crop Sci. 8:50-53.
- Lorea, R.D.; Delucchi, C.; Eyhérabide, G.H.; López, C.G. Identifying argentine maize populations as source of favourable alleles for grain yield In Book of Abstractct. International Plant Breeding Symposium. Mexico , DF. 20-25 de agosto de 2006.
- Mella R., F. Nider, A. Sanguinetti, 1984. Evolución de la ganancia genética en el rendimiento, prolificidad y quebrado del tallo de veintidós cultivares comerciales de maíz (1949-1984). Actas del III Congreso Nacional de Maíz. AIANBA, Pergamino, Argentina.
- Miranda Filho J. B., 1999. Inbreeding depression and heterosis. In: Genetics and exploitation of heterosis in Crops. Editors. J.Coors and S. Pandey, páginas 69-80. American Society of Agronomy, EEUU.
- Moll R. H., C.W. Stuber, 1971. Comparisons of response to alternative selection procedures initiated with two populations of maize (*Zea mays L.*). Crop Sci. 11:706-71.
- Munaro, E.M., D'Andrea, K.E., Otegui, M.E., Cirilo, A.G. and Eyhérabide, G.M. 2011. Heterosis and environment interaction in maize: What drives heterosis for grain yield? Crop Science 51:3:1172-1187.
- Paterniani E., R. Vencovsky, 1977. Reciprocal recurrent selection in maize (*Zea mays L.*) based on testcrosses of half-sib families. Maydica 22:141-152.
- Paterniani E., 1978. Reciprocal recurrent selection based on half-sib progenies and prolific plants in maize (*Zea mays L.*). Maydica 23:209-219.
- Shull, G.H. 1908. The composition of a field of maize. Am. Breeders' Assoc. Rep. 4:296-301.
- Presello D., A. Céliz, S. Meira, E. Guevara, 1997. Comportamiento de híbridos de maíz liberados en diferentes épocas en condiciones de riego y sequía simulada. VI Congreso Nacional de Maíz. AIANBA, Pergamino, Argentina.
- Presello, D. J. Iglesias, G. Botta, G. Eyhérabide. 2007. Severity of Fusarium ear rot and concentration of fumonisins in grain of Argentinian maize hybrids. Crop protection 26:852-855.
- Presello, D. A., G. Botta, J. Iglesias and G. H. Eyhérabide. 2008. Effect of disease severity on yield and grain fumonisin concentration of maize hybrids inoculated with *Fusarium verticillioides*. Crop Protection (27) 572-576.
- Shull G.H., 1908. The composition of a field of maize. Am. Breeders' Assoc. Rep. 4:296-301.
- Shull G.H., 1909. A pure line method of corn breeding. Am. Breeders' Assoc. Rep. 5:51-59.
- Schutz , W.M., C.A. Brim. 1967. Inter-genotypic competition in soybeans. I. Evaluation of effects and proposed field plot design. Crop Sci. 7:371-376.
- Souza JR. C.L.. 1987. Reciprocal recurrent selection with half-sib progenies obtained alternately from non-inbred (S0) and inbred (S1) plants in maize. Maydica 32:19-31.
- Stadler L.J., 1944. Gamete selection in corn breeding. J. Am. Soc. Agron. 36:988-989.
- Vasal S.K., H. Córdova, S. Pandey, G. Snirivasan, 1999. Tropical maize and heterosis. In: Genetics and exploitation of heterosis in Crops. Editors. J.Coors and S. Pandey, páginas 363-373. American Society of Agronomy, EEUU.

4. CULTIVARES. CRITERIOS PARA SU ELECCIÓN

***Daniel A. Presello, Guillermo H. Eyhérabide,
Juliana Iglesias, Erika Mroginski
y Roberto D. Lorea***

Estación Experimental Agropecuaria INTA
Pergamino

Índice

Introducción	81
Aspectos relevantes a tener en cuenta en la elección del cultivar	81
Tipo de cultivar	81
Variedades de polinización abierta	81
Cultivares híbridos	82
Productividad y estabilidad del rendimiento	84
Tipo de grano	91
Precocidad	92
Resistencia a adversidades	94
Sequía	94
Enfermedades	95
<i>Roya</i>	96
<i>Mal de Río Cuarto</i>	97
<i>Podredumbres de espiga</i>	100
<i>Otras enfermedades</i>	102
Insectos	102
Cultivares desarrollados mediante biotecnología	103
Consideraciones finales	104
Bibliografía	104

Introducción

El cultivo de maíz en Argentina se lleva cabo en explotaciones comerciales en las que se siembra mayoritariamente semilla de cultivares híbridos provistos por empresas semilleras. También existe una pequeña fracción de explotaciones de tipo familiar, mayormente en el norte argentino, en las que se siembran variedades de polinización abierta cuya semilla es obtenida por los mismos productores.

Las variedades multiplicadas por los agricultores son conocidas como "variedades locales" o "landraces". Generalmente se destinan a la producción de tipo familiar y el grano se utiliza para consumo humano. Estos materiales son conservados por los agricultores debido a que presentan atributos particulares, especialmente el tipo de grano y adaptación al ambiente regional. La multiplicación de la semilla se realiza en el mismo predio de producción, donde los agricultores pueden seleccionar visualmente los caracteres de interés y eliminar espigas fuera de tipo, manteniéndose de esta manera el tipo varietal de generación en generación. Ejemplos de este tipo de cultivares son los maíces de las formas raciales "capia" y "avatí" cultivados en el noroeste y noreste argentino respectivamente, que poseen endosperma predominantemente harinoso, apto para la preparación de platos regionales.

La semilla de maíz producida por las compañías semilleras resulta de un proceso de mejoramiento genético sistemático que favorece su productividad y adaptación al ambiente, además de tratamientos de calibrado y protección contra plagas y enfermedades que mejoran la implantación y desarrollo del cultivo.

En la actualidad existe un elevado número de cultivares inscriptos que son ofrecidos al productor con la correspondiente recomendación de siembra generada por las empresas semilleras. Se dispone además de información de ensayos comparativos obtenida

por los institutos oficiales de investigación. Para la correcta elección de los cultivares que mejor se adapten a cada estrategia productiva es necesario tener en cuenta determinados factores que hacen a la rentabilidad, productividad y calidad final del producto.

Aspectos relevantes a ser tenidos en cuenta en la elección del cultivar

Tipo de cultivar

Variedades de polinización abierta

Las variedades de polinización abierta (VPA) son poblaciones formadas por individuos de diferente composición genética, pero que presentan cierta uniformidad para algunos atributos como el tipo de grano, el tipo de espiga y la altura de planta.

La principal ventaja de este tipo de cultivar es el bajo costo de producción de semilla, la que se realiza mediante libre polinización en lotes aislados al menos 300 metros de otro cultivar de maíz. La amplia diversidad genética de las VPA permite que la semilla pueda ser multiplicada por este método sin que se deprima el rendimiento de generación en generación por efectos de la endocaría.

Dado que las VPA están constituidas por una mezcla de individuos genéticamente diferentes y consecuentemente con distinta capacidad productiva, el rendimiento del cultivar en un ambiente dado resultará del comportamiento promedio de todos los individuos. Esta variabilidad propia de las VPA reduce las posibilidades de alcanzar rendimientos similares al de los híbridos, pero puede mejorar su rango de adaptación en condiciones ambientales más variadas.

Las VPA alcanzaron una amplia difusión hasta la década de los '60, en la que comenzó la utilización de híbridos. Algunos ejemplos de variedades utilizadas durante aquel período

fueron Colorado Casilda, Colorado Klein, Colorado La Holandesa y Ambué INTA, entre otras (Eyhérabide, 2006). Las VPA tienen escasa difusión en la actualidad, pero en algunas subregiones maiceras, como la I (norte de Argentina) y IV (gran parte de las provincias de Córdoba, La Pampa y San Luis) aún en la actualidad son demandadas para ciertos sistemas de producción. En algunas de estas subregiones, la productividad es muy dependiente de las lluvias, en los años favorables se realiza la cosecha del grano y cuando ésta se pierde, el cultivo se pastorea. Ante estas situaciones la semilla de VPAs encuentra, por su bajo costo, un ámbito para su difusión.

Cultivares Híbridos

Son los obtenidos mediante el cruzamiento controlado de dos genotipos parentales. Permiten aprovechar el fenómeno conocido como heterosis o vigor híbrido, que es la superioridad relativa de los cruzamientos respecto a los materiales usados como parentales y es común observarlo para ciertos atributos como el rendimiento y el tamaño de planta.

Según los progenitores utilizados en su formación (Tabla 1), los híbridos pueden ser clasificados en:

- híbridos de líneas endocriadas
(simples, triples o dobles)
- híbridos intervarietales
- híbridos no convencionales

Tabla 1. Tipos de híbridos en función de las características de sus parentales

TIPO DE HIBRIDO	HEMBRA	MACHO
SIMPLE	Línea endocriada	Línea endocriada
TRIPLE	Híbrido simple	Línea endocriada
DOBLE	Híbrido simple	Híbrido simple
INTERVARIETAL	Población	Población
NO CONVENCIONAL	Población	Línea o H. simple

Los híbridos entre líneas endocriadas son los cultivares más difundidos en nuestro país. Las líneas progenitoras son obtenidas mediante sucesivas autofecundaciones a partir de poblaciones genéticamente heterogéneas, que

aumentan la homocigosis con la consecuente disminución del vigor y de la heterogeneidad entre plantas. Este fenómeno, conocido como endocriá, permite “fijar” las características deseables como potencial de rendimiento, resistencia a adversidades o calidad de grano. Estas características serán transmitidas al híbrido resultante del cruzamiento entre estas líneas de acuerdo a su modo de herencia. Mayores detalles sobre el desarrollo de líneas puede consultarse en el capítulo “Mejoramiento genético de maíz”.

Los híbridos simples son el producto del cruzamiento de dos líneas endocriadas. Si las líneas progenitoras fueron correctamente estabilizadas, el cultivar será homogéneo y presentará individuos idénticos desde el punto de vista genético. Mediante este tipo de híbridos se aprovecha al máximo el fenómeno de heterosis. Sin embargo, el costo de la semilla en ciertos casos puede ser relativamente elevado debido a la baja productividad de las líneas endocriadas.

Una alternativa para reducir el costo de producción es el uso de líneas emparentadas para formar los llamados híbridos simples modificados. En este caso la hembra del cultivar no es una línea sino un cruzamiento entre dos líneas emparentadas, y el macho puede ser una línea u otro cruzamiento del mismo tipo (en este caso denominados híbridos simples doble modificados). La ventaja de usar cruzamientos entre líneas emparentadas como progenitor femenino radica en su mayor rendimiento de semilla respecto de una línea endocriada. El híbrido simple modificado será más heterogéneo que un híbrido simple convencional, pero de buena productividad y menor costo de producción.

Los híbridos triples se obtienen cruzando un híbrido simple por una línea y los híbridos dobles son el producto de la cruce de dos híbridos simples. La semilla de este tipo de materiales es de menor costo que la de los simples porque es cosechada sobre padres no endocriados de buena productividad. Dado que al menos uno de los progenitores es híbrido, durante la formación de las gametas el cultivar mostrará el producto de la segregación para algunos factores genéticos

y el cultivo no será genéticamente homogéneo como en el caso de los híbridos simples.

Existen también híbridos cuyos progenitores son poblaciones, tal es el caso de los "intervarietales" y "no convencionales" (Tabla 1). Debido a que al menos uno de los progenitores es una población, no es posible esperar los valores máximos de productividad que podrían ser logrados mediante la obtención de líneas endocriadas de esas mismas poblaciones. Este tipo de cultivar nunca tuvo gran difusión en nuestro país, habiendo sólo existido en el pasado algunos híbridos no convencionales (Población x línea endocriada) recomendados para la Subregión I (Noroeste y Noreste).

Al igual que en otras partes del mundo, la producción de semilla de híbridos de maíz comenzó en nuestro país con cruzas dobles. Este tipo de materiales alcanzó una creciente y amplia difusión durante las décadas de los '50, '60 y '70. A medida que el mejoramiento

genético fue aumentando la productividad per se de las líneas endocriadas, con la consecuente reducción en los costos de producción de semilla, fue posible la introducción al mercado de cruzas triples, las que alcanzaron su apogeo a mediados de los '80 y aún hoy representan una fracción del mercado. En la actualidad, con creciente demanda por parte de los productores de maíz, los híbridos simples son el tipo de cultivar más utilizado en nuestro país.

La razón por la cual se enfatiza el uso de híbridos simples, cuyo costo de producción es relativamente mayor al de las cruzas triples y dobles, es su mayor potencial de rendimiento en ambientes favorables. En la Figura 1 se presentan los promedios de rendimiento según el tipo de híbrido en los ensayos de cultivares de ciclo completo durante tres campañas sucesivas realizados en las localidades Pergamino y Junín (Pcia. Buenos Aires), Marcos Juárez (Pcia. Córdoba) y Oliveros (Pcia. Santa Fe). De la

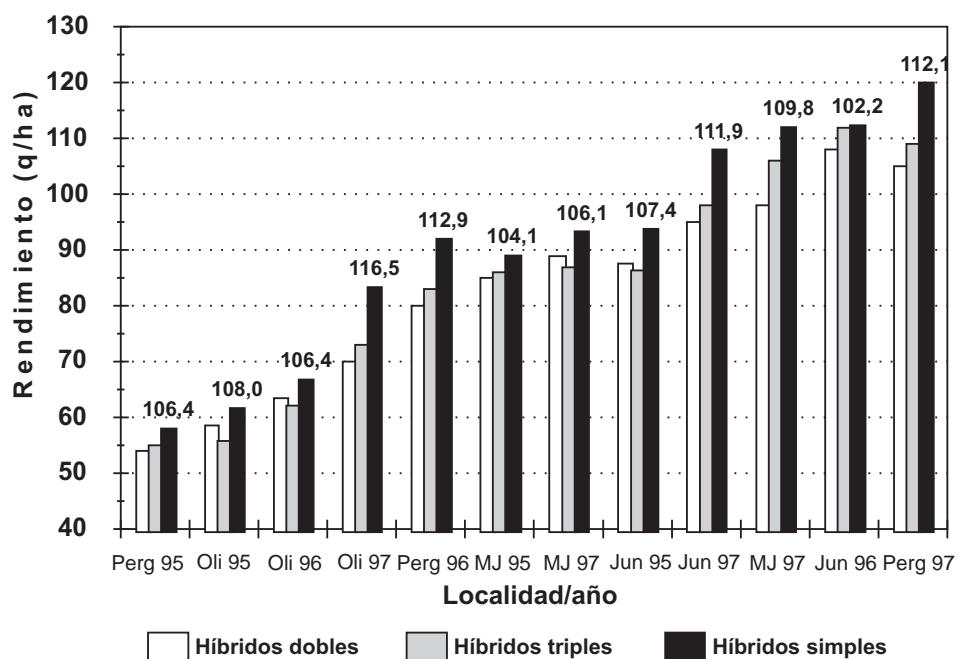


Figura 1: Rendimiento promedio de híbridos simples, triples y dobles en doce ambientes del área maicera núcleo.

Fuente: Datos publicados por Pedrol et al. (1997); Presello et al. (1997a y 1998) y Vallone y Nieri (1997)

Referencias: MJ= Marcos Juárez (Córdoba), Oli= Oliveros (Santa Fe), Jun= Junín (Buenos Aires), Perg = Pergamino (Buenos Aires).

El número luego de la localidad indica el año en que fue sembrado el ensayo.

Las cifras sobre las barras indican el porcentaje de rendimiento de los híbridos simples respecto al promedio de dobles y triples.

combinación de las cuatro localidades durante tres años (1995/96, 1996/97 y 1997/98) surgen doce ambientes. Los híbridos evaluados fueron elegidos según las recomendaciones de los semilleros para éstas localidades. Los híbridos simples superaron a los triples y dobles en todas las localidades, a pesar de que los ensayos no incluyeron siempre los mismos materiales. La brecha de rendimiento entre los híbridos simples y el promedio de dobles y triples fue de 8,7 % para la media de los doce ambientes. Los resultados no sugieren que esta brecha pueda ser diferente en ambientes de alta o baja productividad, sino que la superioridad relativa se mantiene estable (Figura 1). La alta tasa de adopción de la tecnología de uso de híbridos simples hizo de que ya no se disponga de suficientes híbridos triples y dobles en el mercado como para validar estas comparaciones en años recientes.

En zonas marginales para el cultivo de maíz, algunos productores conservan parte de la producción de grano obtenida por la siembra de híbridos para emplearla como semilla en la campaña siguiente (semilla “hija de híbrido”). Este tipo de práctica es desaconsejable debido a que como los híbridos permiten capitalizar más eficientemente el fenómeno de heterosis, también muestran depresión por endocría en su descendencia, mayormente en el caso de los híbridos simples. Ello implica que el cultivo proveniente de la semilla de estos híbridos presentará una alta variabilidad y su rendimiento en grano será mucho menor. Experimentos realizados en INTA Pergamino (Eyhérabide, inédito) mostraron reducciones promedio de rendimiento del 30 al 35% en el caso de híbridos simples y del 15% en un híbrido triple. Estos porcentajes de reducción de rendimiento pueden ser mayores en ambientes bajo estrés.

Productividad y estabilidad del rendimiento

Para los productores y el trabajo de los asesores técnicos, conocer adecuadamente el comportamiento de los cultivares disponibles en el mercado en diferentes ambientes

constituye una importante herramienta para definir la elección de la semilla a sembrar. La productividad y su estabilidad son los criterios fundamentales que deben guiar la recomendación, al menos desde el punto de vista agronómico. Para la producción de algunas especialidades, a esos criterios se le deben agregar los inherentes a la calidad.

Cuando se comparan cultivares en cuanto a la expresión del rendimiento en diferentes ambientes deben considerarse tres componentes:

- a: el potencial genético
- b: las características del ambiente
- c: la interacción genotipo x ambiente

Cuanto mejor es el ambiente en que se realiza el cultivo, mayor será la expresión del potencial genético de los cultivares, pero generalmente los materiales no responden de igual manera a las variaciones ambientales y esto es lo que se conoce como interacción genotipo x ambiente (GxE). Esas modificaciones de comportamiento pueden ser de tipo “no cruzada” (cuando las diferencias a favor de uno de los cultivares cambian con los ambientes, pero el cultivar “ganador” es siempre el mismo), o de tipo “cruzada” (cuando existe una adaptación específica entre un cultivar y una calidad ambiental determinada (Figura 2). Este último tipo de interacciones pueden ser consecuencia, por ejemplo, de diferencias en comportamiento sanitario entre cultivares. Por definición, las interacciones no pueden conocerse si sólo se dispone de información en un único ambiente. De allí la importancia de disponer de datos de comportamiento de los cultivares en una serie de ambientes.

A menos que se utilicen técnicas experimentales y de análisis especiales, la mayor parte de los factores que producen esa interacción no son identificables y constituyen un complejo de variables que modifican diferencialmente la productividad. Sin embargo otros factores sí pueden ser identificados, y por lo tanto es posible beneficiarse de los efectos de la interacción mediante la elección de cultivares en base a su buen comportamiento ante esos factores ambientales determinantes. Por ejemplo, si en

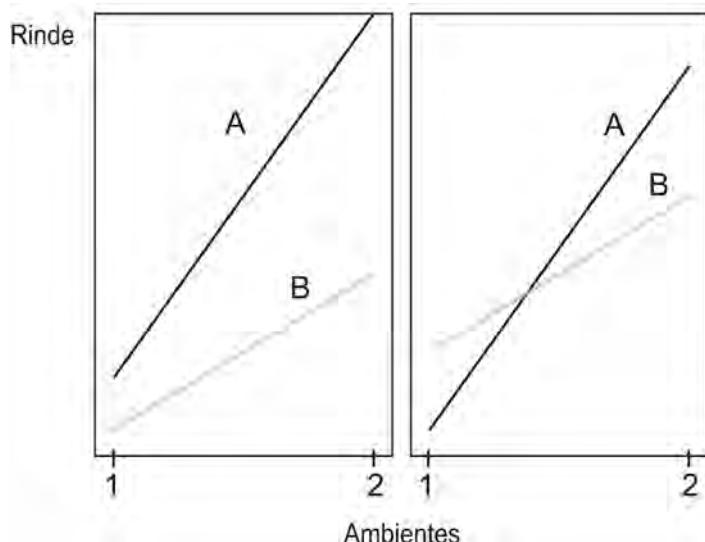


Figura 2: Ejemplos hipotéticos de dos cultivares (A y B) con interacción no cruzada (izquierda) e interacción cruzada (derecha)

una determinada región ocurre una enfermedad con diferente intensidad según subregiones o años, los cultivares con resistencia genética a la misma presentarán menor efecto de interacción con los ambientes que aquellos susceptibles y por lo tanto expresarán rendimientos más estables para dicha región.

Estudiando los factores limitantes del cultivo, ya sean climáticos, edáficos o biológicos, es posible establecer macro-ambientes relativamente homogéneos dentro de los cuales los niveles de interacción entre cultivares son relativamente bajos, dependiendo básicamente de las variaciones anuales. Dado que es muy difícil obtener un cultivar que presente buen comportamiento en todas las regiones, los semilleros liberan cultivares adaptados a cada uno de estos macro-ambientes.

En la región maicera argentina, existen áreas ecológicamente homogéneas dentro de las cuales pueden esperarse valores de GxE relativamente bajos. Por ejemplo, los cultivares recomendados para la Subregión I (ambiente subtropical) son diferentes a los aconsejados para las áreas de clima templado (Subregiones II a IX). En efecto, los cultivares desarrollados en base a germoplasma de tipo tropical, no se adaptan a áreas templadas especialmente por problemas de fotoperíodo y temperatura. Generalmente las plantas presentan floración tardía y gran porte,

pero poca partición de fotoasimilados hacia los granos y consecuentemente bajo rendimiento. Por el contrario, los cultivares adaptados a regiones templadas pueden verse muy afectados tanto por enfermedades como por la elevada temperatura propia de las regiones subtropicales.

La estabilidad del rendimiento puede mejorarse genéticamente. Para ello los criaderos de maíz realizan la evaluación en un amplio número de localidades y años y seleccionan los cultivares que se adaptan mejor al rango ambiental deseado. Es frecuente encontrar referencias en la bibliografía con relación a que el tipo de cultivar puede también incidir en la estabilidad del rendimiento. Desde un punto de vista teórico y sin selección, en promedio los cultivares más heterogéneos (poblaciones o híbridos dobles, formados por plantas de distinta composición genética) pueden adaptarse a un mayor rango de condiciones ambientales que los materiales que, como los híbridos simples, no presentan variabilidad entre plantas, por lo que es de esperar un mayor nivel de especificidad con el ambiente. En la práctica, esto no debe generalizarse ya que un correcto procedimiento de selección en las líneas progenitoras y en la evaluación de los híbridos, permite lograr buen nivel de estabilidad a un amplio rango de ambientes aún con híbridos simples.

Evaluar el comportamiento de cultivares experimentales en una serie de ambientes permite al investigador no sólo seleccionar genotipos destacados con mayor eficiencia, sino también establecer el grado de homogeneidad ambiental que existe dentro de la macro-región para la cuál esos cultivares serán desarrollados y recomendados.

Para exponer a los cultivares a varias situaciones de ambiente, se siembran experimentos en localidades representativas de la región para la que se liberará el nuevo cultivar, y de ser posible en varios años, lo que permite discriminar las interacciones de los cultivares con las localidades, con los años, y con las combinaciones de años y de localidades. Por regla general se acepta que para una determinada región, las diferencias entre condiciones de ambiente son debidas fundamentalmente al efecto de “año”, y en menor medida al de “localidad”. Excepciones a la regla serán más probables si se trata de una región con heterogeneidad ambiental asociada a las localidades (series de suelo, sistemas de cultivos, etc.) Muchas veces el experimentador, especialmente en el caso de disponer de bases de datos de pequeña dimensión, trata estadísticamente cada combinación de localidad-año como un “ambiente”.

Uno de los factores que afectan la posibilidad de disponer de suficiente información sobre el comportamiento en distintas situaciones de ambiente (especialmente de años) es la elevada tasa de recambio de cultivares de maíz en Argentina. Es relativamente numerosa la cantidad de cultivares que anualmente se inscriben en el INASE, así como la de los que se discontinúan año tras año. Por lo tanto la “vida media” de los cultivares en el mercado puede no ser suficientemente prolongada como para que el productor o asesor disponga de información de ensayos en varios años generada con posterioridad al lanzamiento comercial. Yan y Rajcan (2003), indican que la utilización de ciertas técnicas estadísticas aplicadas a experimentos regionales de soja conducidos en varias localidades durante uno o mejor dos años proveería de información suficiente para orientar la elección de cultivares.

Existen diferentes procedimientos para analizar e interpretar los resultados de ensayos de cultivares en diferentes ambientes. Los procedimientos varían en su nivel de complejidad, supuestos, sencillez para su interpretación, y adecuación a las necesidades del fitomejorador, del asesor técnico y del productor. Los análisis más sencillos prestan atención a los promedios de rendimiento (u otra característica de interés) en cada ambiente y a través de ellos. A ello puede agregarse el análisis de la variabilidad del rendimiento observada para cada cultivar, calculando su variancia, desvío estándar y coeficiente de variación.

Durante la década de los '70 y '80 se desarrollaron modelos lineales que permiten conocer o caracterizar la adaptabilidad y estabilidad de cada cultivar (Eberhart and Russell, 1966, Verma et al., 1978, entre otros). Los modelos lineales más difundidos evalúan la respuesta de cada cultivar en función de la calidad ambiental estimada mediante un índice que resulta de la relación entre la media en cada ambiente y el promedio de todos los ambientes incluidos en el estudio. El modelo de regresión lineal desarrollado por Eberhart and Russell (1966) ha sido extensamente utilizado en nuestro país (Mella et al., 1984, Gerónimo Gómez et al., 1984, Pedrol, 2007). Este modelo caracteriza a los cultivares en base a tres parámetros: a) la media de producción, que indica el potencial productivo de cada genotipo en el rango ambiental evaluado; b) la respuesta al ambiente, estimada mediante el coeficiente de regresión entre la media de cada cultivar y el índice ambiental, que indica la aptitud del genotipo para aprovechar las componentes de variación ambiental más comunes (adaptación) en los ambientes utilizados para la evaluación; y, c) los desvíos de las medias del cultivar respecto a la recta de regresión, que indican el efecto de las componentes ambientales no controlables (estabilidad) de cada ambiente sobre este genotipo.

En la Tabla 2 se presenta un ejemplo de la utilización del modelo de Eberhart and Russell (1966) tomado de Mella et al. (1984). Los cultivares A y B presentaron medias y respuestas

Tabla 2: Estabilidad de tres cultivares de maíz según el modelo de Eberhart and Russell (1966)

Cultivar	Media	Coeficiente de regresión	Suma cuadrados desvíos regresión
A	5937.6	0.72	247.9
B	6251.5	0.78	2004.0
C	7263.7	1.26	394.5

Fuente: Adaptado de Mella et al. (1984).

semejantes. La respuesta ante las variaciones del índice ambiental fueron relativamente bajas en ambos genotipos ($b < 1$). El cultivar A se muestra como más estable, ya que las sumas de cuadrados de los desvíos a la regresión fueron significativamente menores, consecuentemente su comportamiento ajusta mejor a la recta de regresión y es más “predecible” que el del cultivar B. El cultivar C presenta mayor media y una alta respuesta a las variaciones del índice ambiental ($b > 1$) en comparación con las de los dos anteriores y sería el mejor de los tres materiales para ser utilizado ya que maximizará el aprovechamiento de los mejores ambientes.

Altos valores de la pendiente de regresión, con bajos rendimientos en ambientes desfavorables y/o elevados desvíos a la recta de regresión pueden generar situaciones de rendimiento por debajo del nivel considerado satisfactorio de acuerdo a la estrategia productiva y el beneficio esperado. Presello et al. (2008a) evaluaron 22 cultivares en 11 ambientes del norte de la Provincia de Buenos Aires (Figura 3) y estimaron la media a través de ambientes, la respuesta a la variación del índice ambiental mediante el coeficiente de regresión y la frecuencia de rendimientos poco satisfactorios, definidos como aquellos

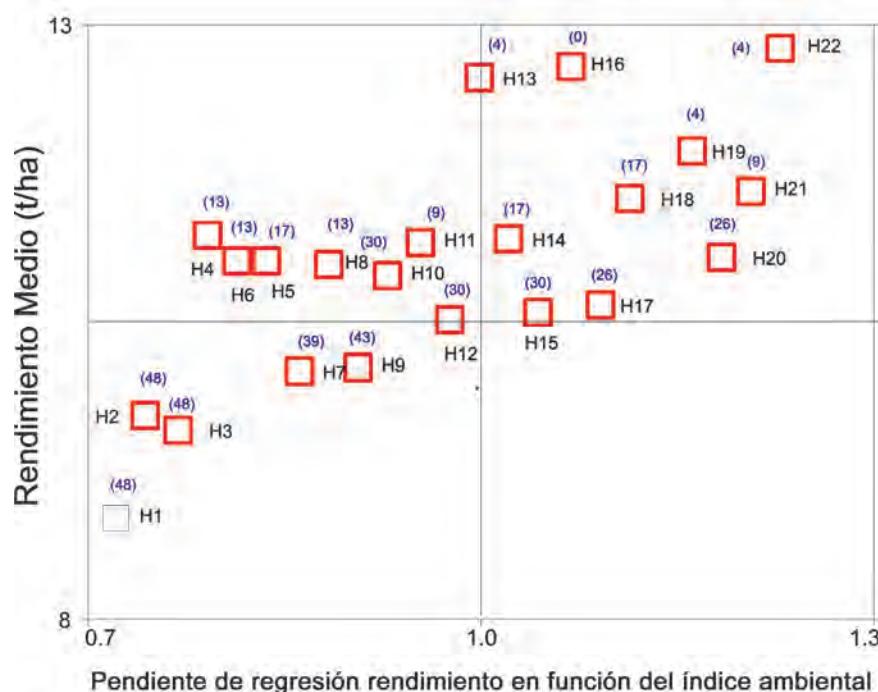


Figura 3: Media, respuesta a la mejora del ambiente y porcentaje de rendimientos significativamente inferiores a la media de veintidós cultivos de maíz evaluados en once ambientes del norte de la Provincia de Buenos Aires .Referencias: los valores entre paréntesis indican el porcentaje de ambientes en los cuales el rendimiento fue inferior a la media y esa diferencia fue superior a 1 tonelada por hectárea.

inferiores en 1 tonelada a la media de cada ensayo, criterio que en la mayoría de los ambientes cumplió con la condición de que la diferencia entre la media del cultivar y la del ensayo fuera significativa a un nivel de probabilidad cercano a 0,05.

La media a través de ambientes y el coeficiente de regresión estuvieron asociados en forma positiva y no se observaron híbridos ubicados en el cuadrante de alta respuesta y bajo rendimiento (Figura 3), indicando que la mejora genética ha tendido a producir cultivares de alto potencial de rendimiento aún en ambientes desfavorables y capaces de aprovechar ambientes favorables mediante una alta respuesta. Estos híbridos, ubicados en el cuadrante superior derecho de la Figura 3, presentaron valores variables de frecuencias de rendimientos bajos que pueden ser usados como criterio en la elección de la semilla ya que están probablemente asociados al comportamiento de los cultivares ante condiciones específicas como la presencia de enfermedades u otros estreses.

Este tipo de análisis tiene la ventaja de que puede realizarse mediante programas de cómputo relativamente sencillos y da como producto parámetros fácilmente observables. En los cultivares disponibles tanto el precio de semilla como el valor del grano cosechado es variable (i.e., los cultivares con textura de grano más vítreo pueden recibir una bonificación por calidad), de modo que el análisis basado solamente en la productividad puede ser limitado. Esta limitación podría corregirse en parte, mediante el reemplazo del rendimiento como variable respuesta por la rentabilidad, estimada en base a precio de la semilla y posibles bonificaciones en el producto con los demás parámetros constantes. Así se podría lograr una mejor predicción del resultado económico del cultivo en base a la elección del cultivar.

Desde los años '90 comenzaron a utilizarse cada vez más frecuentemente otro tipo de modelos, denominados "bilineales". A diferencia de los anteriores permiten una graficación de los resultados en dos dimensiones y una interpretación en términos geométricos para comparar el comportamiento de cultivares, de

ambientes, de cada cultivar en cada ambiente, además de poder clasificar distintos ambientes dentro de una región en función de cuál es el cultivar "ganador" en cada una. Los modelos bilineales más utilizados son los AMMI (modelos de efectos aditivos e interacciones multiplicativas) y SREG (regresión de sitios). En ambos casos la interacción entre cultivares y ambientes se descompone en un número de componentes o de "factores" donde los primeros factores tienden a reflejar en mejor medida que los últimos el patrón de respuesta real de los cultivares en distintos ambientes, o dicho de otra manera, están menos afectados por el error experimental.

Los modelos A.M.M.I. (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Models), (Gauch and Zobel, 1995) fueron los primeros modelos bilineales usados para estudiar GxE en cultivares argentinos de maíz (Eyhérabide et al., 1997; Alvarez et al., 2000a). El proceso de cálculo consiste en una estimación de los efectos principales aditivos mediante un modelo que incluya sólo el ambiente (E) y el genotipo (G) para luego analizar GxE (parte no aditiva) mediante un estudio de componentes principales basado en los residuales de aquel primer modelo. Se puede utilizar en el análisis un número variable de componentes principales (generalmente 1 ó 2) dependiendo del nivel de explicación de la variación total alcanzado o deseado.

En la Figura 4 se muestran, a manera de ejemplo, los resultados presentados por Eyhérabide et al. (1997). Sobre el eje de las abcisas aparece el rendimiento promedio de los cultivares en los ambientes en que fueron evaluados, los cultivares 2 y 28 fueron los de mayor y menor rendimiento promedio, respectivamente. Sobre el eje de las ordenadas aparece el valor de la componente principal (CP1) que describe en mayor proporción la interacción genotipo x ambiente. Cuanto más alto es el valor absoluto de CP1 mayor es el nivel de interacción del cultivar. En este ejemplo, los cultivares 22 y 23 fueron los más afectados por GxE mientras que 3 y 4 fueron los más estables. El gráfico queda dividido en cuatro áreas:

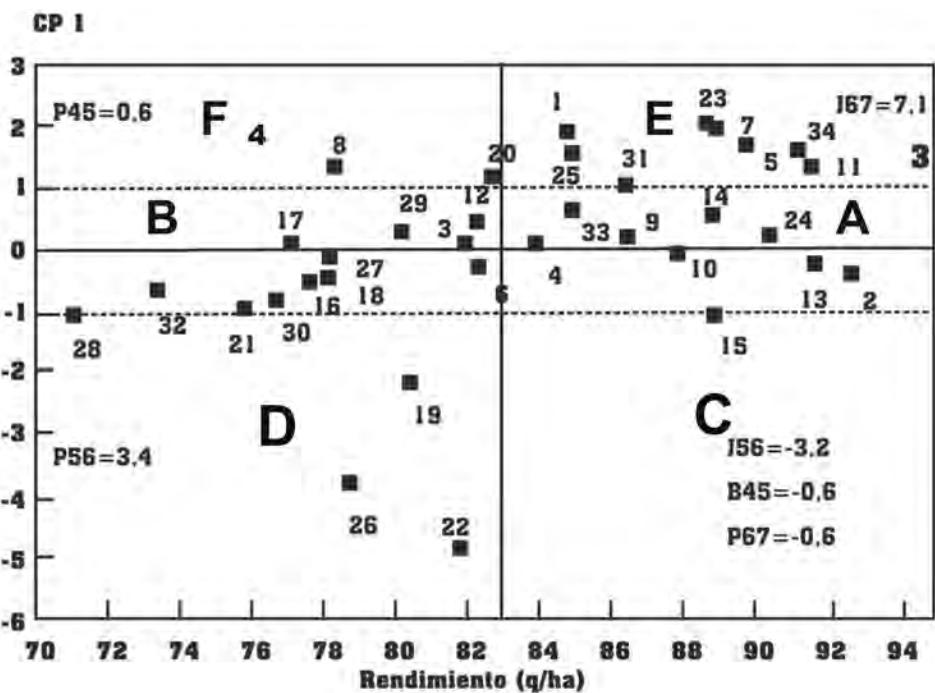


Figura 4: Análisis de interacción genotipo ambientes realizada mediante modelos A.M.M.I. para 33 cultivares de maíz en seis ambientes. Los cuadrados numerados indican las coordenadas de cada cultivar en términos de rendimientos y primer componente (CP1) de la interacción GxE. Los términos P45, P56, P67, J56, J67 y B45 hacen referencia a la ubicación de cada ambiente en cada uno de los cuadrantes en función del rendimiento promedio y CP1. Las interacciones GxE serán favorables (contribuirán a mayores rendimientos) cuando el signo del puntaje para CP1 de cultivar y ambiente coincidan.

Fuente: Eyhérabide et al. (1997).

- A: híbridos con baja GxE y rendimiento promedio por encima de la media.
- B: híbridos con baja GxE y rendimiento promedio por debajo de la media.
- C y E: híbridos con alta GxE y rendimiento promedio por encima de la media.
- D y F: híbridos con alta GxE y rendimiento promedio por debajo de la media.

Estos estudios permitieron concluir que la mayor parte de los cultivares evaluados en la zona de influencia de la Estación Experimental Pergamino se ubicaban en el área comprendida entre valores de +1 y -1 para CP1, es decir que son estables, lo cual reflejaría el éxito de la estrategia de selección por estabilidad de rendimiento.

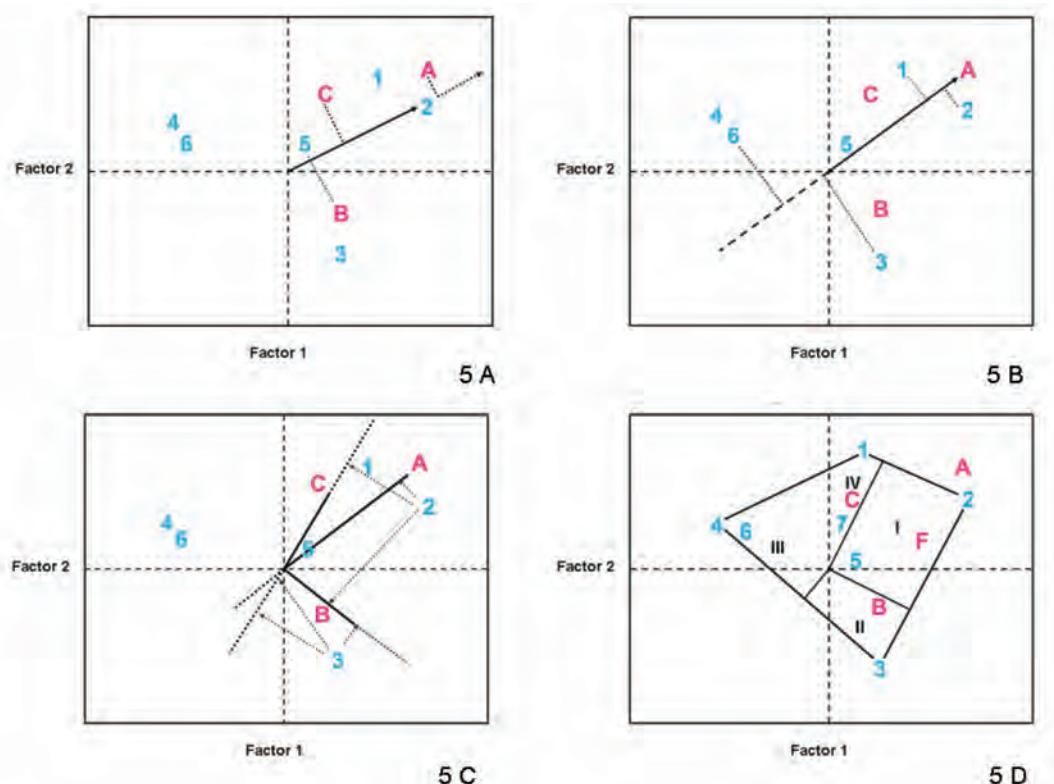
Los modelos SREG (y sus gráficas "biplot" resultantes) son útiles para ayudar a determinar áreas de cultivo homogéneas, dentro de las cuales no existe interacción genotipo x ambiente significativa y determinar en cada una cuál es el

cultivar de mejor comportamiento. A partir del biplot se puede conocer el comportamiento de un determinado cultivar "i" en un determinado ambiente "j". Es posible una interpretación geométrica del biplot, conforme se representa en la Figura 5. Las coordenadas de los cultivares pueden distribuirse en los cuatro cuadrantes, mientras que las de los ambientes se distribuyen en los dos correspondientes a valores positivos del factor 1. Cuanto más cercanas entre sí resultan las coordenadas de los cultivares, mayor es la similitud en su comportamiento. Razonamiento similar puede seguirse para el caso de los ambientes. Dados los cultivares 1 a 6 evaluados en los ambientes A, B y C, para saber el comportamiento del cultivar 2 en diferentes ambientes, bastará con trazar un vector entre el origen y el punto correspondiente al cultivar, y luego ver el punto de intersección de este vector con la perpendicular trazada desde la coordenada de cada ambiente. Así, el mejor

comportamiento del cultivar 2 se observó en el ambiente A, y el peor en el ambiente B (Figura 5 A). De manera similar, para comparar el comportamiento de distintos cultivares en el ambiente A, habrá que trazar un vector entre el origen y el punto correspondiente al ambiente A, y luego ver el punto de intersección de este vector con la perpendicular trazada desde las coordenadas de cada cultivar. Así, el mejor comportamiento en el ambiente A lo tuvo el cultivar 2, seguido por el 1, y el peor lo experimentaron los cultivares 4 y 6 (ver Figura 5 B). Para conocer el comportamiento relativo de dos cultivares en todos los ambientes, puede seguirse un razonamiento similar, así en la Figura 5 C se puede observar que el cultivar 3 supera al 2 en el ambiente B, mientras que el cultivar 2 supera al 3 en los ambientes A y C. Para la identificación de cultivares “ganadores” y de grupos de ambientes (Figura 5 D), se forma un polígono irregular que une las coordenadas con los cultivares más extremos, en este caso

1, 2, 3 y 4. El polígono irregular luego se divide en otros polígonos menores trazando líneas perpendiculares entre el origen y cada lado del polígono. En este caso se definen distintos sectores, el sector o zona I comprende los ambientes A y F, y el cultivar ganador es el 2. En la zona II, formada por el ambiente B, el cultivar ganador es el 3.

En la Figura 6 se presenta la gráfica resultante de la evaluación de 34 cultivares en ocho ambientes del norte de la Provincia de Buenos Aires (Pergamino y Ferré en la campaña 2003/04, Pergamino, Ferré y Junín en la campaña 2004/05, y Pergamino, Ferré y Junín en la campaña 2005/06) comprendidos dentro de la Subregión Maicera VI utilizando un modelo SREG. Este tipo de gráfica (GGE) es también un biplot correspondiente a los dos ejes (factores) que explican el mayor porcentaje de variabilidad en los datos cumpliendo la condición de no estar correlacionados entre sí, es decir, que no suministran información redundante.



Figuras 5 A-D: Ejemplos hipotéticos de Biplots GGE resultantes de modelos la aplicación de modelos SREG para la interpretación de la interacción genotipo x ambiente en ensayos de evaluación de cultivares (1 a

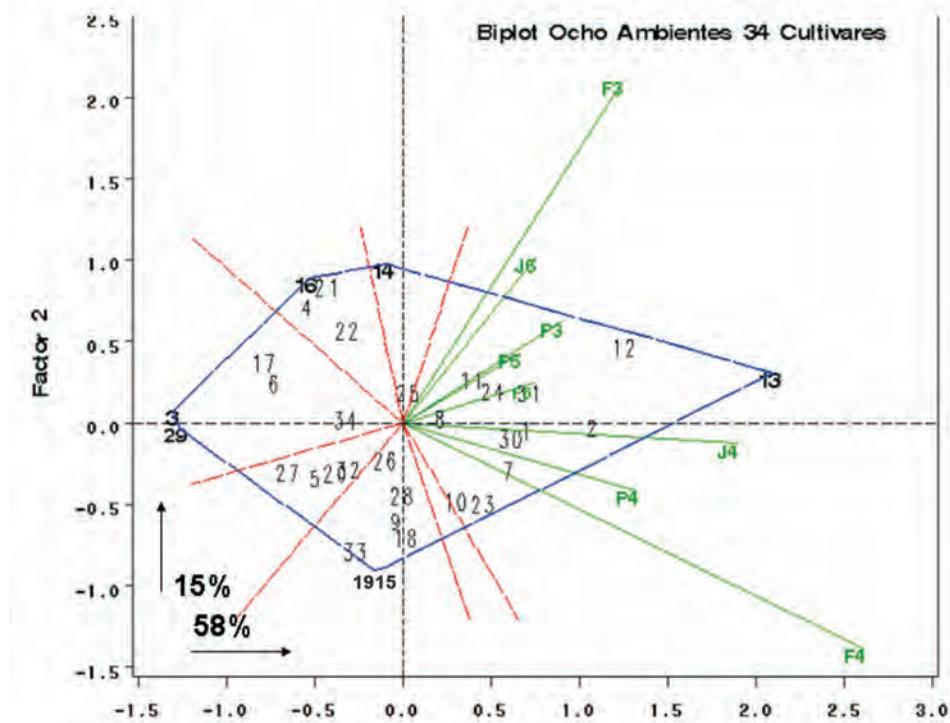


Figura 6: Biplot GGE resultante de la evaluación de cultivares (1 al 34) en ocho ambientes del norte de la Provincia de Buenos Aires (Pergamino y Ferré en la campaña 2003/04 (P3 y F3), Pergamino, Ferré y Junín en la campaña 2004/05 (P4, F4 y J4), y Pergamino, Ferré y Junín en la campaña 2005/06 (PS, FS, JS)) comprendidos dentro de la Subregión Maicera VI utilizando un modelo SREG.

Cada ambiente está identificado con la inicial de la localidad y el año de siembra, mientras que cada cultivar se indica por un código numérico. Los híbridos más estables son aquellos cuyas coordenadas para el factor 2 se sitúan cercanas al origen. El cultivar 13 fue el de mayor rendimiento general ya que sus coordenadas resultaron con los mayores valores positivos para el factor 1. Los cultivares menos productivos son los que se ubicaron a la izquierda del mismo eje (3 y 29). De la misma manera, los ambientes de mayor y menor producción fueron los ubicados en los extremos más lejano (Ferré 2004/05) y cercano al origen (Pergamino 2005/06) respectivamente, medidos sobre el Factor 1. A su vez, Ferré 2004/05 fue el ambiente que permitió una mayor discriminación de la adaptabilidad de los cultivares (mayor distancia al origen para el factor 1). El ángulo que forman los vectores de los ambientes tiene una interpretación estadística en términos de correlación. Así cuanto más agudo es el ángulo entre dos vectores (ambientes), mayor es la

similitud de esos ambientes. Cuando el ángulo es recto, la correlación es cero. De este modo, Ferré 2003/04 y Ferré 2004/05 fueron los ambientes que mayor diferencia mostraron entre sí. En este caso no se encontraron evidencias de “zonificaciones” posibles por áreas homogéneas dentro de la Subregión.

El uso de modelos bilineales requiere de programas de cómputo más complejos que los necesarios para el análisis de GxE mediante modelos lineales, pero permite una mejor visualización del comportamiento de cada cultivar en cada ambiente y provee un mayor nivel de criterios para establecer regiones homogéneas a fin de sistematizar la elección de los ambientes de evaluación.

Tipo de grano

El grano de maíz puede clasificarse como de tipo duro o tipo dentado de acuerdo a si presenta corona lisa o no y una proporción de

endosperma vítreo por encima o por debajo del 50 %. Los tipos dentados presentan granos con la corona deprimida debido a que poseen una importante fracción harinosa en la parte central de su endosperma. Luego del secado natural del grano, esta fracción queda más hundida que la periferia córnea y en consecuencia se produce la indentación.

Tradicionalmente Argentina ha sido un importante productor de maíz de granos córneos y con intensa coloración. Este tipo de mercadería, conocida como "Tipo Plata", posee alto rendimiento en la molienda seca y altos porcentajes de carotenoides (De Dios et al., 1990), se exporta a países europeos y recibe un sobreprecio en relación a maíces menos córneos. Se caracteriza además por una menor tendencia al deterioro durante el transporte y almacenamiento. Durante los últimos años en nuestro país ha aumentado la utilización de cultivares de tipo dentado e intermedio entre los flint y dentados típicos. Hoy es posible sembrar desde maíces de endosperma córneo (flint) tradicionales, híbridos con marcada indentación y tipos intermedios. Según sus características todos ellos pueden ser utilizados con ventajas ya que son demandados para diferentes usos en la industria y en la alimentación animal.

Una evaluación de la calidad física y bioquímica de aproximadamente cincuenta cultivares evaluados en una serie de ambientes (Eyhérabide et al., 2007) indicó que existen diferencias significativas entre los híbridos de textura flint respecto de los semidentados y dentados. Los híbridos flint mostraron mayor porcentaje de aceite (5,8% vs. 4,8%), menor contenido de almidón (70,6% vs. 71,9%) y similar contenido proteico (11,7% vs. 11,6%) en relación a los dentados y semidentados. Las determinaciones de color de grano basadas en coordenadas cromáticas y la carta de colores desarrollada por Di Martino et al. (2005) detectó diferencias entre los híbridos flint respecto de los semidentados y dentados. Los flint presentaron menor luminosidad, mayor promedio para el parámetro *a* y menor para el *b*. Estudios preliminares (Di Martino et al., 2005) indican que el pigmento carotenoide de mayor incidencia en

el color del grano de maíces argentinos es la zeaxantina. En el caso de los maíces colorados el carotenoide predominante es la zeaxantina y en los más amarillos la luteína.

Para mayores detalles, el lector puede consultar el Capítulo 11, Calidad y Usos del Maíz.

Precocidad

Los cultivares recomendados para una región y para una misma fecha de siembra, presentan diferentes contenidos de humedad del grano a la cosecha, reflejando así distintos grados de precocidad. Estas diferencias pueden estar asociadas a la duración del período siembra-floración, del llenado de grano y a diferencias en las tasas de secado del grano en la espiga. Por esta razón, la precocidad a cosecha no necesariamente está asociada a una floración temprana existiendo cultivares que a pesar de su floración tardía llegan precozmente a condiciones de cosecha (Figura 7).

La precocidad es determinada tanto por factores genéticos como ambientales, principalmente temperatura y fotoperíodo. El número de días de siembra a floración, depende de la respuesta de los genes de cada cultivar a las condiciones del ambiente. Por ejemplo, los cultivos sembrados tarde florecen en menos días que los de siembra temprana debido a que están expuestos a mayores temperaturas que provocan la aceleración de su desarrollo. Sin embargo, el grado en que es afectado cada cultivar depende de sus umbrales térmicos de crecimiento. Las diferencias observables entre cultivares en las características que determinan la precocidad a cosecha, también son afectadas por la interacción cultivar x ambiente. Características del cultivar como el número, tamaño y compactación de las chalas, y disposición péndula o erecta de la espiga pueden afectar la velocidad de eliminación de la humedad luego de la madurez fisiológica. Schmidt and Hallauer (1966) demostraron que la pérdida de humedad en este período está estrechamente

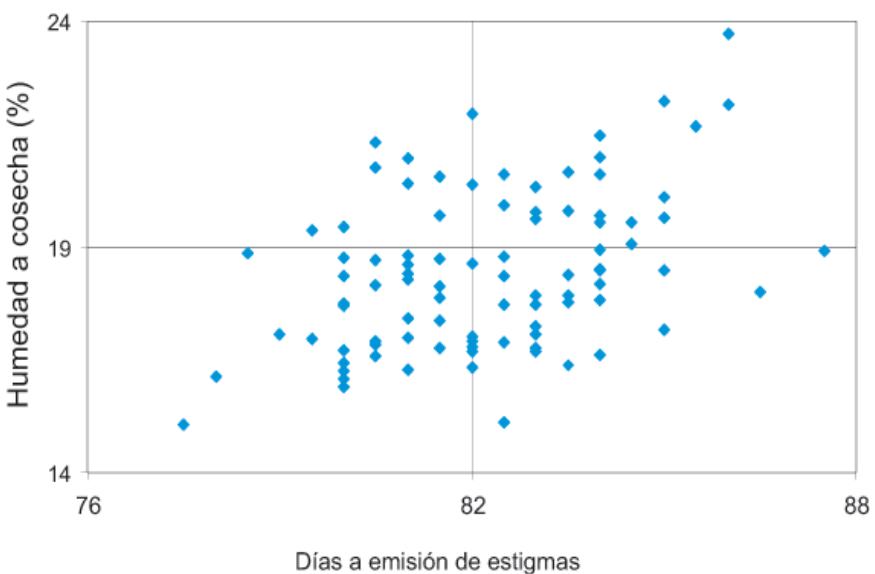


Figura 7: Relación entre fecha de floración y porcentaje de humedad a cosecha en híbridos comerciales evaluados en el norte de la Provincia de Buenos Aires durante la campaña 2007/2008.

relacionada con el déficit de presión de vapor de agua, es decir que durante otoños lluviosos el secado se demorará en relación con años secos.

Debido al marcado efecto del ambiente sobre la precocidad, el número de días requerido para llegar a un determinado estado fenológico no es extrapolable de una situación de cultivo a otra. Por esta razón se han ideado escalas que permiten obtener estimaciones de precocidad menos dependientes de las condiciones ambientales. Entre las más difundidas en nuestro país se encuentran las unidades térmicas y los índices de madurez relativa (Tabla 3).

El fundamento de los métodos que utilizan unidades térmicas es que la duración de un evento fenológico depende, manteniendo constantes las demás condiciones ambientales, de la acumulación de horas de calor por encima y por debajo de los umbrales mínimo y máximo de temperaturas de crecimiento (Brown, 1969; Cross and Suber, 1972; Shaw, 1988). Las ecuaciones propuestas resultan en un valor acumulado de temperaturas que es particular para cada cultivar. Cuando la sumatoria de temperaturas excede ese valor, el cultivar entrará en el período fenológico siguiente.

La “madurez relativa” (MR), se refiere a la precocidad de un cultivar en términos relativos a otro. La MR no tiene unidades de medida, como por ejemplo número de días, sino que es el comportamiento esperable de un cultivar en términos relativos a otro. En los catálogos de cultivares generalmente se presenta la MR a cosecha. Por ejemplo, sembrados en iguales condiciones, un cultivar de MR= 110 llegará antes al mismo porcentaje de humedad de cosecha que uno de MR= 115. Los valores de MR pueden ser de utilidad para comparar híbridos de distintos semilleros en la medida que se usen híbridos de igual precocidad como patrón de comparación (Tabla 3).

El criterio para elegir el cultivar de la precocidad adecuada depende de la región y de la estrategia

Empresa	GDU	IMR
Monsanto	645 – 705	117 – 125
Nidera	720 – 810	116 – 124
Syngenta	827 – 880	116 – 128

Tabla 3: Valores extremos para la sumatoria térmica (GDU) y el índice de madurez relativa (IMR) de cultivares presentados en catálogos 2008 para la subregión maicera VI.

productiva que se utilice. En cultivos irrigados con alto nivel de aplicación de insumos, es conveniente escoger aquellos de floración tardía de modo que puedan aprovechar mejor la radiación y diferenciar un alto número de espiguillas por planta. Cuando el cultivo será en condiciones de secano y en áreas en las que la probabilidad de ocurrencia de sequías estivales coincidentes con el período crítico de susceptibilidad al estrés hídrico (dos semanas pre y post floración) son altas, es recomendable utilizar cultivares precoces a floración. Estos materiales sembrados en fecha óptima y con un correcto uso de la fertilización pueden florecer en forma anticipada, “escapando” al período de mayor probabilidad de ocurrencia de estrés. Es necesario tener en cuenta que si se adelanta la siembra las plantas crecerán con bajas temperaturas por lo que alcanzarán menor desarrollo y por lo tanto interceptarán menos luz, por lo que deberán utilizarse las mayores densidades de siembra recomendadas para el cultivar.

En áreas como la correspondiente a la Subregión IX (sudeste de Buenos Aires), con otoños húmedos, es conveniente utilizar cultivares lo suficientemente precoces a cosecha como para ser recolectados antes de que la falta de piso dificulte la entrada de la cosechadora o la elevada humedad atmosférica dificulte el secado natural después de alcanzada la madurez fisiológica.

Para mayores detalles el lector puede consultar el capítulo 2, “Ecofisiología del cultivo del Maíz”.

Resistencia a adversidades

Mediante técnicas de mejoramiento se han desarrollado materiales genéticos con mayor tolerancia a factores adversos de origen biótico y abiótico. Es importante conocer la respuesta de los cultivares al estrés térmico e hídrico, así como a las enfermedades e insectos difundidos en la región en que se desarrollará el cultivo.

Sequía

En condiciones de sequía, generalmente las temperaturas son elevadas por lo que los

cultivares que expresan buen comportamiento en estas condiciones deberían ser resistentes a ambos estreses. La resistencia a sequía es un factor defensivo de suma importancia. La mayor parte de las regiones de cultivo se ven afectadas por períodos de estrés hídrico que deprimen el rendimiento, especialmente cuando se producen durante el período crítico de susceptibilidad. Presello et al. (1997d) evaluaron la resistencia a sequía de híbridos liberados al mercado durante las décadas del '60 al '90 y llegaron a la conclusión de que el progreso genético fue igualmente efectivo tanto en condiciones de irrigación como de sequía intensa. Los híbridos liberados en los '90 rindieron en condiciones de sequía 63 % más que su contraparte de los '60 con un progreso genético estimado en los 72 kg/ha/año (Figura 8). Los resultados previamente citados indican que mientras el mejoramiento genético aumentó el rendimiento en grano, la materia seca del resto de la planta se mantuvo relativamente constante (Figura 9). Esto sugiere que el progreso genético de la productividad estuvo asociado tanto a la mayor acumulación de biomasa por unidad de superficie como a la mejor partición de la misma hacia los granos.

En los experimentos mencionados arriba, las condiciones de sequía fueron simuladas artificialmente. Generalmente no se dispone de este tipo de información en un rango de cultivares suficientemente amplio como para usarla a modo de criterio en la elección. Por otro lado, existe información en ensayos realizados en numerosos ambientes, en los que suelen ocurrir condiciones de sequía, dependiendo del año y la localidad, que puede ser de utilidad para conocer el comportamiento de los cultivares en condiciones de estrés. Cuando se analizan estos ensayos debe tenerse en cuenta que en condiciones de sequía, el escaso nivel hídrico disponible en el suelo puede no distribuirse uniformemente resultando en coeficientes de variación elevados. Además, dado que los cultivares disponibles difieren en precocidad a floración, debe analizarse el grado de superposición entre el período crítico de susceptibilidad de cada material con el de sequía a fin de discernir en qué medida el

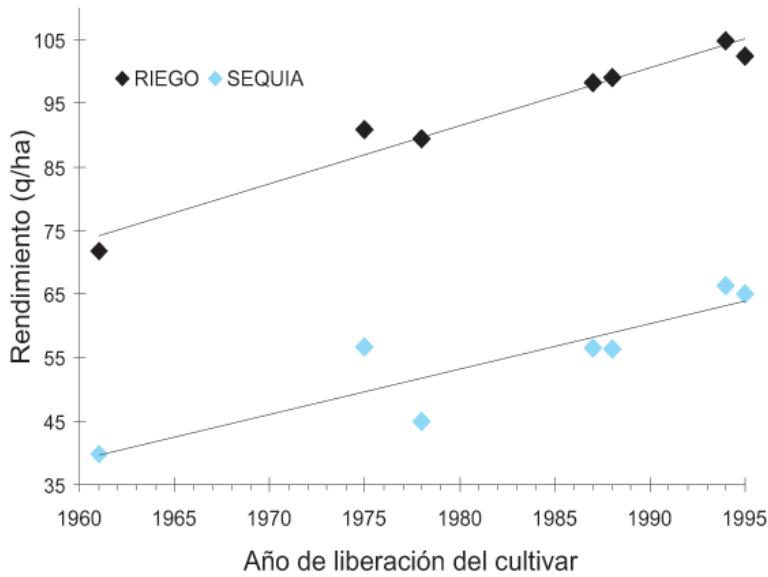


Figura 8: Evolución del rendimiento bajo riego y en condiciones de sequía en cultivares de maíz liberados al mercado en diferentes épocas.

Fuente: Presello et al. (1997d).

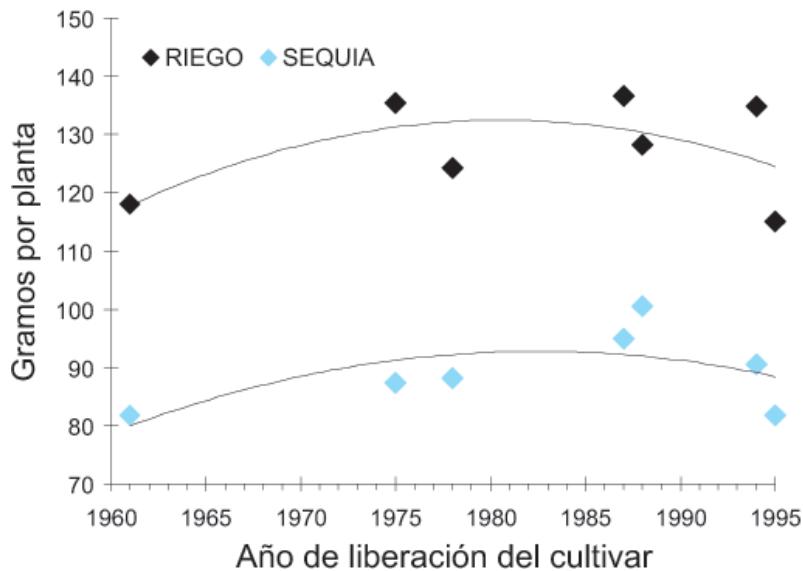


Figura 9: Evolución de la materia seca en planta (excluyendo grano) en cultivares de maíz liberados al mercado en diferentes épocas.

Fuente: Presello et al. (1997d).

comportamiento del cultivar está asociado al “escape” o a la resistencia al estrés.

Enfermedades

Las enfermedades de los cultivos son producto de la interacción entre un agente

patógeno, un hospedante (el cultivo y otras especies alternativas) y, en ciertos casos, un agente vector que posibilita que se transmita el patógeno al hospedante. Estos organismos son además afectados por las condiciones ambientales, que regulan la manifestación de síntomas con diferentes tipos de reacción.

La reacción de inmunidad ocurre cuando el patógeno no puede infectar al hospedante. Si la infección es efectiva se da una reacción de susceptibilidad. A pesar de ser susceptibles, no todos los cultivares resultan afectados de la misma manera. Los materiales con resistencia genética ponen barreras a la multiplicación del patógeno y consecuentemente presentan síntomas menos severos. Otros cultivares manifiestan lo que se conoce como tolerancia a la enfermedad es decir que si bien desarrollan síntomas, la disminución de productividad no alcanza el umbral de daño económico.

En condiciones de infección natural, cuando se siembra el mismo genotipo año tras año y se cosecha semilla del mismo lote de producción para sembrar el siguiente cultivo, tal como ocurre en regiones en las que aún se cultivan variedades locales y variedades de polinización abierta (VPA), es posible que, si el patógeno afecta la descendencia del hospedante, la selección natural aumente la frecuencia de los genes de resistencia. También es de esperar que ocurran cambios en las frecuencias de los genes de virulencia en la población del patógeno para llegar a un equilibrio en el que ambos organismos coexisten sin llegar a un nivel de expresión de síntomas demasiado severos. Este fenómeno ha sido observado en colecciones de maíces nativos para Mal de Río Cuarto (Presello et al. 1996) y para podredumbres de espiga (Presello et al., 2004) indicando que este tipo de germoplasma es una fuente de resistencia a las enfermedades locales. Por otro lado, cuando los cultivares son reemplazados periódicamente y la producción de semilla se realiza en forma independiente al cultivo comercial, esta co-evolución no es posible pudiendo ocurrir incrementos indeseados en la presión de la enfermedad si se introducen en forma masiva materiales susceptibles a una región de cultivo, razón por la cual es sumamente importante disponer de información sobre el nivel de resistencia a las enfermedades prevalentes antes de la liberación de un cultivar.

Para muchas enfermedades se dispone de información sobre el comportamiento relativo de los cultivares en condiciones de infección natural. Esta información debería ser tenida en cuenta cuando se elige el cultivar a sembrar. Sin embargo, en determinadas situaciones de ambiente que provoquen mayor incidencia de la enfermedad, el comportamiento observable del cultivar puede resultar inferior al esperado. Por ello la información sobre el comportamiento a enfermedades proveniente de experimentos donde se utilizan técnicas de inoculación que simulan las condiciones de infección natural puede dar resultados más confiables ya que los cultivares son expuestos a cantidades más altas y homogéneas de inóculo inicial en comparación con las que ocurren en condiciones de campo.

Roya común

En la región maicera templada los ataques de la roya común (*Puccinia sorghi*) pueden ser importantes, especialmente en siembras tardías, cuando se dan las condiciones climáticas propicias para el desarrollo de la enfermedad (temperaturas moderadas y alta humedad relativa).

Existen alternativas de manejo como la aplicación de fungicidas y el uso de cultivares resistentes, siendo esta última técnica altamente eficiente tanto por su efectividad como por su independencia de factores ambientales y tecnológicos. Durante la campaña 1997/98 se produjo una epifitía de esta enfermedad y los resultados de la evaluación de cultivares (Presello y Morata 1998) indicaron que la severidad de síntomas se correlacionó en forma negativa a los rendimientos $r = -0.63^{**}$ (Figura 10). En este ensayo 39.7 % de la variación de los rendimientos entre híbridos fueron atribuibles al nivel de resistencia a roya. Resultados más recientes (Fuente INTA Pergamino, www.inta.gov.ar/pergamino) obtenidos en ensayos de comparación de híbridos de difusión actual también indican que existe variabilidad para



Fotografías 1 y 2: Efecto de la roya común del maíz en un cultivar susceptible (arriba) y uno resistente (derecha). Obsérvese las diferencias en el tamaño de las pústulas y su influencia en el área foliar fotosintéticamente activa.

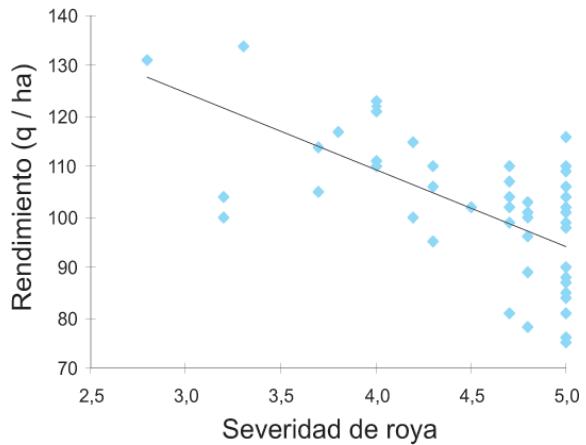


Figura 10: Asociación entre severidad de síntomas de roya común y rendimiento de cultivares de maíz.

Fuente: Presello y Morata (1998).

resistencia a roya en cultivares más modernos, con efectos sobre el rendimiento, y por lo tanto esta variable debería ser tenida en cuenta a la hora de elegir el cultivar.

Mal de Río Cuarto

El Mal de Río Cuarto (MRCV) afecta el rendimiento del maíz fundamentalmente en la región templada. Existen marcadas diferencias entre los cultivares disponibles respecto a la resistencia genética a esta virosis, constituyendo ésta la principal técnica de manejo de enfermedad (Presello y Céliz, 1996; Presello et al., 1997a, 1998, Alvarez et al., 2000b). En la Figura 11 se muestra, bajo condiciones de epifitía severa, la fuerte asociación existente entre la sintomatología de los cultivares, dependiente del nivel de resistencia a la enfermedad, y el rendimiento.

En el desarrollo de la enfermedad interactúan una serie de organismos vivos como el maíz, otros hospedantes alternativos (avena, trigo, sorgo, malezas gramíneas anuales, etc), el insecto vector (*Delphacodes kuscheli* Fennah, entre otros), y el virus (MRCV), que bajo la influencia del ambiente generan un determinado nivel de síntomas. Dada esta compleja interacción, al evaluar cultivares bajo infección natural, no se tiene certeza sobre

la/s causa/s de las diferencias de severidad de síntomas manifestadas por los genotipos (resistencia genética, momento de infección, etc). En referencia a la relación insecto-planta, entre los mecanismos de resistencia propuestos por Painter (1958), la no preferencia alimentaria y antibiosis en estado adulto adquieren relevancia para el Mal de Río Cuarto (Costamagna, 1997). Los estudios realizados hasta el presente indican que la longevidad de los vectores sobre el maíz es menor que sobre otras especies hospedantes alternativas (Virla y Remes Lenicov, 1991) indicando que el maíz presenta antibiosis ante este vector. También existe no preferencia interespecífica, pues el insecto prefiere alimentarse sobre otras especies como *Avena* sp. o *Digitaria* sp., antes que sobre maíz. Sin embargo no se ha encontrado variabilidad intraespecífica para estos caracteres en maíz. Costamagna (1997) evaluó seis líneas endocriadas con diferente reacción a campo frente a la enfermedad, y encontró muy pocas diferencias tanto respecto a la supervivencia del vector como a la no preferencia, lo que indica

que la relación planta-vector no sería un factor importante en la determinación de las diferencias de severidad de síntomas del Mal de Río Cuarto en ensayos a campo.

La relación virus-planta fue estudiada sobre tres líneas endocriadas con diferente nivel de resistencia al MRCV por Presello et al. (1997c). Estos autores inocularon plantas de los tres genotipos mediante insectos capturados a campo y luego realizaron pruebas serológicas sobre muestras de raíces (prueba DAS-ELISA) tomadas en diferentes estadios. Al evaluar la absorbancia a 400 nm (directamente correlacionada a la concentración viral) encontraron que el virus infectaba a los tres genotipos, pero la concentración viral aumentaba más rápidamente en la línea susceptible que en las resistentes, lo que indica que estas últimas presentan alguna barrera a la multiplicación del patógeno (Figura 12). En la lectura final, la concentración viral en la línea susceptible disminuyó, lo que podría estar asociado al deterioro de los tejidos vegetales, incompatible con la reproducción de este parásito obligado.

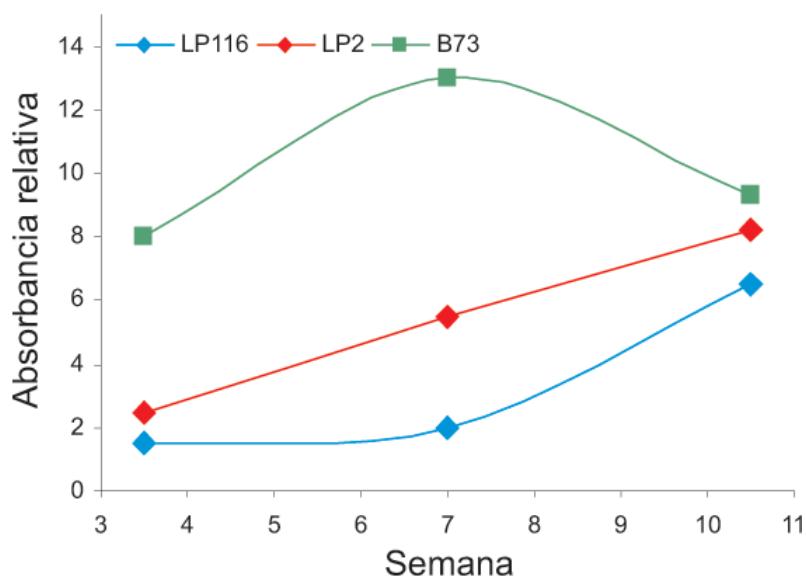


Figura 12: Absorbancia relativa en raíces a 400 nm (prueba DAS-ELISA) de una línea susceptible (cuadrados) y dos resistentes (rombos) inoculadas con el virus del mal de Río Cuarto.

Fuente: Presello et al. (1997c).

Los resultados de este trabajo indican que, al menos en estos materiales, la concentración viral en estados juveniles es un factor determinante de la severidad de síntomas y que la reacción del hospedante ante la presencia del patógeno podría clasificarse como resistencia. En la Figura 13 se puede ver, sobre los mismos materiales, la severidad de síntomas medidos con una escala basada en el número y tamaño de las enaciones presentes en cada hoja. La línea susceptible mostró síntomas graves en estados juveniles y estos llegaron al máximo en hoja 10, momento coincidente con la segunda lectura en la que se registró la mayor concentración viral (Figura 12). Las líneas resistentes no presentaron síntomas en estados juveniles. Solamente una de ellas presentó enaciones en las hojas superiores momento en que la concentración viral fue máxima para este genotípico (Figura 12 y 13).

La resistencia se comporta como un carácter umbral (Eyhérabide, 1991; Presello et al., 1997b), es decir que la reacción observable de cada cultivar depende de otro factor que denominaremos "presión de la enfermedad". Cuando la presión se mantiene por debajo del umbral específico del cultivar, este manifestará

síntomas leves o se mantendrá asintomático; pero cuando la presión supera el umbral, el cultivar manifiesta síntomas proporcionalmente más severos en función del incremento de la presión de la enfermedad. Presello et al. (1997b) analizaron la respuesta al MRCV de 13 genotipos evaluados en doce ambientes del área endémica bajo diferentes condiciones de severidad según el modelo propuesto por Verma et al. (1978). A partir de los datos publicados por estos autores se elaboró la Figura 14, en la que se ve el comportamiento de un genotípico altamente susceptible, en contraste con dos resistentes. Nótese que a niveles bajos o moderados de presión de la enfermedad, mientras el material altamente susceptible muestra síntomas graves los resistentes son poco afectados. En los ambientes de alta presión (correspondientes a años de epifitía severa en localidades ubicadas al oeste del área endémica de la enfermedad), mientras el material susceptible muestra valores máximos de síntomas y escasa o nula producción de grano, los materiales resistentes empiezan a mostrar síntomas, los que se tornan cada vez más severos a medida que aumenta la presión de la enfermedad.

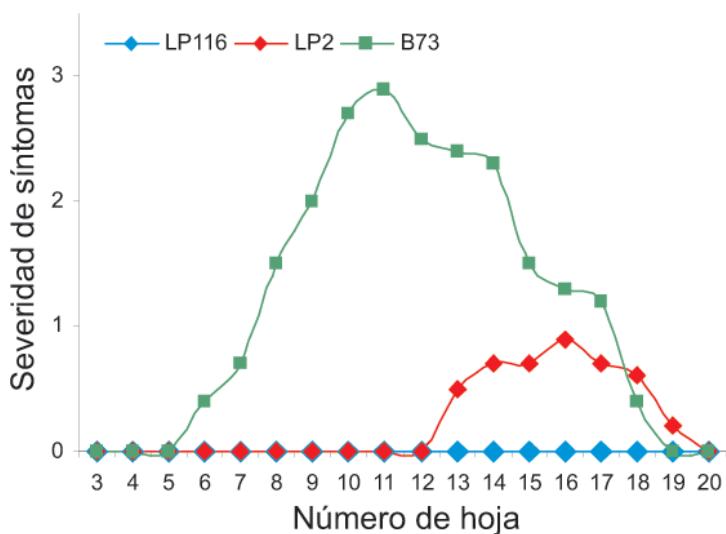


Figura 13: Severidad de síntomas de mal de Río Cuarto (enaciones) en hojas de una línea susceptible (cuadrados) y dos resistentes (rombos).

Fuente: Presello et al. (1997c).

Referencias: 0= hoja sin enaciones; 5= máximo nivel de severidad.

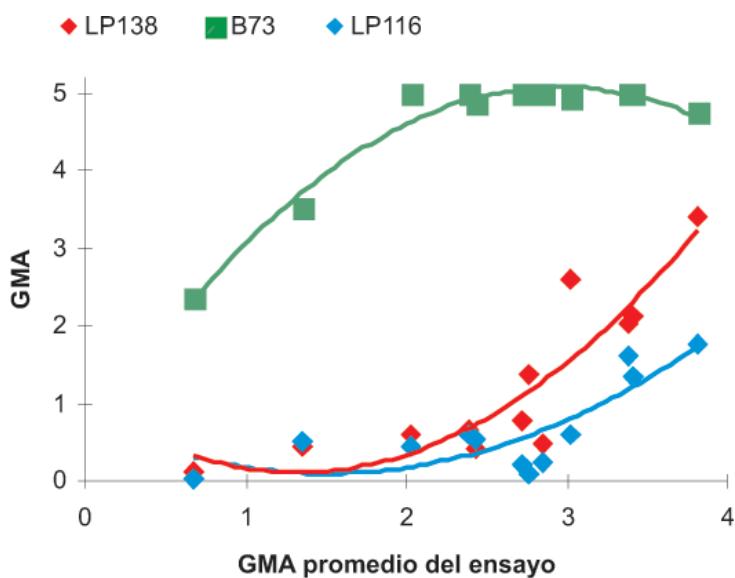


Figura 14: Reacción a mal de Río Cuarto de dos genotipos resistentes (rombos) y uno susceptible (cuadrados) evaluados en un rango de ambientes con diferente nivel de presión de la enfermedad.

Fuente: Presello et al. 1997b.

Referencias: GMA= Grado medio de ataque estimado según la escala de Sanguinetti et al. (1984) donde 0= planta sana y 5= máximo nivel de severidad.

Dado el tipo de respuesta a la presión de la enfermedad, el criterio para la elección del cultivar en función de su resistencia a MRCV dependerá de cuál es la región en la que va a ser cultivado. En áreas en las que frecuentemente ocurren epifitias severas, (sudoeste de Córdoba, este de San Luis, noreste de La Pampa, oeste de Buenos Aires) es necesario restringir la elección de cultivares a los que poseen los mayores niveles de resistencia y complementariamente adoptar técnicas de manejo que minimicen la incidencia de la enfermedad (siembras tempranas, control de malezas, etc). Para esta región se cuenta con sistemas de alerta, basados en las temperaturas y precipitaciones durante los meses de junio, julio y agosto (March et al., 1995), que permiten pronosticar al momento de la siembra la intensidad con la que ocurrirá la enfermedad facilitando la elección del híbrido en base a su resistencia al virus. En áreas con menor frecuencia de ocurrencia de epifitias severas, como las subregiones VI y IX, se pueden usar cultivares de alto potencial de rendimiento y con un nivel algo menor de resistencia aunque con cierto riesgo de que el

rendimiento se vea afectado por la enfermedad en años de epifitía severa. Considerando la creciente presencia de la enfermedad en las campañas 2006/2007 y 2007/2008, en estas subregiones no es conveniente elegir híbridos altamente susceptibles, ya que aún en condiciones de epifitía leve verán afectada su productividad.

Podredumbres de espiga

Varios géneros de hongos (*Fusarium*, *Diplodia*, *Aspergillus*, *Penicillium*, etc.) causan podredumbres de espiga que afectan la productividad y calidad del grano. El mayor efecto de estas enfermedades es sobre la calidad del grano debido a la contaminación con metabolitos secundarios producidos por los hongos denominados micotoxinas (aflatoxinas, fumonisininas, deoxinivalenol, zearalenonas, entre otras). La información disponible indica que los niveles de contaminación con micotoxinas en grano de maíz argentino son en general, leves o inferiores a los umbrales críticos. No obstante ello, la exposición a micotoxinas implica riesgos graves para la salud humana y animal, por lo

que existe preocupación en la cadena de valor y se están realizando esfuerzos para cuantificar y mantener bajos los niveles de contaminación.

Sí bien algunas especies, como *F. verticillioides*, pueden presentar infecciones asintomáticas que causan algunos niveles de contaminación con fumonisinas, investigaciones previas (Presello et al., 2007) indican una estrecha correlación entre la severidad de síntomas y la concentración de micotoxinas cuando se expone hospedantes con un rango de resistencia genética a infecciones inducidas de estos patógenos. Por lo tanto, una de las formas para prevenir la contaminación, es el desarrollo y uso de cultivares menos susceptibles a la enfermedad.

La importancia creciente de la problemática ha hecho que los programas de mejoramiento de los sectores públicos y privados intensifiquen sus actividades en el desarrollo de resistencia a estos patógenos. Generalmente los cultivares recomendados para cada región presentan cierto grado de resistencia genética, pero cuando estos son cultivados fuera de su rango de adaptación, pueden comportarse como susceptibles. Un ejemplo ocurre en la Subregión I, en la que se recomienda la siembra de híbridos originados a partir de

germoplasma tropical de buena sanidad de espiga. Cuando se introducen allí cultivares desarrollados para regiones de clima templado, estos pueden presentar un alto porcentaje de espigas afectadas por hongos.

Estudios de evaluación de cultivares templados en experimentos inoculados con las especies fúngicas causantes de los mayores problemas de contaminación con micotoxinas (*F. verticillioides*, *F. graminearum* y *A. flavus*) indicaron que existe variabilidad para resistencia a podredumbres de espiga y la subsecuente contaminación con micotoxinas (Presello et al., 2007, 2008b). La resistencia mostró bajos niveles de especificidad ante las tres especies fúngicas pudiendo elegirse cultivares resistentes a las tres especies, lo que es importante ya que la prevalencia de estas enfermedades depende de las condiciones ambientales durante el cultivo y no existen modelos predictivos ya validados que puedan aplicarse al momento de la siembra. Las frecuencias de híbridos en base a la severidad de síntomas siguieron distribuciones similares a la normal en el caso de las dos especies de *Fusarium* y sesgada hacia la resistencia en el caso de *A. flavus* (Figura 15). Estos resultados confirman la factibilidad de mantener controlados los niveles

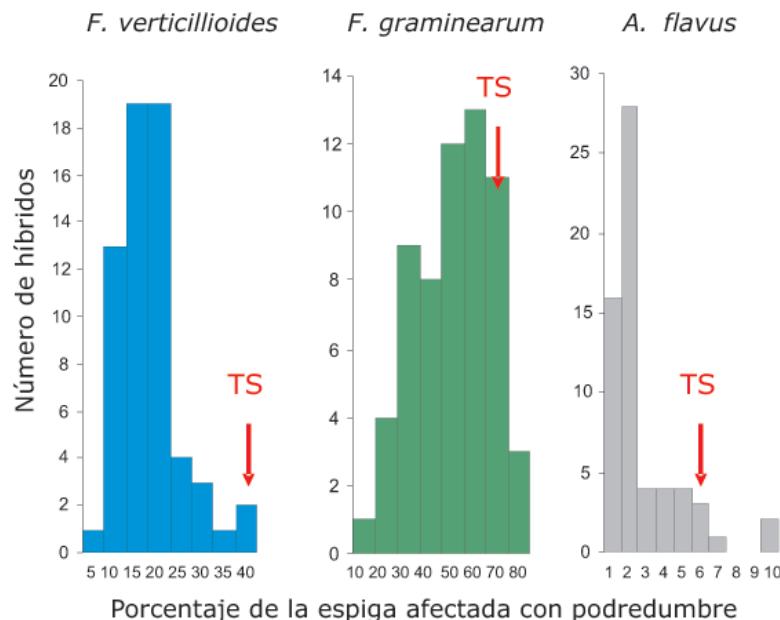


Figura 15: Distribución de frecuencias de híbridos comerciales de maíz en función de la severidad de síntomas de podredumbres de espiga luego de la inoculación de tres hongos patógenos (TS: híbrido testigo susceptible).

Fuente: Presello et al., (2008b)

de contaminación mediante la correcta elección del cultivar, particularmente para las micotoxinas producidas por *Fusarium* spp., cuya acumulación ocurre mayormente en condiciones de campo.

En el caso de *A. flavus*, debido a los bajos requerimientos de actividad del agua para su crecimiento, causa mayores problemas de contaminación en condiciones de postcosecha cuando el manejo de la misma no se hace correctamente y por lo tanto, se deben aplicar buenas prácticas de manejo mayormente en los procesos posteriores a la cosecha. Al mismo tiempo, los resultados de estos experimentos indican que la mayoría de los cultivares disponibles permitirían ingresar grano con bajo nivel de inóculo inicial al almacenamiento, en comparación con el que podrían presentar los testigos más susceptibles, contribuyendo a reducir la proliferación fúngica.

Los mismos cultivares fueron evaluados por resistencia al hongo en experimentos en los que se simuló un almacenamiento deficiente mediante la prueba "kernel screening assay" (Brown et al., 1993) y los resultados revelaron que también existe variabilidad para resistencia a la proliferación de *A. flavus* en el grano maduro que podría afectar los niveles de contaminación en postcosecha.

Estos resultados indican que sería posible elegir híbridos menos susceptibles a las tres especies fúngicas para producir grano con bajos niveles de contaminación. En la medida que el mercado lo demande, estos híbridos podrían ser utilizados en el desarrollo de productos a base de maíz destinado a los usos que implican un mayor riesgo de exposición a micotoxinas.

Otras enfermedades

En los ambientes subtropicales de las subregiones maiceras del norte argentino ocurren otros problemas sanitarios (tizones, royas, manchas foliares, carbones, enfermedades causadas por virus y molicutes, entre otros). Su importancia es mayor en el noroeste debido a la demora en las fechas de siembra, a causa de la falta de humedad en el perfil de suelo, hasta fines de primavera/principios de verano.

En estas siembras tardías, las condiciones de alta temperatura y humedad relativa favorece la proliferación de este complejo de enfermedades, siendo necesario disponer de información sobre el nivel de resistencia en los cultivares recomendados para estas regiones a fin elegir correctamente la semilla y evitar pérdidas de rendimiento.

El complejo de podredumbres de raíz y tallo causados por varios géneros de hongos (*Fusarium*, *Colletotrichum*, *Pythium*, etc.) se encuentra presente en toda la región maicera causando vuelco y quebrado de las cañas, y afectando el rendimiento. Los niveles de vuelco y quebrado dependen del efecto de estos patógenos y su interacción tanto con el genotipo (caracteres morfológicos y fisiológicos) como el ambiente de cultivo (fecha de siembra, densidad, nivel de fertilidad, estrés hídrico, presencia de otras enfermedades, etc.) Existe resistencia genética disponible y junto con el manejo del cultivo constituyen las técnicas adecuadas para reducir daños. Si bien es poco frecuente encontrar información sobre la resistencia de los cultivares a estos patógenos, en las tablas de resultados de ensayos comparativos generalmente se proveen valores de porcentajes de vuelco y quebrado de cañas que conviene sean tenidos en cuenta en la elección del cultivar.

Resistencia a insectos

La resistencia a los insectos es otro factor defensivo a tener en cuenta, especialmente cuando el cultivo se realiza en condiciones que favorecen el desarrollo de las plagas, como siembras tardías o en regiones con altas poblaciones de insectos. Existen diferentes mecanismos de resistencia (no preferencia y antibiosis) que hacen que cultivares sembrados en el mismo ambiente presenten diferencias en el nivel de daño debido a insectos. Tanto en áreas tropicales como subtropicales, son los Lepidópteros (*Diatraea saccharalis*, *Spodoptera frugiperda*, *Heliothis zea*, *Elasmopalpus lignocellus*) los insectos más perjudiciales para el cultivo. Alvarez et al. (1997) detectaron diferencias estadísticas respecto al nivel de daño causado por

D. saccharalis sobre cultivares de maíz, tanto en infestaciones naturales como artificiales. Si bien el uso de resistencia genética intraespecífica puede ser importante para el manejo del daño causado por Lepidópteros, por su efectividad en el control, el uso de cultivares Bt se ha difundido ampliamente como la principal práctica de manejo de estas plagas.

Cultivares desarrollados mediante biotecnología

Durante décadas el fitomejoramiento ha puesto a disposición de los productores de maíz cultivares desarrollados por métodos convencionales. Actualmente se dispone de una serie de técnicas, conocidas en su conjunto como biotecnológicas, que permiten manipular el cultivo a nivel de tejidos, células y ácidos nucleicos. Estas nuevas herramientas no sólo permiten ayudar al mejoramiento convencional mediante la utilización de información a nivel del genoma de la especie, sino que también han posibilitado romper barreras de aislamiento específico, de modo de permitir el uso de genes de otras especies (vegetales o no) en los cultivos de interés agronómico. Mediante la biotecnología y el mejoramiento convencional, ya se han generado y liberado al mercado cultivares con atributos especiales como resistencia a herbicidas, identificada a partir de cultivo de tejidos, como así también híbridos transgénicos (portadores de genes extraespecíficos)

con resistencia a insectos y tolerancia a herbicidas.

Una secuencia de ADN usada en la transformación e integrada al genoma en una posición determinada se denomina “evento”. Entre los eventos aprobados en Argentina para siembra, consumo y comercialización, se encuentran los que proveen resistencia a insectos Lepidópteros (176, Mon810, Bt11, Hx1), tolerancia al herbicida glufosinato de amonio (TC25), tolerancia al herbicida glifosato (evento GA21 y NK603), resistencia a insectos Lepidópteros y tolerancia al herbicida glufosinato de amonio (TC1507), etc. A partir del año 2007, comenzó la desregulación de “eventos apilados”, resultantes de la combinación de dos o más transgenes y aportando al cultivo ambas características como por ejemplo, tolerancia al herbicida glifosato y resistencia a insectos Lepidópteros (NK603 + MON810) y tolerancia a los herbicidas glifosato y glufosinato de amonio, y resistencia a insectos Lepidópteros (TC 1507 + NK603).

Los cultivares comúnmente denominados ‘Bt’, poseen eventos obtenidos de genes de la bacteria de suelo *Bacillus thuringiensis*, que producen substancias (proteínas Cry) con efecto insecticida sobre Lepidópteros y algunos Coleópteros. El uso de híbridos Bt reduce los daños causados por insectos barrenadores, como *Diatraea saccharalis* y *Spodoptera sp.*, siendo un importante elemento para el control integrado de estas plagas y reduciendo significativamente las pérdidas directas e indirectas de rendimiento (Figuras 16 y 17). El

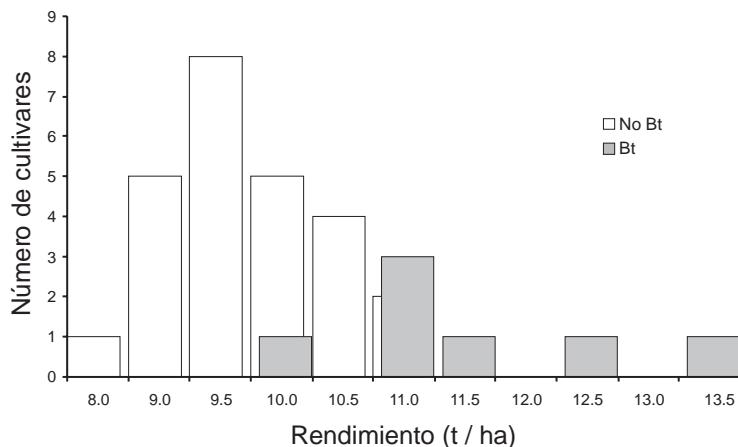


Figura 16: Distribución de frecuencias de rendimiento de cultivares de maíz Bt y no Bt en ensayos realizados durante la campaña 2001/02 en tres localidades de la Provincia de Buenos Aires (Ferré, Junín y Pergamino).

Fuente: Presello et al. (2002)

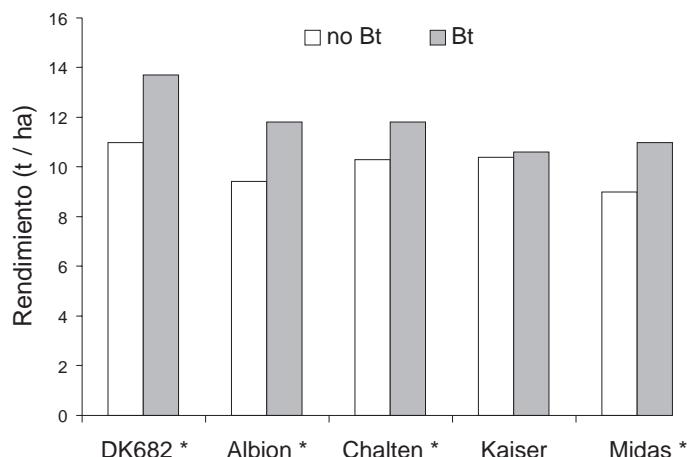


Figura 17: Rendimiento promedio de híbridos Bt y sus versiones no transgénicas en ensayos comparativos de rendimiento realizados en las localidades Ferré, Junín y Pergamino (Provincia de Buenos Aires).

Fuente: Presello et al. (2002).

Referencias: *: diferencia significativa a un nivel de probabilidad menor a 0.05

uso de híbridos Bt con eventos que se expresan en espiga, indirectamente reducen los niveles de contaminación con algunas micotoxinas debido a que los daños en la espiga son una vía de ingreso de hongos causantes de podredumbres (Munkvold et al., 1997). Los cultivares Bt son especialmente indicados para siembras de maíz de segunda, y de hecho su irrupción en el mercado es la que hizo posible considerar esta modalidad de cultivo como una alternativa rentable. Mayor información sobre cultivares transgénicos puede consultarse en el capítulo 3, Mejoramiento genético de Maíz.

Consideraciones Finales

Al igual que en el trabajo de los fitomejoradores, donde la selección toma en consideración una serie de caracteres productivos, fenológicos, sanitarios y de calidad en forma conjunta, difícilmente la elección del cultivar a sembrar pueda definirse en función de una sola característica. Será el mayor ajuste entre las características del cultivar y los requerimientos/necesidades de la región de cultivo, uso final del grano, y sistema real de producción, el criterio a tener en cuenta. Es aconsejable no acotar la elección a un solo cultivar, entre otros factores, como elemento de diversificación genética que

minimice los efectos de la aparición no prevista de limitantes ambientales. En este sentido, mayores detalles sobre aspectos que ayuden a una mayor comprensión del comportamiento de los cultivares frente a determinadas prácticas de manejo, presencia de enfermedades y plagas, y aspectos genéticos, pueden ser consultadas en los capítulos correspondientes de este libro.

Bibliografía

- Alvarez, M. P., G. H. Eyhérabide, y D. A. Presello. 1997 Comportamiento de híbridos comerciales de maíz bajo infestación natural del barrenador del tallo (*Diatraea saccharalis* fab.) Revista de Tecnología Agropecuaria. Vol. 2, Nro 5:40-43.
- Alvarez, M. P., J. H. Hourquescos, D. A. Presello y G. E. Eyhérabide. 2000a. Evaluación de híbridos comerciales de maíz: estabilidad del rendimiento y el comportamiento frente al mal de Río Cuarto. Revista de Tecnología Agropecuaria. Vol. 5, Nro 14:10-13.
- Alvarez, M. P., J. H. Hourquescos, D. A. Presello y G. E. Eyhérabide. 2000b. Evaluación de híbridos comerciales de maíz: Campaña 1999/00. Revista de Tecnología Agropecuaria. Vol. 5, Nro 14:5-9.
- Brown, D. M. 1969. Heat units of corn in southern Ontario. Information leaflet. Ontario. Dep. of Agric. Food, Guelph, Ontario, Canada.
- Brown, R. L., P. J. Cotty, T. E. Cleveland and N. W. Widstrom. 1993. Living maize embryo influences accumulation of aflatoxins in maize kernels. J. of Food Prot. 56:104-115.
- Costamagna, A. C. 1997. Mal de Río Cuarto. Estudios de resistencia de 6 líneas de maíz en relación

- al vector: Delphacodes kuscheli (Homóptera, Delphacidae). VI Congreso Nacional de Maíz, AIANBA. Noviembre 1997. Pag. I - 73.
- Cross, H. Z. and M. S. Suber. 1972. Prediction of flowering dates in maize based on different methods of estimating thermal units. Agron. J. 64:351-355.
- De Dios, C. A., R. C. Puig y J. L. Robutti. 1990. Caracterización de la calidad del maíz argentino. Informe Técnico Nº 241. INTA. Pergamino.
- Di Martino, A., A. Farroni, J. Robutti, F. Borrás, M. Nazareno. 2005. Estudio de la asociación del contenido y tipo de carotenoides con el color del grano de maíz evaluado mediante una carta de color. Actas del VIII Congreso Nacional de Maíz. Trabajos presentados y Resumen de Conferencias. AIANBA-Agroactiva. Rosario, 16 al 18 de noviembre de 2005. pg. 406-409
- Eberhart, S. A. and W. A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop Sci. 6:36-40.
- Eyhérabide, G. H. 1991. Estudio de la herencia de la resistencia a Mal de Río Cuarto mediante el uso de marcadores moleculares. Taller de Actualización sobre Mal de Río Cuarto. INTA Pergamino. Pág. 51-58.
- Eyhérabide, G. H. 2006. Mejoramiento de Maíz. In: Maíz y Nutrición. Informe sobre los usos y las propiedades nutricionales del maíz para la alimentación humana y animal. ILSI Argentina. Serie de Informe especiales, Vol II, octubre de 2000.
- Eyhérabide, G. H., M. P. Alvarez, D. A. Presello, J. C. Colazo, A. Y A. Fernández. 1997. Estabilidad del rendimiento de cultivares de maíz en el área de la EEA pergamino en el trienio 1994/95 - 1996/97. Revista de Tecnología Agropecuaria Vol 2, Nro 5: 51-54.
- Eyhérabide G. H., F. Borrás, N. Percibaldi, A. Farroni, J. Robutti, A. Di Martino, D. A. Presello, R. D. Lorea. 2007. Physical and biochemical grain quality characterization in maize cultivars from Argentina. In ICC International Conference on Cereals and Cereal Products Quality and safety. New challenges of world demand. Abstracts. 23-26 September, 2007. Rosario, Argentina. pg. 31.
- Eyhérabide, G. H., D. A. Presello y R. D. Lorea. 2006. Análisis Del Comportamiento De Cultivares de Maíz En Experimentos En Varios Ambientes. I Jornada de Actualización Técnica de Maíz. INTA-AIANBA-MAIZAR. Pergamino, 13 de julio de 2006
- Gauch H. G. and R. W. Zobel. 1995. AMMI analysis of yield trials. In. M.S. Kang and H.G. Editores. Genotype by environment interaction. Boca Raton, Florida, CRC Press.
- Gerónimo Gómez, L., D. A. Presello y A. Rabasa. 1984. Desarrollo de híbridos triples a partir de poblaciones de buena aptitud combinatoria. III Congreso Nacional de Maíz. (53-58).
- March, G. J., M., Balzarini, J. A., Ornaghi, J. E. Beviacqua, and A. Marinelli. 1995. Predictive model for Mal de Rio Cuarto disease intensity. Plant Dis. 79:1051-1053.
- Mella, R., A. Nider y A. Sanguinetti. 1984. Seguridad de cosecha en híbridos comerciales de maíz (1949-1984). III Congreso Nacional de Maíz. AIANBA. Pergamino. Pág. 63-70.
- Munkvold, G. P., R. L. Hellmich and W. B. Showers. 1997. Reduce fusarium ear rot and symptomless infection in kernels of maize genetically engineered for european corn borer resistance. Phytopathology 87:1071-1077.
- Painter, R.H. 1958. Resistance of plants to insects. Annual review of entomology. 3:267-290.
- Pedrol, H. M., D. Damen, J. Castellarin, G. Gester, F. Martínez, y G. Prieto. 1997. Guía práctica para el cultivo de maíz. SAGyP, INTA; Cambio Rural.
- Pedrol, H. M. 2007. Comportamiento de cultivares de maíz en el sur de Santa Fe según ambientes. II Jornada de Actualización Técnica de Maíz. INTA-AIANBA-MAIZAR. Pergamino, 4 de julio de 2007.
- Presello D. A y A. E. Céliz 1996. Comportamiento de cultivares de maíz bajo condiciones de infección natural de Mal de Río Cuarto. Campaña 1995/96. Revista de Tecnología Agropecuaria Vol 1, Nro 2: 6-8
- Presello, D. A., M. E. Ferrer, L. Solari y A. E. Celiz. 1996. Resistencia al virus del mal de Río Cuarto en variedades locales argentinas de maíz. RIA 27 :97-104.
- Presello, D. A., M. P. Alvarez, J. C. Colazo, A. L. Damilano, G. H. Eyhérabide, A. Fernández y M. J. Hourquescos. 1997a. Comportamiento de cultivares de maíz en el norte de la provincia de buenos aires y área endémica del mal de rio cuarto. Campaña 1996/97. Revista de Tecnología Agropecuaria Vol 2, Nro 5: 1-6.
- Presello D. A, A. E. Céliz y E. Frutos. 1997b. El uso de modelos lineales de interacción genotipo x ambiente para interpretar la estabilidad de la resistencia a la enfermedad Mal de Rio Cuarto en líneas de maíz. Reunión Latinoamericana de Maiceros. CIMMYT Colombia Agosto 1997.
- Presello D. A, P. E. Rodríguez Pardina, A. E. Céliz, I. G. Laguna y P. S. Herrera. 1997c. Concentración viral en raíces de líneas de maíz con diferente nivel de resistencia al Mal de Rio Cuarto fijivirus VI Congreso Nacional de Maíz, AIANBA. Noviembre 1997. Pág: I - 5.
- Presello D. A., A. E. Céliz, S. Meira y E. Guevara. 1997d. Comportamiento de híbridos de maíz liberados en diferentes épocas en condiciones de riego y sequía simulada. VI Congreso Nacional de Maíz, AIANBA. Noviembre 1997. Pág: I - 87.
- Presello, D. A., J. C. Colazo, A. L. Damilano, G. H. Eyhérabide, M. J. Hourquescos y M. M. Morata. 1998. Comportamiento de cultivares de maíz en Norte de la Provincia de Buenos Aires y Área endémica del Mal de Río Cuarto. Campaña 1997/98. Revista de Tecnología Agropecuaria - INTA Pergamino. Vol 3. Nro 8. 2-9.
- Presello, D. A. y M. M. Morata. 1998. La roya común del maíz. Su importancia y manejo. Revista de Tecnología Agropecuaria - INTA Pergamino. Vol 3. Nro 8. 29-34.
- Presello, D. A., M. P. Alvarez, J. C. Colazo, A. L. Damilano, G. H. Eyhérabide y M. J. Hourquescos. 2002. Comportamiento de cultivares de maíz en el norte de la provincia de Buenos Aires y área endémica del Mal de Río Cuarto. Campaña 2001/2002. Revista de Tecnología Agropecuaria - INTA Pergamino. Vol 7. Nro 20: 8-11.

- Presello, D. A., L. M. Reid and D. E. Mather. 2004. Resistance of argentine maize germplasm to Gibberella and Fusarium ear rots. *Maydica* 49:73-81
- Presello, D. A., J. Iglesias, G. Botta, and G. H. Eyherabide. 2007. Severity of Fusarium ear rot and concentration of fumonisins in Argentinian maize hybrids. *Crop Protection*. *Crop Protection* 26:852-855.
- Presello, D. A., G. H. Eyherabide, R. D. Lorea y J. Iglesias. 2008a. Comportamiento de cultivares de maíz Campaña en el norte de la Provincia de Buenos Aires Campaña 2007/2008. III Jornada de Actualización en Maíz. INTA-AIANBA-MAIZAR. Pergamino, 17 de julio 2008.
- Presello D.A., J. Iglesias, M. Fernández, G. Botta, G. H. Eyherabide y R. D. Lorea. 2008b. Comportamiento de cultivares de maíz luego de la inoculación de hongos causantes de podredumbres de espiga. III Jornada de Actualización en Maíz. INTA-AIANBA-MAIZAR. Pergamino, 17 de julio 2008.
- Sanguinetti, A., R. Van Becelaere, A. Damilano y G. H. Eyherabide. 1984. Efectos genéticos que condicionan la herencia de la resistencia a Mal de Río IV en Maíz. In, III Congreso Nacional de Maíz, Pergamino, 1984. AIANBA. pp. 48-52.
- Schmidt, J. L. and A. R. Hallauer. 1966. Estimating harvest date of corn in the field. *Crop Sci.* 6:227-231.
- Shaw, H. S. 1988. Climate Requirement. In: *Corn and Corn Improvement Third Edition*. Sprague G.F. and Dudley J.W: Editors. Pag. 609-638.
- Vallone, P. y G. Nieri. 1997. Guía práctica para el cultivo de maíz. SAGyP, INTA; Cambio Rural.
- Verma, M. M., G. S. Chahal and B. R. Murthy. 1978. Limitations of conventional regression analysis. A proposed modification. *T.A.G.* 53 : 89-91.
- Virila, E y A. M. de Remes Lenicov. 1991. Ciclo de vida de *Delphacodes kuscheli* sobre diferentes hospedantes en condiciones de laboratorio. Taller de Actualización sobre Mal de Río Cuarto. INTA Pergamino. Pág. 104-115.
- Yan, W.; I. Rajcan. 2003. Prediction of cultivar performance based on single -versus multiple-year tests in soybean. *Corp. Sci.* 43:549-555.

5. LOS RECURSOS GENÉTICOS DEL MAÍZ

Marcelo E. Ferrer

Estación Experimental Agropecuaria INTA
Pergamino

Índice

Introducción	109
Origen del maíz	111
Clasificación taxonómica	112
Las razas de maíz en la Argentina	113
Distribución geográfica de las razas de maíz	115
Conservación de los recursos genéticos	115
Bancos de Germoplasma	116
<i>Incorporación de variabilidad genética</i>	117
<i>Conservación</i>	118
<i>Regeneración</i>	118
<i>Caracterización y evaluación</i>	119
<i>Documentación</i>	121
<i>Premejoramiento y utilización</i>	122
Bibliografía	122

Introducción

Los recursos fitogenéticos constituyen la fracción de la diversidad biológica que comprende a las especies vegetales con valor actual o potencial para la alimentación y la agricultura. Poseen un elevado valor estratégico al estar directamente relacionados con el desarrollo agrícola y agroindustrial, aportando el germoplasma adecuado para incrementar la cantidad y la calidad de la producción (FAO, 1998). En el Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2002) se definen a los recursos fitogenéticos como cualquier material de origen vegetal, incluido el material reproductivo y de propagación vegetativa, que contiene unidades funcionales de la herencia, que tiene valor real o potencial para la alimentación y la agricultura.

Hasta el comienzo de la agricultura los procesos evolutivos estuvieron controlados por la selección natural que actuaba sobre la variabilidad existente, la cual, a su vez, era modificada por mutaciones, migraciones y recombinaciones. En el proceso de domesticación de las especies, la selección natural es acompañada por la selección artificial y en consecuencia las especies evolucionan al servicio del hombre. A medida que los primeros cultivos se extendían a nuevas regiones, encontraron grandes diferencias ecológicas y a menudo las barreras geográficas naturales separaron y aislaron las poblaciones agrícolas, aunque raramente estuvieron completamente aisladas de intromisiones del exterior. Frankel y Bennett (1970) señalan que la migración humana, los pájaros, abejas y otros insectos indujeron cambios significativos en el material genético.

A través de los siglos, la selección natural y la producida por los agricultores dieron lugar a la aparición de variedades primitivas y razas locales que evolucionaron en un medio ambiente físico y socioeconómico específico. Las razas locales y variedades primitivas se encuentran en equilibrio con su medio ambiente y se mantienen relativamente estables por largos períodos a

pesar de que la estructura poblacional retiene potencialidad para cambios adaptativos en especial donde hay oportunidades para el intercambio de genes y la introgresión (Frankel y Bennett, op cit).

A la variación que se encuentra entre las razas locales y variedades primitivas se debe agregar la diversidad genética intrapoblacional, que es la causa de la heterogeneidad morfológica de las variedades primitivas. Heterogeneidad que también existe en otras características no tan fácilmente observables como la resistencia a enfermedades, la adaptación local, el contenido de aceite, de proteínas, etc. (Esquinás Alcázar, 1981). La característica sobresaliente de estas variedades es la gran heterogeneidad que poseen, ya que, si bien no presentan elevada productividad, les confiere estabilidad productiva debido a que en un mismo campo se encuentran plantas resistentes a distintas enfermedades, algunas capaces de tolerar el frío y otras el calor, de tal forma que la producción individual varía con las condiciones climáticas y las enfermedades que aparecen durante el año agrícola, manteniéndose el rendimiento medio año tras año (Esquinás Alcázar, 1987).

El tipo de estructura poblacional, en la cual la variabilidad es una característica siempre presente en todos los cultivos de reproducción sexual, se mantuvo hasta el advenimiento de la agricultura racional, a comienzos del siglo XIX, cuando comienza a aplicarse la selección individual. En la actualidad, aquella variabilidad se encuentra solamente en las regiones donde la agricultura moderna no reemplazó a las variedades primitivas. Zohary (1970) menciona que entre esas regiones se pueden considerar las que Vavilov identificó como centros de diversidad genética. La mayor parte de esos centros se encuentra en zonas montañosas de los trópicos y subtrópicos. En algunos casos coinciden con las regiones donde se inició la agricultura primitiva y, además, donde se cultivó una especie por primera vez. Allí se pueden encontrar las especies silvestres muy emparentadas o formas silvestres de la misma especie o formas primitivas del cultivo.

La variabilidad genética va disminuyendo a medida que se incrementa la distancia a los centros de diversidad hasta alcanzar un mínimo. Entre las razones que explican dicha situación está el hecho de que el hombre primitivo llevaba, al migrar, cantidades limitadas de semillas y en consecuencia sólo una muestra de la variabilidad total. Además, al llegar a zonas con condiciones ecológicas diferentes o más extremas sólo algunos genotipos sobreviven, por lo que se pierden algunos caracteres, pero la selección natural mantiene cierta variabilidad en otros.

La mecanización de la actividad agrícola durante todo el ciclo del cultivo, en la cosecha y procesos de poscosecha, a los que se suman las exigencias de mercado, necesitan de materiales uniformes para facilitar dichas operaciones. Los aspectos antes mencionados forzaron a los fitomejoradores a obtener variedades comerciales con características deseables de uniformidad y mayor producción, que fueron paulatinamente reemplazando y eliminando las viejas y numerosas variedades locales, heterogéneas y poco productivas, pero con amplia variabilidad genética.

El fitomejoramiento depende de la variabilidad genética. Para obtener progresos en la selección los mejoradores necesitan disponer de materiales con variabilidad genética, ya que la selección es inoperante en líneas puras debido a la homocigosis. Holle (1987) señala que el fitomejoramiento plantea una paradoja, ya que por un lado se necesita variabilidad genética para mejorar y mantener alta productividad de los cultivos y por el otro algunos cultivares mejorados se difunden enormemente y su extenso uso provoca reducción de variabilidad genética en las zonas de producción donde tienen éxito.

El empleo de pocas variedades uniformes y con estrecha base genética en grandes áreas ha ocasionado graves problemas en diferentes países y en distintas épocas. El ejemplo más trágico que se recuerda fue en la década de 1840/50 cuando murieron de hambre más de dos millones de irlandeses al perderse el cultivo de papa al ser atacados por el tizón (*Phytophtora infestans*). La causa del

desastre se debió a la estrecha base genética de los materiales utilizados procedentes de América Latina en el siglo XVI. El problema se solucionó cuando se localizaron e incorporaron genes de resistencia encontrados en cultivares primitivos y poblaciones silvestres de los centros de diversidad de la papa en el área andina de América del Sur. En 1970 se produjeron pérdidas de hasta 50% en los cultivos de maíz en algunas regiones de los EE.UU. con una disminución de la producción total de 15% debido a la enfermedad del tizón (*Helminthosporium maydis*). El problema se presentó en maíces que procedían de semillas híbridas producidas por androesterilidad citoplasmática y que a su vez tenían el citoplasma T (Texas), muy susceptible a dicha enfermedad. En 1968 entre el 75 y 90% de los híbridos cultivados presentaban citoplasma T.

La erosión genética es otra causa de disminución de la variabilidad. Consiste en la pérdida de diversidad, sean genes individuales o combinaciones particulares de estos genes. Como se mencionara anteriormente, se considera que, en especies cultivadas, el factor de mayor importancia en la pérdida de diversidad es el reemplazo de las variedades tradicionales de los agricultores con amplia variabilidad genética, por materiales mejorados de mayor rendimiento pero con gran uniformidad genética, o por otros cultivos más productivos y/o más rentables (Ferrer y Clausen, 2001). Según la FAO (1998), las principales causas de erosión genética son, además de la sustitución de variedades locales, el desmonte, el sobrepastoreo, la presión demográfica, la explotación excesiva de especies, la introducción de nuevas plagas y enfermedades. Ferrer y Clausen (op cit) mencionan que en varias regiones del Cono Sur, el avance de la frontera agrícola, mediante la ocupación de nuevas tierras o debido al cambio de uso de la tierra, está causando serios problemas ambientales como degradación y compactación de suelo, contaminación de acuíferos, que ponen en riesgo la integridad de diversos ecosistemas, incluyendo la erosión genética por pérdida de poblaciones e incluso de especies

silvestres. También pueden citarse como causa de la degradación e inclusive pérdida de áreas naturales y bosques el sobrepastoreo, diversas obras de infraestructura como la construcción de presas hidroeléctricas y caminos. La erosión genética también ocurre en las colecciones *ex situ*, en los bancos de germoplasma, debido a deficiencias metodológicas en la colecta, regeneración o multiplicación de material genético, así como también las insuficiencias en infraestructura, inadecuadas condiciones de almacenamiento y la escasez de recursos financieros para enfrentar diversas etapas inherentes a la conservación de germoplasma en el mediano y largo plazo.

Gran parte del área cultivada de la región templada y subtropical de la Argentina se encuentra en estado de vulnerabilidad, presentando además varios de los factores de erosión y pérdida de diversidad genética.

Origen del maíz

El maíz es un cultivo originario de América. Harlan (1992) define un «origen difuso», en tiempo y espacio. Probablemente fue domesticado en un área limitada, pero sus características cambiaron radicalmente por incorporación de genes de especies emparentadas silvestres y/o por acción de diferente presión de selección en diversas regiones a medida que se dispersó del centro de origen.

Los científicos todavía debaten sobre los ancestros del maíz, del cual no se conocen formas silvestres, habiéndose formulado diversas teorías sobre su origen. Mangelsdorf (1974) hace referencia a tres: 1) el maíz cultivado se originó a partir del maíz tunicado, en el cual los granos están cubiertos por brácteas individuales como ocurre con otros cereales y en casi todas las gramíneas, hipótesis apoyada por Mangelsdorf; 2) el maíz se originó a partir del teosinte anual (*Zea diploperennis*) por mutación o por hibridación de éste con otra gramínea actualmente extinguida. La mazorca del maíz sería el resultado de la fusión de las ramificaciones laterales con la espiga central. Esta teoría ha jugado el mayor rol en

la explicación del origen del maíz por cuanto el teosinte es su pariente más cercano conocido; 3) el maíz, el teosinte y el *Tripsacum* derivan de un antecesor único.

Hanelt (2001), entre otros autores, menciona que el área de domesticación fue probablemente el sur de México (entre Chiapas y México DF), donde se encontraron restos que presentaban todas las características del maíz moderno, excepto su tamaño, y que datan aproximadamente de 5.000 años a. C. No obstante lo expresado, el mencionado autor señala que la suposición de Mangelsdorf de que «el ancestro común del maíz es maíz» no puede sustentarse tan fácilmente, debido a que en tiempos recientes no se encontraron plantas con tales características.

En relación con la teoría de que el ancestro del maíz es el teosinte anual, Hanelt (op cit) señala que los restos encontrados son mucho más recientes que los del maíz primitivo. Menciona, además, que Iltsi en 2000, propone que la mazorca de maíz deriva de una «translocación sexual» de la espiga central terminal del tallo masculino del teosinte, en reemplazo de la «teoría de la transmutación sexual catastrófica» formulada por el mismo autor en 1983.

Otra teoría, basada en una sucesiva acumulación de mutaciones de genes simples, no puede explicar la explosiva evolución del maíz cuyo comienzo es coincidente con las primeras evidencias del teosinte en los registros arqueológicos.

Hanelt (op cit) menciona que actualmente se ha reimpulsado la teoría sobre el origen híbrido del maíz sobre la base de los resultados obtenidos en cruzamientos experimentales entre *Zea diploperennis* con un maíz primitivo. En las retrocruzadas y poblaciones F₂ se encontraron plantas de teosinte anual, así como plantas de maíz con todas las características de los maíces modernos. Por otro lado, cruzamientos entre *Tripsacum dactyloides* con *Zea diploperennis* produjeron descendencia fértil, pero perenne, con mazorcas y granos mayores a los primitivos maíces domesticados y con idéntico número de cromosomas (2n=20) que los maíces modernos (Eubanks, 1995) mencionado por Hanelt.

La domesticación del maíz ha sido fuertemente influenciada por la selección artificial, aplicada para obtener plantas de un solo tallo, con mazorcas grandes y de fácil cosecha. Sin duda, el teosinte y el *Tripsacum* jugaron un importante rol en la evolución del maíz.

Evidencias arqueológicas destacan que el maíz fue llevado a través del Ecuador hacia América del Sur alrededor de 5.000 años a. C., lo cual generó un centro de diversidad en el Perú. Brandolini (1970), basándose en consideraciones climáticas, orográficas y evidencias filogenéticas, sostiene que se pueden definir dos grandes áreas de diferenciación del maíz:

1- Meso América, región ubicada al norte del Ecuador, donde prevalece el germoplasma de México - Guatemala como Centro de Origen e incluye el sur de los EE.UU., América Central, Colombia, Venezuela e Indias Orientales,

2-América Austral, ubicada al sur del Ecuador bajo la influencia del centro de diversidad Perú – Bolivia, que incluye Ecuador, Chile, Paraguay, Argentina y Brasil.

Clasificación taxonómica del maíz

Brieger y col. (1958) definen raza, grupo racial y subrazas en maíz. Raza es «cualquier grupo de poblaciones que tienen un número suficiente de caracteres distintivos en común, se mantienen por sí mismas a través de reproducción panmítica dentro de las poblaciones y ocupan áreas definidas». Grupo racial comprende «un número de razas que tienen algunos caracteres distintivos en común, esos caracteres son generalmente de grano tales como textura del endosperma, color, tamaño, etc.» La subraza «difiere del tipo principal sólo en detalles, como por ejemplo el número de subrazas de Capia que difieren principalmente en el color del grano, siendo difícil explicar cómo mantuvieron esas diferencias a través de muchas generaciones, en algunos casos por más de 500 años». Además mencionan que existen dos procesos por los cuales se puede originar una nueva

raza: a) por la lenta y constante selección de genes mutantes y sus complejos modificadores favorables, proceso durante el cual se pueden fijar otros caracteres sin selección directa y b) por selección después de hibridación.

Hernández y Alanis (1970) señalan que en la formación de las razas de maíz están involucrados los mismos procesos de formación que en cualquier otra entidad taxonómica, es decir, aislamiento reproductivo, mutación, hibridación y selección natural. A ello debe sumarse la activa participación de los indígenas en la selección de los diversos tipos y razas locales. Grobman y col., (1961) consideran que los indígenas peruanos en el período incaico deben haber tenido un conocimiento empírico profundo, aunque simple, del maíz, que les permitió seleccionar en forma consciente tipos determinados que favorecían su siembra, así como también la utilización de técnicas avanzadas de agricultura, tales como la irrigación, el cultivo en terrazas, la plantación en hilera y la fertilización.

Tradicionalmente se ha clasificado al maíz siguiendo criterios utilitarios, describiéndose las razas principalmente sobre la base de las características de la mazorca y grano, fundamentalmente el tipo de endosperma, número de hileras de grano, además de tamaño, forma y color de los granos. La actual clasificación taxonómica intraespecífica de maíz (Hanelt, op cit), utiliza la categoría de «covariaciones» (convarieta) que también se basa en características de la estructura del endosperma. Esta taxa se adapta a los grupos cultivados, y si bien no refleja la filogenia de la especie, es aceptada por su valor utilitario. Se han efectuado varias clasificaciones del maíz comenzando por la de Sturtevant en 1883, quien clasificó los distintos tipos como especies diferentes.

Posteriores revisiones, reclasificaciones y actualizaciones resultaron en la actual clasificación de Hanelt (op cit):

- 1- convar. microsperma Koern. (1873)
Zea everta Sturt (1883); *Z. mays* L. var. *microsperma* (Koern) (1898); *Z. mays oryzea* Kulesh (1930), entre otras. Corresponde a uno de los maíces más antiguos, con granos pequeños

y de endosperma vítreo que se expanden con el calor aumentando hasta 10 veces el volumen (comprende los tipos reventadores).

2- convar. mays

Zea mays (Gruppe) vulgaris Koern. (1873); *Zea indurata* Sturt. (1883), entre otros. El endosperma es duro y vítreo en la periferia del grano y harinoso en el centro. No presenta indentación. Corresponde a los tipos duros o «flint».

3- convar. aorista Grebensc. (1949)

Zea mays L. ssp semidentata Kuleshov (1955). Representa un tipo estable, intermedio entre los tipos duro y dentado. El endosperma harinoso alcanza la corona del grano, pero no ocasiona indentación o ésta es muy poco pronunciada. Corresponde a los tipos semidentados y semicristalinos y «panza blanca».

4- convar. dentiformis Koern. (1873)

Zea indentata Sturt. (1883). El endosperma harinoso alcanza la corona del grano causando una marcada indentación. Corresponde a los tipos dentados.

5- convar. *amylacea* (Sturt.) Grebensc (1949)

Zea amylacea Sturt. (1883); *Zea amyleasaccharata* Sturt. (1887); *Z. mays* L. var. *amylacea* (Sturt) Bailey, entre otras. Es uno de los tipos más antiguos de maíz encontrados en el centro de diversidad en Perú. Los granos blandos contienen solamente endosperma harinoso. Corresponde a los tipos harinosos.

6- convar. *saccharata* Koern. (1873)

Zea mays rugosa Bonaf. (1836); *Zea saccharata* Sturt. (1883), entre otras.

El endosperma contiene elevada cantidad de dextrina y los granos se presentan arrugados a la madurez. Corresponde a los maíces dulces.

7- convar. *ceratina* Kuleshov (1928)

Zea mays L. ssp. *ceratina* (Kulesh.) Zhuk., Kilt. (1950). El grano es fácilmente digerible, presenta superficie dura y lisa pero su interior es ceroso «waxy». El endosperma contiene casi exclusivamente amilopectina.

Las razas de maíz en la Argentina

La mayor parte de los estudios sobre razas de maíz en la Argentina fueron realizados con materiales provenientes de la Quebrada de Humahuaca, en Jujuy y áreas vecinas. Los primeros estudios se remontan a principios del siglo pasado, cuando Holmberg en 1904 estudió los maíces de Jujuy. Ramella (1948) menciona un trabajo preliminar inédito de Marino de 1934, sobre la Agricultura de Quebrada de Humahuaca, en el que describió y clasificó según Sturtevant, numerosas formas de maíz recolectadas. Marino señaló la importancia de la Quebrada de Humahuaca por encontrarse vecina al gran centro de dispersión que es la Meseta Peruana – Boliviana, de la que puede considerarse su límite sur.

Parodi (1959), siguiendo la clasificación de Sturtevant, estableció la existencia de diversos grupos de maíces indígenas que todavía se cultivan en las dos regiones principales (Andina y Guaranítica). En la región Guaranítica, ubicada en el Nordeste de Argentina (NEA), se encuentra el grupo Amylacea, con Avatí Morotí como su raza típica más importante; el grupo Indurata, constituido por maíces duros, similares a los colorados comunes cultivados en Argentina para exportación y el Oryzea que corresponde a los maíces rostrados conocidos como Pisingallo. En la región Andina, ubicada en el Noroeste de Argentina (NOA), el grupo Amylacea es el más importante y comprende el mayor número de «variedades», constituido por los Capias; se encuentran además los grupos Indurata, Microsperma, Oryzea y Amylea saccharata.

Brieger y col. (op cit), estudiaron las razas de maíz de Sudamérica. Establecen la existencia de diversas razas reconocibles sobre la base de un gran número de caracteres, consideran además sus relaciones de parentesco y origen. Según estos autores, las razas de maíces: del NOA, con excepción del Pisingallo de tipo rostrado y reventador, procederían principalmente de la Quebrada de Humahuaca, y las divide en

dos grupos: «del Valle» (o de la Quebrada) y «del Altiplano». El grupo de razas del Valle se caracteriza por mazorcas y plantas bien desarrolladas, e incluye las razas Capia Blanco, Capia Amarillo, Chulpi y Morocho, entre otras. El grupo de razas del Altiplano posee mazorcas y plantas de tamaño reducido que conservan sus características del grano, incluye la raza Bola Blanca y un denominado tipo Altiplano. Para el NOA también mencionan razas de tipo cristalino a las que denominaron Calchaquí Cristalino Blanco Pequeño y Calchaquí Cristalino Amarillo Pequeño. Brieger y col. (op cit), consideran que los maíces de la Quebrada no tuvieron conexión con los de la Región Guaranítica que comprende la región del NEA, a excepción del Pisingallo, que podría tener alguna introgresión. Además describen razas cultivadas en la Región Pampeana y el Uruguay bajo la denominación de catetos meridionales (Colorado, Cuarentón, Canario de Ocho y Amarillo). Estimaron que las razas mencionadas y otras similares de Brasil se originaron en el área costera desde Brasil hasta la Argentina.

Luna y col. (1964) señalan que el origen de las variedades modernas argentinas de maíces de tipo Cristalino (Colorado o Amarillo), características de la Región Pampeana, no es bien conocido por la falta de documentación sobre su procedencia y de las características del maíz indígena que se cultivaba en la región. Al respecto mencionan dos corrientes de opinión:

1- Las variedades habrían sido traídas por los inmigrantes italianos, en cuyo caso serían originarias de las Islas del Caribe y de otros países sudamericanos.

2- Los tipos cultivados descenderían de maíces indígenas de la región pampeana o de regiones limítrofes.

Luna y col., op cit, apoyan la segunda opinión, debido a la gran variabilidad genética de las variedades indígenas y su buena adaptación a una región muy amplia, y a que las variedades europeas difundidas en la región pampeana presentan menor variabilidad y adaptación, por lo que su aporte a la formación de las variedades modernas argentinas sería

escaso. Mencionan que los maíces cultivados en las Islas del Caribe a pesar de tener granos similares al maíz colorado argentino, presentan un ciclo vegetativo muy largo, y que los tipos que más se cultivan en esas islas son los dentados y semidentados.

Safont Lis (1971) mediante el estudio de nudos cromosómicos, analizó las probables relaciones filogenéticas, entre razas cultivadas en la Región Pampeana («Colorado» y «Cuarentón») y los maíces cristalinos de la Región del Caribe («Coastal Tropical Flint» y «Cuban Flint» llamado también «Maíz Argentino»). Encontró diferencias entre las razas en cuanto a la presencia, tamaño, posición de los nudos y promedio de nudos por planta. Si bien encontró cierta similitud en la posición de nudos característicos entre el maíz Colorado y el Cuban Flint, detectó, en estos últimos, nudos que no se presentan en las colecciones pampeanas. El mencionado autor destaca que hacia 1920 Cuba importó maíz Colorado desde la Argentina, por lo que el Cuban Flint podría haber resultado de la introgresión del maíz pampeano con razas y variedades locales.

Abiuso y Cámara Hernández (1974) describieron razas autóctonas de maíz de la Quebrada de Humahuaca sobre la base de caracteres morfológicos cuantitativos y algunos cualitativos de la parte vegetativa de la planta, de la mazorca y de la panoja. La metodología utilizada fue la propuesta por Wellhausen y col. (1952), Brieger y col. (op cit), Ramírez y col. (1960) y Grobman y col. (op cit). Cámara Hernández y Miante Alzogaray (2003) utilizando datos de espiga, panoja y planta, caracterizaron y evaluaron 14 razas de la provincia de Misiones.

Salhuana y col. (1979), Ferrer (1987), y posteriormente Solari y Gómez (1997) estudiaron la colección de maíz del Banco Activo de Germoplasma de la EEA INTA Pergamino, y describieron 44 formas raciales pertenecientes a variedades o razas locales colectadas en todo el país.

Pflüger y Schlatter (1996) analizaron la variabilidad isoenzimática existente en razas locales de maíz de la Argentina. Mediante técnicas de electroforesis encontraron que la

variación intrapoblacional representaba el 78% de la variabilidad, mientras que la variación entre razas fue del 14% y entre poblaciones de una misma raza alcanzó sólo al 8%.

Distribución geográfica y situación de las razas de maíz

La región del NOA, que comprende las provincias de Salta, Jujuy, Tucumán, Catamarca y Santiago del Estero, es particularmente rica en diversidad biológica, ya que ocupa sólo el 20% de la superficie y cuenta con más del 40% de los géneros descriptos en el país. Es centro de origen o de diversificación de importantes cultivos como maíz, papa y poroto, entre otros. Clausen y Ferrer (1999) señalan que sobre 44 formas raciales descriptas para en el país, 27 fueron recolectadas en la provincia de Salta (61,3%), y 21 en Jujuy (47,7%). Además, 18 (40,9%) se encontraron exclusivamente en la región del NOA.

Otra zona que presenta riqueza en tipos de maíz es el NEA (Formosa, Chaco, Misiones y Corrientes) con 17 razas descriptas (38,6%) y 7 sólo encontradas en dicha región (15,9%). La provincia del NEA más rica en tipos de maíz es Formosa, con 17 razas (38,6%) y luego Misiones con 16 (36,4%).

Diversos autores (Ramella, op cit; Parodi, 1966; Abiuso y Cámara Hernández, op cit) coinciden en señalar la importancia de ese material autóctono compuesto por razas locales primitivas que todavía no fueron reemplazados por materiales comerciales o por otras especies más rentables. No obstante lo expresado, Illía y Colazo, 1981 (comunicación personal), mencionan que entre la primera y segunda etapa de recolección de maíz en el noroeste de la Argentina realizados por el Grupo de Mejoramiento de Maíz de la Estación Experimental Agropecuaria Pergamino del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (EEA INTA Pergamino), y en la que hubo 10 años de diferencia, se notó un gran avance en el cultivo de material mejorado, siendo cada vez

más difícil encontrar poblaciones locales que no estén contaminadas con germoplasma de maíces mejorados.

Luna y Safont Lis (1978) analizaron la situación de las razas locales y diferenciaron las causas del incremento de la vulnerabilidad genética del maíz en la Argentina, según se trate del cultivo en las regiones tradicionales indígenas o en la región maicera principal. En el primer caso, los indígenas de la Región Andina del NOA y de la Región Guaranítica del NEA cultivaron una diversidad de razas definidas por diferentes tipos de textura, formas, color, etc., que se adaptaban a una gran variedad de situaciones ecológicas y satisfacían las necesidades y hábitos de alimentación de sus pobladores. En el norte del país, con agricultura de subsistencia y con marcada tradición maicera, el germoplasma ha sufrido variados grados de erosión genética por la sustitución por otros cultivos más rentables o por la introgresión con otro germoplasma, que si bien originan nuevas potencialidades aceleran la pérdida del germoplasma con mayor variabilidad y adaptación. En la región maicera núcleo de la Pampa Húmeda se cultivaba el Maíz Plata, de tipo de grano amarillo anaranjado intenso. En la década de 1920, se introdujeron las primeras variedades comerciales y durante la década de los años 50 se inició la difusión de los primeros maíces híbridos. En la Región Pampeana desaparecieron la totalidad de las poblaciones de maíz Plata y de otros tipos antiguamente cultivados, los que fueron reemplazados por híbridos comerciales o por otros cultivos.

Conservación de los recursos genéticos

La conservación de germoplasma tiene como función asegurar la disponibilidad de variabilidad genética de especies de importancia socioeconómica actual o potencial en calidad y cantidad adecuada (Zelener, 1998). El Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2002) define los términos conservación *in situ*

y *ex situ*. El primero comprende la conservación de los ecosistemas y hábitat naturales y el mantenimiento y recuperación de poblaciones viables de especies en sus entornos naturales y, en el caso de especies domesticadas y cultivadas, en los entornos en que hayan desarrollado sus propiedades específicas. El segundo se refiere a la conservación de los recursos fitogenéticos fuera de su hábitat natural. Toll (1996) señala que la conservación *ex situ* es complementaria de la conservación *in situ*, asignándole un valor especial a la primera como fuente fácilmente accesible de la diversidad genética para el uso de los programas de mejoramiento y el aseguramiento de la conservación a largo plazo.

La conservación en finca es el método empleado por los agricultores que conservan y utilizan las variedades primitivas y razas locales de los cultivos; constituye uno de los tipos de conservación *in situ* recientemente reconocido por los científicos (Rivas, 2001). Clausen y col. (1995) mencionan que en nuestro país las variedades tradicionales aún se encuentran localizadas principalmente en zonas de agricultura de subsistencia y minifundios del NOA, NEA y comunidades indígenas andinas y patagónicas, quienes por sus características culturales basan su alimentación en un reducido número de cultivos que poseen gran variabilidad de tipos con distintos usos como maíz, papa y poroto en el NOA. La producción se utiliza fundamentalmente para consumo familiar y es una manera no científica, pero efectiva de conservar los recursos genéticos.

A partir de la década de 1960 distintas instituciones internacionales comienzan a preocuparse por la rápida pérdida de los recursos genéticos en el mundo y es así que en 1961 la FAO empieza a trabajar en el tema y en 1974 se crea el Consejo Internacional de Recursos Genéticos (CIRF/IBPGRI), hoy IPGRI (Instituto Internacional de Recursos Genéticos Vegetales), cuya misión fue organizar una red internacional de instituciones nacionales y regionales dedicadas a la conservación de recursos genéticos de interés agrícola, así como promover el uso de los mismos para producir mejores variedades movilizando asistencia

técnica y financiera cuando sea necesaria (Esquinas Alcázar, 1981).

En el ámbito nacional, a partir de la década del '50 comienzan a vislumbrarse las ventajas para el gran cultivo de la utilización de híbridos comerciales en la región maicera núcleo, lo que inició un sostenido reemplazo de las variedades locales cultivadas por materiales mejorados, con la consiguiente disminución de la variabilidad genética disponible. Ante la necesidad de preservar el germoplasma se creó el Banco de Germoplasma de Maíz de la Estación Experimental Agropecuaria INTA Pergamino, en el año 1969 (Ferrer y col., 1991).

Bancos de germoplasma

Giacometti (1987) se refiere a los bancos de germoplasma como depósitos de genes representados por colecciones artificiales de una o más especies. Los bancos de germoplasma tienen por finalidad preservar la variabilidad genética existente de las especies mediante la conservación de la mayor cantidad de genes posibles (Crossa, 1988), disminuyendo o evitando alteraciones de la estructura genética del material conservado. El propósito es que los materiales almacenados se encuentren disponibles en tiempo y forma para los fitomejoradores e investigadores.

FAO/IPGRI en 1994 elaboraron normas para el funcionamiento de bancos de germoplasma de acuerdo con el tipo de colección de semillas que conservan así como de las exigencias diferenciales en cuanto a las condiciones de almacenamiento y manejo del germoplasma, según conserven colecciones activas o de base. Los bancos activos conservan las colecciones a corto- mediano plazo y son los responsables de efectuar las actividades antes mencionadas, mientras que los bancos base son esencialmente bancos de seguridad que conservan duplicados por períodos prolongados.

El Banco de Germoplasma de Maíz de INTA Pergamino actualmente integra la Red de Recursos Genéticos de INTA como banco activo, con responsabilidad institucional en maíz y otras especies. La red dispone, además, de un Banco

Base de seguridad que conserva duplicados de todas sus colecciones, así como las de los demás bancos que la integran (Clausen y col. (1995). En la Figura 1, se presenta la ubicación de los bancos y los cultivos que integran la Red de Recursos Genéticos de INTA.

Las principales funciones de los bancos de germoplasma son:

1. Incorporación de variabilidad genética
2. Conservación
3. Regeneración
4. Caracterización y evaluación
5. Documentación
6. Premejoramiento y utilización

1. Incorporación de variabilidad genética mediante colecta in situ y/o adquisición de germoplasma proveniente de otros bancos de germoplasma o centros de investigación públicos o privados del país y del exterior.

Esquinas Alcázar (1981) señala que la colecta debe realizarse en el momento adecuado a fin de obtener material en óptimas condiciones para su posterior conservación y estudio. De esa manera disminuye el riesgo de erosión genética por deterioro del germoplasma colectado. Giacometti (op cit.) destaca que en

las expediciones de colecta se deben obtener muestras del mayor tamaño posible, debiendo tenerse en cuenta el número de plantas a recolectarse en cada sitio, la distribución de dichas plantas para que sean representativas de la variabilidad genética de la población y el número de sitios a colectar dentro de un área determinada.

En el orden nacional la adquisición del germoplasma de maíz, por parte del INTA, se ha basado principalmente en la incorporación de germoplasma nativo proveniente de razas locales mediante giras de colecta en las regiones tradicionales de cultivo. La colecta sistemática comenzó en la década del '50 y se extendió, en una primera etapa, hasta 1968, abarcando la Región Maicera Central y algo del NOA. Posteriormente, entre 1977 y 1986 con la colaboración del IPGRI, se realizaron 10 giras que cubrieron casi todo el país, recolectándose 2115 entradas, (Ferrer y col., 1991; Solari y Gómez, 1997). En 1994, se realizó una nueva gira por el NOA (Solari y col., 1997). Actualmente la colección de germoplasma de maíz de INTA cuenta con más de 2500 entradas pertenecientes a razas locales, compuestos



RED DE BANCOS DE GERMOPLASMA

- Banco Base (Castelar, Bs. As.): Maíz, girasol, maní line, sorgo, soja, trigo, cebada, algodón, eucaliptos, papa, mandioca, batata, forrajerías.
- ◀ BA Balcarce (Bs. As.): Papa, forrajerías, Recursos Zoogenéticos
- * BA Pergamino (Bs. As.): Maíz, girasol, forrajerías
- ◆ BA Manfredi (Córdoba): Maní, sorgo, alfalfa
- BA Marcos Juárez (Córdoba): Trigo, soja
- ★ BA Sáenz Peña (Chaco): Algodón, forrajerías, forestales nativas
- * BA Anguil (La Pampa): Forrajerías
- ◆ BA La Consulta (Mendoza): Hortalizas, frutales de cerezo, olivo, vid
- * BA Alto Valle (Río Negro): Frutales de pepita, forrajerías región patagónica
- BA NOA (Salta): Peroto, tabaco, caña de azúcar, leguminosa de grano

Figura 1.

raciales y duplicados de materiales mejorados.

El Laboratorio Vavilov de la Cátedra de Botánica de la FAUBA dispone de una colección de maíces nativos de alrededor de 250 entradas procedentes de las provincias del NOA (Clausen y col., op cit) y del NEA.

2. Conservación del germoplasma incorporado a través de técnicas de acondicionamiento y manejo que permitan disponer del material almacenado en óptimas condiciones de viabilidad y cantidad adecuada por períodos prolongados, manteniendo su calidad y características originales previa a su incorporación. La conservación no es un fin en sí mismo sino un medio para la utilización de los recursos genéticos.

(FAO/IPGRI, op cit) destaca que las colecciones activas están constituidas por entradas (accesiones) inmediatamente disponibles para multiplicación y distribución a los usuarios. Por consiguiente, no es en las colecciones de base donde normalmente se consiguen las muestras de semillas suministradas a los usuarios, sino en las colecciones activas. Si bien los términos «colección base» y «colección activa» no hacen referencia a las condiciones en que se almacenan las semillas, las colecciones base se suelen mantener en las condiciones de almacenamiento a largo plazo. Señala, además, que no hay ninguna razón especial para no mantener también las colecciones activas en las condiciones establecidas para la conservación a largo plazo, pero dada la frecuencia con que suele accederse a dichas colecciones, a menudo se mantienen en las condiciones de almacenamiento a medio plazo. Las condiciones óptimas para la conservación a largo plazo de las semillas son temperaturas de -18° C o inferiores y alrededor del 5% de humedad de la semilla. Las condiciones de almacenamiento para las colecciones activas aceptan valores de hasta 10° C de temperatura y 8% de humedad de la semilla. Cabe destacar que las normas para bancos de genes añaden únicamente al almacenamiento de semillas de especies ortodoxas, como maíz, cuyas semillas pueden tolerar niveles de sequedad muy importantes y cuya longevidad mejora radicalmente cuando se reduce la humedad y/o la temperatura del lugar de almacenamiento de las semillas.

Se considera que la cantidad adecuada de semilla almacenada para mantener la estructura genética original de la población en especies alógamas, como el maíz, oscila entre 1.500 y 2.000 semillas viables para las colecciones de base (FAO/IPGRI op cit), mientras que en las colecciones activas dicha cantidad debe ser mayor debido al uso más frecuente del material.

Rosso y col. (2003) mencionan la utilización de ambientes naturales para conservación económica de semillas. El banco de germoplasma de INTA Pergamino implementó ensayos en Abra Pampa, en la Región de la Puna en Jujuy, con temperatura promedio anual de 10° C; y en las bases Jubany y Belgrano II en la Antártida Argentina, con temperaturas de -2° C y -18° C. La viabilidad final de la semilla se mantuvo similar a la inicial en las bases antárticas (90%), mientras que en Abra Pampa se redujo al 67% luego de 20 años. Las bases antárticas presentan condiciones similares de temperatura de almacenamiento a las de los Bancos Base, mientras que Abra Pampa es similar a los Bancos Activos.

3. La regeneración es una actividad fundamental para conservar la variabilidad alélica y genotípica disponible en los bancos de germoplasma. Las entradas deben ser incrementadas cuando la cantidad de semilla disponible es escasa y/o la calidad es inadecuada por presentar viabilidad inferior al 85% (Toll, op cit).

Para la regeneración se deben aplicar normas y procedimientos que garanticen la calidad de la semilla, de manera que el material a ser almacenado tenga elevada viabilidad, no presente enfermedades ni plagas y que represente la estructura genética del material que le dio origen, evitando la contaminación con genes extraños y disminuyendo, en la medida de lo posible, la pérdida de genes, sea por utilizarse cantidades insuficientes de plantas y/o por trabajar en ambientes inadecuados. En maíz se pueden utilizar diferentes métodos de polinización controlada (planta a planta, en cadena, mezcla de polen y lote aislado). Estos métodos difieren entre sí en cuanto a tamaños efectivos, y costos de regeneración de acuerdo con las exigencias de cada uno en personal, cuidados e insumos (Breeze, 1989).

Crossa y Venkovsky (1999) mencionan que el tamaño de la muestra a ser regenerada depende más de la frecuencia de los alelos que de su número. Diversos autores estudiaron los tamaños de muestras necesarios para mantener sus características genéticas. Los valores propuestos oscilan entre 100 y 500 semillas (Omolo y Russell, 1971; Hallauer y Miranda Filho, 1988; Crossa y col., 1992) dependiendo de la frecuencia de los alelos escasos.

Pantuso y col. (2001a y 2001b) han efectuado estudios para determinar el tamaño mínimo de muestra requerido para mantener la estructura genética en la regeneración de variedades locales de maíz, así como el método más adecuado de polinización. Se determinó que el tamaño mínimo oscila entre 40 y 60 mazorcas cosechadas según el método de polinización empleado. Mediante análisis de cromatogramas de zeínas por RP-HPLC se constató que el método de multiplicación en lote aislado es el que produjo un material multiplicado con la mayor semejanza genotípica con el material original y no se encontraron efectos debidos a los diferentes tamaños de muestra utilizados en el estudio.

4. Caracterización y evaluación del germoplasma almacenado a fin de diferenciarlo, determinar su estructura, conocer y estimar la variabilidad genética y su utilidad.

Para la caracterización se utilizan atributos cualitativos de alta heredabilidad no afectados por el ambiente, mientras que en la evaluación se miden características generalmente cuantitativas y más afectadas por el ambiente (rendimiento, resistencias a estrases biótico y abiótico, factores de calidad, etc.).

La caracterización y evaluación del material almacenado en un banco de germoplasma es fundamental, ya que permite conocer su composición genética, identificar caracteres útiles y facilitar su utilización por parte de los mejoradores, genetistas y demás usuarios. Históricamente, la información morfológica ha sido un insumo para estudios de sistemática, relación entre las especies y su evolución.

Las mencionadas actividades comienzan en el momento de la colecta con la recopilación de datos del sitio de origen y de la muestra colectada (datos de pasaporte) y puede

abrir aspectos agronómicos, morfológicos, bioquímicos, citológicos, moleculares. A los efectos se utilizan los descriptores, que son caracteres considerados importantes para describir un material determinado. A través de los descriptores se pueden diferenciar las entradas de una especie determinada entre sí, establecer relaciones entre características de varias entradas, y estimar la variación presente dentro de una colección determinada. Incluso permiten la detección de duplicados entre las entradas.

La identificación y caracterización de germoplasma de maíz se ha basado corrientemente en características morfológicas y fisiológicas. En la actualidad se están usando marcadores moleculares como complemento de esos descriptores porque son abundantes, independientes del efecto ambiental y genético y son apropiados para identificar cultivares en desarrollo temprano de las plantas. Entre los marcadores moleculares basados en técnicas de PCR, los microsatélites o SSR (Simple Sequence Repeats) han demostrado ser seguros, altamente informativos y una herramienta confiable para la caracterización de germoplasma (Schlatter y col. (2003).

En el Banco de Germoplasma de INTA Pergamino, la totalidad de las entradas de maíz poseen su respectiva caracterización y evaluación preliminar. Los datos fueron tomados sobre las mazorcas recolectadas *in situ* y en parcelas de evaluación sembradas, principalmente, en Pergamino. La nómina de los caracteres o descriptores utilizados son, básicamente, los mismos sugeridos por el IPGRI (1991). Como resultado de esas acciones los materiales fueron agrupados en 44 formas raciales definidas (Tabla 1).

En 1988, la Argentina se incorporó al Proyecto Latinoamericano de Maíz (LAMP) de evaluación agronómica e intercambio de germoplasma (LAMP, 1991) donde participaron 12 países de América, que fueron agrupados en áreas homólogas según similitud climática y altitudinal. En una primera etapa se evaluaron alrededor de 15.000 entradas y la Argentina participó con 334 poblaciones adaptadas a las condiciones de Pergamino, conformando un área homóloga con Chile, el Uruguay y los EE. UU. En sucesivas etapas de evaluación fue

Tabla 1. Razas locales de maíz en Argentina, su ubicación taxonómica y distribución geográfica. (Fuente: Ferrer, 1987; Ferrer y col. 1991 y Solari y Gómez 1997)

Convarietà	Raza Local	Distribución (provincia)*
<i>microsperma</i>		
	Avatí Pichinga	4,5,6,7
	Perlita	3,4,5,6,7,8,11,12,13,17,18,20
	Pisingallo	1,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,18,20
<i>mays</i>		
	Amargo	3,6,16
	Amarillo Ocho Hileras	1,14,15,16,17,18
	Blanco Ocho Hileras	1,14,16,17,18,19
	Calchaquí – Morocho Perla	1,3,4,6,7,8,9,10,11,12,13,14,16
	Camelia	3,4
	Cristalino Amarillo-Anaranjado	1,2,3,4,5,6,7,8,12,13,14,17
	Cristalino Amarillo	1,2,15,18,20
	Cristalino Blanco	1,2,14,15,18,19
	Cristalino Colorado	1,2,3,4,6,7,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19
	Chaucha Amarillo	8,10
	Chaucha Blanco	8,10,12
	Catete Oscuro	5
	Pericarlo Rojo	1,7,14,15
	Perla	5,7,8,9,10,11,12,13,16
	Socorro	10,12
<i>aorista</i>		
	Altiplano	8,9
	Amarillo de Ocho	8,9
	Canario de Formosa	3,5,6,7,8
	Colita	12
	Complejo Tropical	4,5,7,8,9,10,12,13
	Morochito	
	Tusón	3,4,6,7,8,9,10,11,13
	Venezolano	4,5,6,7,8,9,10,11
<i>dentiformis</i>		
	Cravo	5
	Dentado Blanco	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,18,19
	Dentato Amarillo	1,2,4,5,6,7,8,10,13,14,15,16,17
<i>amylacea</i>		
	Avatí Morotí	3,4,5,6,7,8,9,18
	Avatí Morotí Mitá	4,5
	Avatí Morotí Ti	3,4,5,14,16,17
	Azul	8,9
	Capia Amarillo	8,9
	Capia Blanco	8,9,10,12
	Capia Garrapata	8,9,10
	Capia Rosado	8,9,12
	Capia Variegado	8,9
	Culli	8,9
	Cuzco	8,9
	Negro	8
	Marrón	8,9
<i>saccharata</i>		
	Chulpi	9
	Dulce	1,7,14,15,16,17,18,19,20

* Código de provincias: 1 (Buenos Aires); 2 (Santa Fe); 3 (Entre Ríos); 4 (Corrientes); 5 (Misiones); 6 (Chaco); 7 (Formosa); 8 (Salta); 9 (Jujuy); 10 (Tucumán); 11 (Santiago del Estero); 12 (Catamarca); 13 (La Rioja); 14 (Córdoba); 15 (Mendoza); 16 (San Luis); 17 (La Pampa); 18 (Neuquén); 19 (Río Negro); 20 (Chubut).

seleccionado el germoplasma elite que alcanzó a 270 entradas, las que fueron evaluadas per se en los diferentes países, cruzadas por probadores locales e intercambiadas entre los países de una misma área homóloga. La Argentina seleccionó 20 entradas pertenecientes a las formas raciales Cristalino Colorado, Dentado Amarillo y Dentado Blanco, que junto a las selectas de Chile, los EE. UU. y el Uruguay, continuaron con el proceso de evaluación para ser incorporadas a los programas de mejoramiento (Salhuana y col., 1995, Alvarez Mejía y col., 1997, Salhuana y col., 1998). Durante el proceso de evaluación se detectaron poblaciones con excelente comportamiento agronómico y con rendimientos que superaron a las variedades comerciales utilizadas como testigo (Ferrer y col., 1991), algunas de las cuales fueron incorporadas al programa de mejoramiento genético del INTA.

Se han efectuado estudios para determinar la calidad industrial de las variedades locales nativas de la Argentina. En 1994 se inició la evaluación bioquímica de éstas para determinar, entre otros aspectos, la textura, contenido y tipo de almidón y amilosa, ácidos grasos y proteínas. Respecto de contenido de almidón se encontraron valores inusuales en determinadas razas locales (Seetharaman y col., 2002)

Mediante cromatografía líquida de alta performance (RP-HPLC) de una fracción de las proteínas del endosperma denominadas zeinas

se determinaron patrones raciales característicos (Ferrer y col., 1994) y se avanzó en el estudio de la caracterización y agrupamiento racial por método quimiométrico de las poblaciones de las razas locales que presentan elevada variabilidad genética (Robutti y col., 1997; Robutti y col., 2000).

En la determinación de otros parámetros de calidad tales como peso hectolítico, relación de molienda gruesos/finos, prueba de flotación, dureza NIR, dureza NIT, contenido de aceite, composición en ácido oleico y linoleico, porcentaje de proteínas, los mismos presentaron amplia variabilidad, resultando ser mayor a nivel interracial en algunos casos e intrarracial en otros. (PROCIM, 1999). En la Tabla 2 se presentan resultados de los parámetros mencionados.

5. Documentar la información resultante de la caracterización y evaluación, así como del manejo del germoplasma en base de datos computarizada.

En la Argentina se publicaron en 1979 y 1983 catálogos con información de pasaporte, caracterización y evaluación preliminar de 1.786 razas locales recolectadas entre 1977 y 1981 (Salhuana y col., 1979, Solari y col., 1983). Posteriormente se publicó un nuevo catálogo que incluye los datos de pasaporte, caracterización y evaluación agronómica de 1910 muestras de poblaciones originales de 43 razas (Solari y Gómez, op cit).

Tabla 2. Rango, promedio y coeficiente de variación de parámetros de calidad de poblaciones de maíz del BAP.

Parámetro	Rango	Promedio	coeficiente de variación %
NIR	5-696	420	39
FLO	0-100	41	93
G/F	0,45-7,31	3,61	39
PH	58-86	75,9	7
NIT	1,89-3,34	2,28	11
Proteína %	6,4-14,7	10,9	16
Aceite %	3,1-9,8	6,4	25
Oleico %	20,7-59,3	37,4	9
Linoleico %	12,4-59,6	47,9	11
Almidón %	58,91-79,36	70,44	5
Amilosa % (almidón)	8,66-33,30	30,80	7,5

Abreviaturas: dureza NIR (NIR); flotación (FLO); relación de molienda (G/F); peso hectolítico (PH); dureza NIT (NIT).

6. Premejoramiento y utilización del germoplasma: Resulta fundamental efectuar las tareas de adecuación del germoplasma y la información correspondiente para facilitar su utilización por parte de los fitomejoradores y demás usuarios.

Eyhérabide (2003) señala que el gran desafío de los próximos años es aumentar el área cultivada y la productividad con mínima degradación de los recursos ambientales y desarrollar genotipos aptos para nuevos usos industriales que reduzcan o reemplacen el uso de materias primas no renovables. A pesar de la existencia de gran variabilidad en la mayoría de las especies cultivadas, el aprovechamiento de la misma es escasa, el caso de maíz sólo el 4% de las razas están siendo aprovechadas y los híbridos en los EE.UU. incluyen el 3% de germoplasma exótico fundamentalmente de regiones templadas (Goodman, 1985).

En la Argentina se efectuaron numerosos estudios con razas locales para ser incorporadas a los programas de mejoramiento detectándose la presencia de poblaciones no mejoradas que superaron a las variedades utilizadas como testigos (Ferrer y col. 1991). Hourquescos y col. (2003) mencionan la utilización de variedades locales nativas de maíz para incorporar variabilidad genética en los programas de mejoramiento, las cuales normalmente no pueden ser utilizadas directamente por presentar ciertas desventajas entre las cuales citan la baja adaptación local. Esos autores evaluaron las variedades locales se por aptitud combinatoria con probadores divergentes, detectándose cruzamientos que alcanzaron o superaron el rendimiento de testigos comerciales.

Con el proyecto LAMP se incrementa la utilización de las variedades locales de maíz por parte de los programas de mejoramiento. Eyhérabide (op cit) destaca que dando continuidad al LAMP, 18 poblaciones locales fueron seleccionadas para ser incorporadas en el proyecto GEM (Germplasm Enhacement of Maize) un esfuerzo internacional en red, público y privado. Poblaciones de la raza Cristalino Colorado fueron cruzadas por probadores para determinar su aptitud combinatoria y luego ser clasificadas en diferentes grupos heteróticos a través de análisis multivariado (Eyhérabide y González, 1997).

Las razas locales se utilizan para detectar germoplasma nativo resistente a diversas enfermedades. Durante cuatro años se evaluaron poblaciones de diferentes razas y orígenes por su comportamiento frente a Mal de Río Cuarto, seleccionándose 20 poblaciones por presentar resistencia a la enfermedad, las que se incorporaron al programa de mejoramiento para dicha virosis (Presello y col., 1996). Presello, y col. (2003) efectuaron estudios de resistencia de razas locales de maíz de la Argentina y Canadá a *Fusarium graminearum* y *Fusarium verticillioides* causales de la podredumbre de espiga. Encontraron que las entradas de la raza Cristalino Colorado son más resistentes que las razas de endosperma blancos, independientemente de la zona de origen del material.

López y col. (1994 y 1995) evaluaron variedades locales de maíces nativos por sus características forrajeras para ser utilizadas como fuente de germoplasma para la obtención de híbridos de valor forrajero. López y col. (2003) analizaron la validez de la estimación de la distancia genética a través de caracteres de importancia forrajera para seleccionar cruzas con alta respuesta heterótica en variedades locales de maíz. Concluyeron que las estimaciones de distancia genética ayudarían a seleccionar accesiones potencialmente más promisorias y concentrar los esfuerzos en un menor número de cruzamientos.

Aulicino y col. (2003) estudiaron la producción de híbridos generados a partir de poblaciones no mejoradas con amplia base genética. Encontraron que los resultados no justifican la utilización de las poblaciones sin un trabajo previo de mejora que promueva el aprovechamiento de la heterosis.

Bibliografía

- Abiasso, N. y Camara Hernández, J. 1974. Los maíces autóctonos de la Quebrada de Humahuaca (Jujuy – Argentina). Sus niveles nitrogenados y su composición de aminoácidos. Revista de la Facultad de Agronomía (3er. época) T: L (1.2); 25 p. La Plata. R. A.
- Alvarez Mejía L. M.; Ferrer, M. E. y Eyhérabide, G. H. 1997. Evaluación por aptitud combinatoria en tres poblaciones no mejoradas de maíz. Tesis para optar al grado de Magister Scientiae. Abril 1997. Pergamino, Argentina.
- Aulicino, M. B; Battel, L.; Caceres, P y Bertoia, L. 2003. Caracterización de poblaciones argentinas

- de maíz flint. IV Simposio de Recursos Genéticos para América Latina y el Caribe. Noviembre de 2003. Mar del Plata. P: 95
- Brandolini, A. 1970. Razze Europee di Maiz. Maydica XV (1-2): 1-27.
- Breese, E.L. 1989. Regeneration and multiplication of germplasm resources in seed genebanks: the scientific background. IBPGR. Roma. pp.69.
- Brieger, F. G.; Gurgel, J. T. A; Paterniani, E.; Blumenschein, A. and Alleoni, M.R. 1958. Races of maize in Brasil and Other Eastern South American Countries. Publication 593. National Academy of Science. National Research Council. Washington, D.C. 283 p.
- Camara Hernández, J. y Miante Alzogaray, A. M. 2003. Caracterización y clasificación, en razas, de maíces nativos de la provincia de Misiones, Argentina. IV Simposio de Recursos Genéticos para América Latina y el Caribe. Noviembre de 2003. Mar del Plata. P: 99.
- CIMMYT/IBPGR. 1991. Descriptores de maíz. México- Roma.,
- Clausen, A. M., Ferrer, M. E., Gómez S., Tilleria J. 1995. Informe de la República Argentina. Cuarta Conferencia Internacional Sobre Recursos Fitogenéticos. CIPRF. Buenos Aires. 59 pp.
- Clausen, A. M. y Ferrer, M. E 1999. «Conservación, evaluación y uso de recursos genéticos nativos de maíz y papa». XXIX Congreso Argentino de Genética. Septiembre de 1999. Rosario. Santa Fe. P 357.
- Crossa, J. 1988. Determination of size for genetic conservation of outbreeding crops. CIMMYT. México 46 pp.
- Crossa, J.; Jewell, D. C.; Deutsch, J. A. and Taba, S. 1992. Gene action and the bottleneck effect in relation to sample size for maintenance of collections. Theoretical and Applied Genetics, 89: 936-942.
- Crossa, J. y Vencovsky, R. 1999. Sample size and variance effective population size for genetic resources conservation. Plant Genetic Resources Newsletter. Nº 119. 15-29.
- Esquinias Alcazar, J. 1981. Los Recursos Fitogenéticos. Una inversión segura para el futuro. CIRF. INIA. Madrid. 44 p.
- Esquinias Alcazar, J. 1987. Recursos Genéticos Vegetales: Bases para la seguridad alimentaria. Ceres 118, vol 20. Pag. 39 – 45.
- Eyhérabide, G. H. 2003. Utilización de los recursos genéticos en el mejoramiento vegetal. IV Simposio de Recursos Genéticos para América Latina y el Caribe. Noviembre de 2003. Mar del Plata P: 18
- Eyhérabide, G. H. y González, A. S. 1997. Interactions between testers and argentine maize landraces. Maydica 42: 29-38.
- FAO/IPGRI. 1994. Normas para el funcionamiento de Bancos de Germoplasma. Roma. Italia.
- FAO, 1998. The state of the world's plant genetic resources. Rome. Italy.
- FAO, 2002. Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura. Roma. Italia.
- Ferrer, M. 1987. «Evaluación y agrupamiento de poblaciones de maíz de Zonas Altas del N.O.A., aplicando diferentes metodologías taxonómicas, para la integración de compuestos». Trabajo de tesis para optar al Grado de Magíster Scientiae. INTA Pergamino - U.N. Rosario. 144 p.
- Ferrer, M. 1998. «Conservación e Intercambio de los Recursos Fitogenéticos en Argentina». XVI Seminario Panamericano de Semillas. Buenos Aires. Octubre de 1998.
- Ferrer, M. E.; Safont Lis, J. y Solari, L. R. 1991. Banco Activo de Germoplasma de Maíz de Pergamino. II Simposio Latinoamericano de Recursos Genéticos de Especies Hortícolas. Mar del Plata.
- Ferrer, M. E.; Hourquescos, M. J.; Borras, F. S. y Solari, L. R. 1994. Caracterización de germoplasma de maíz a través de RP-HPLC. VI Congreso Latinoamericano de Botánica. Mar del Plata.
- Ferrer M. E. y Clausen, A. M. 2001. Variabilidad genética en los recursos vegetales de importancia para la agricultura del cono Sur. P: 43 - 57. En Estrategia en recursos fitogenéticos para los países del cono Sur. (Documento). Ana Berretta y Mercedes Rivas (Coord.). PROCISUR. Montevideo, Uruguay .142 pp.
- Frankel, O. H and Bennett, E. (1970). Genetic Resources. Pp 7-17. En Genetic Resources in Plant: Their Exploration and Conservation. Frankel, O. H and Bennett, E. (Eds) IBP Handbook N 11. Blackwell Scientific Publications. Oxford & Edinburgh. 554 p.
- Giacometti, D. 1987. Conservación de Recursos Fitogenéticos. Anales Simposio de Recursos Fitogenéticos. Valdivia, UACH – IBPGR, p: 167- 173.
- Goodman, M.M. 1985. Use of tropical and subtropical maize and teosinte germplasm in temperate conditions. In Breeding Strategies for Maize Production Improvement in the Tropics. Ed. A. Brandolini and F. Salamini, 93-104. Subtropical and Tropical Agriculture Report and Monograph Series Nº 100. Florence, Italy.
- Grobman, A.; Salhuana, W. y Sevilla, R. en colaboración con Mangelsdorf P. 1961. Races of Maize in Perú. Publication 915. National Academy of Sciences National Resesearch Council. Washington. D.C. 374 p.
- Hallauer, A. R. and Miranda Filho, J. B. 1988. Quantitative genetics in maize breeding. Ames. Iowa State University.
- Hanelt, P. 2001. Mansfeld's Encyclopedia of Agricultural and Horticultural Crops. (Eds) Institute of Pant Genetics and Crop Plant Research. 3645 p. 191 fig. Geb. ISBN: 3-540-41017-1.
- Harlan, J. R. 1992. Space, Time and Variation. (Chap. 7). Pp: 137-155. En Crops & Man. J. R. Harlan. American Society of Agronomy. – Crop Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA.
- Hernández, X. y Alanis Flores, G. 1970. Estudio morfológico de cinco nuevas razas de maíz de la Sierra madre Occidental de México: Implicaciones Filogenéticas y fitogeográficas. Agrociencias 5 (1): 3-30.
- Holle, M. 1987. Recursos Genéticos Vegetales de América del Sur. Pasado, Presente y Futuro. Anales Simposio Recursos Fitogenéticos, Valdivia UACH – IBPGR. Pag. 7-19.
- Hourquescos, M. J.; Eyhérabide, G. H. y Ferrer, M. E. 2003. Utilización de poblaciones locales en premejoramiento de maíz. IV Simposio de Recursos Genéticos para América Latina y el Caribe. Noviembre de 2003. Mar del Plata. P: 147
- IPBGR. 1991. Descriptors for Maice. CIMMYT Mexico City/IBPGR, Rome. 88 pp.
- LAMP. 1991. Catálogo del germoplasma de maíz. Tomo 1 y 2. ARS Publicación Especial, Beltsville.
- López C., Burak R. y Bertoia L. 1994. Aptitud forrajera en poblaciones de maíz: Análisis dialélico. Congreso Argentino de Genética.
- López C., Bertoia L. y Burak R.1995. Análisis de la heterosis en la producción forrajera de poblaciones nativas de maíz. Congreso Argentino de Genética
- López C. G., Bertoia L. M.; Burak R. y Boca R. T. 2003. Divergencia genética y su relación con la heterosis en caracteres de importancia forrajera

- en poblaciones de maíz. IV Simposio de Recursos Genéticos para América Latina y el Caribe. Noviembre de 2003. Mar del Plata. P: 108.
- Luna, J. T.; Kugler, W. F.; Godoy, E. F. y Mazzoni, L. E. 1964. Maíz. En Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Dir.: Parodi, L.R. Vol. 111. Primera parte: 553 – 589. Buenos Aires.
- Luna, J. T. y Safont Lis, J. 1978. El maíz en la Argentina: vulnerabilidad y recursos genéticos. Ciencia e Investigación 34 (3-4-5-6): 83-89.
- Mangelsdorf, P.C. 1974. Com: Its origin. Evolution and improvement. The Belknap Press of Harvard University. Cambridge. Massachusetts. 262 p.
- Muñoz., R.; 2004. La expansión de la soja bio tecnológicamente modificada en la Argentina: Aspectos económicos y reflexiones. VII World soybean research. Foz do Iguazú, PR. Brasil. February, 2004. Doc. 228.
- Omolo, E. and Rusell, W. 1971. Genetic effects of population size in the reproduction of two heterogeneous maize populations. Iowa State Journal of Science. V 45, p: 499-512.
- Pantuso, F.; Ferrer, M.; Suarez, E. y Eyhérabide, G. 2001a. Evaluación de métodos de regeneración de maíz para su conservación en bancos de germoplasma. VII Congreso Nacional de Maíz, 7 - 9 de Noviembre de 2001. Pergamino, 1 - CD.
- Pantuso, F.; Ferrer, M.; Di Martino, A.; Robutti, J.; Borrás, F.; Suarez, E. y Eyhérabide, G. 2001b. Determinación del método más adecuado de regeneración de poblaciones de maíz por RP-HPLC. VII Congreso Nacional de Maíz, 7 - 9 de Noviembre de 2001. Pergamino, Argentina. 1 - CD.
- Parodi, L. R. 1959. Descripción de las Plantas Cultivadas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Vol, 1. Edit. ACME. Buenos Aires. 931 p.
- Parodi. L. R. 1966. La Agricultura Aborigen Argentina. Editorial universitaria de Buenos Aires. 48 p.
- Plfüger L. and Schlatter, A. R. 1996. Isozyme variation in some races of maize from Argentina. Genetic Resources and Crop Evolution. Vol. 43 (40):357-362).
- Presello, D. A.; Botta, G.; Iglesias, J.; Reid, L. M. y Mather, D. E. 2003. Resistencia de germoplasma argentino de maíz a aislamientos argentinos y canadienses de Fusarium graminearum y Fusarium verticillioides causales de podredumbre de espiga. IV Simposio de Recursos Genéticos para América Latina y el Caribe. Noviembre de 2003. Mar del Plata. P: 125
- Presello, D.; Ferrer, M.; Solari, L. y Celiz A. 1996. Resistencia al virus del Mal de Río Cuarto en variedades locales argentinas de maíz. RIA, 27 (1): 19 a 26.
- PROCIM, 1999. Caracterización y Desarrollo de Tipos Especiales de Germoplasma de Maíz para Uso Industrial. Informe Final Proyecto INTA 80:017. EEA Pergamino.
- Ramirez, E.R.; Timothy, D.M.; Diaz, B.E. and Grant, U.J. in collaboration with Nicholson, G.E.; Anderson, C.E. and Brown, W.L. 1960. Races of maize in Bolivia. National Academy of Science. Nacional Research Council. Washington. D.C. Publ. 474.
- Ramella, R. 1948. Investigación maicera en la provincia de Jujuy. Granos N° 8 y 9: 3-41.
- Rivas, M. 2001. Conservación in situ de los recursos fitogenéticos. P: 65- 78. En Estrategia en recursos fitogenéticos para los países del cono Sur. (Documento). Ana Berretta y Mercedes Rivas (Coord.). PROCISUR. Montevideo, Uruguay.142 pp.
- Robutti, J. L.; Borrás, F. S. y Ferrer M. E. 1997. Agrupamiento racial del maíz por quimiometría de RP-HPLC de zeínas. VI Congreso Argentino de Maíz. Pergamino.
- Robutti, J. L.; Borrás, F. S.; Ferrer, M. E.; Percibaldi, N.M. y Knutson, C. 1999. Evaluación de Factores de Calidad de Uso en Razas de Maíz Argentino. XVIII Reunión Latinoamericana de Maíz. Sete Lagoas, 22- 27 Agosto 1999.
- Robutti, J. L.; Borrás F. S.; Ferrer M. E. and Bietz, G. 2000. «Grouping and Identification of Argentine Maize Races by Chemometric Analisys of Zein RP-HPLC Data». Cereal Chemistry. 77 (2):91-95 (2000).
- Rosso, B. S; Botta, G. y Ferrer, M. 2003. Conservación de semillas en ambientes naturales. IV Simposio de Recursos Genéticos para América Latina y el Caribe. Noviembre de 2003. Mar del Plata. P: 88
- Safont Lis, J. 1971. Comparación de nudos cromosómicos entre razas de maíz pampeanas y del Caribe. Problemas Genéticos vinculados al Mejoramiento Animal y Vegetal. Inf. Tec. N° 105, pp: 20-23. INTA – EERA Pergamino.
- Salhuana, W.; Frutos, E.; Solari, L.; Safont Lis, J., Marta L.; Luna, J.; Van Becelaere, R. y Damilano, A. 1979. Catálogo de recursos genéticos de maíz. INTA EERA Pergamino.
- Salhuana, W. y Sevilla, R. (eds.). 1995. Latin American Maize Project (LAMP), Stage 4 results from homologous areas 1 and 5. ARS Special Publication, Beltsville.
- Salhuana, W.; Pollak, L.; Ferrer, M.; Paratori, O. y Vivo, G. 1998. Breeding Potential of Maize Accessions from Argentina, Chile, USA and Uruguay. Crop Science 38:866-872 (1998).
- Schlatter, A.R.; Giovagnoli, N. and Eyhérabide, G. 2003. Maize germplasm characterization using microsatellites – DNA markers. IV Simposio de Recursos Genéticos para América Latina y el Caribe. Noviembre de 2003. Mar del Plata P: 130.
- Seetharaman, K.; Tziotis, A.; Borrás, F.; White, P.; Ferrer, M.; y Robutti, J. Thermal and Functional Characterization of Starch from Argentinean Corn. 2001. Cereal Chemistry 78(4):379-386 (2001).
- Solari L., Safont Lis, J.; Frutos, E. y Maiola C. 1983. Catálogo de recursos genéticos de maíz de Sudamérica. INTA, EERA Pergamino.
- Solari L., R. y Gómez, S. G. 1997. Catálogo de germoplasma de maíz – Argentina. Istituto Agronomico per l'Oltremare, ed. Firenze (Italy) 303 pp.
- Solari, L.; Grossi, C. y Neumann, R. 1997. Recolección de maíces indígenas en el norteño argentino. Primer Taller Internacional de Recursos Fitogenéticos del Noroeste Argentino. Salta.
- Toll, J. 1996. Genebank management. Dialogo XLV, IICA, Uruguay, pag. 143-147.
- Wellhausen, E.J.; Roberts, L.M.; Hernández, X.E. en colaboración con Mangelsdorf, P.C. 1952. Races of maize in México. The Bussey Inst. Harvard Univ. 223 p.
- Zelener, N. 1998. Pautas de manejo del Banco Base y su relación con los Bancos Activos. Seminario: Los Recursos Fitogenéticos en la Argentina. P: 13 – 16. INTA Pergamino. 111pp.
- Zohari, D. 1970. Centres of Diversity and Centres of Origin. Pp: 33 – 42. En Genetic Resources in Plant: Their Exploration and Conservation. Frankel, O.H and Bennett, E. (Eds) IBP Handbook N 11. Blackwell Scientific Publications. Oxford & Edinburgh. 554 p.

6. ENFERMEDADES FÚNGICAS, BACTERIANAS Y ABIÓTICAS DEL MAÍZ

Grisela Botta⁽¹⁾ † y Mirian Gonzalez⁽²⁾

**(1) Estación Experimental Agropecuaria INTA
Pergamino;**

**(2) Facultad de Ciencias Agrarias-Universidad
Nacional de Rosario**

Índice

Concepto de enfermedad	127
Hospedante	127
Patógeno	127
Ambiente	128
Diagnóstico	128
Enfermedades causadas por hongos en el cultivo de maíz	130
<i>Podredumbre de semillas, marchitamiento de plántulas y damping off.</i>	130
<i>Podredumbre de raíces.</i>	131
<i>Podredumbre basal del tallo. Fusarium graminearum (Gibberella zae), Macrohomina phaseoli, Diplodia maydis</i>	132
<i>Antracnosis - Colletotrichum graminicola</i>	133
<i>Podredumbre de la espiga - Diplodia maydis, Fusarium graminearum (Gibberella zae), Fusarium verticilloides.</i>	133
Tizones de la hoja	133
<i>Tizón sureño. - Helminthosporium maydis-Bipolaris maydis</i> (anamorfo); <i>Cochliobolus heterostrophus</i> (teleomorfo)	138
<i>Tizón del norte - Helminthosporium turicum-Exserohilum turicum</i> (anamorfo); <i>Setosphaeria turcica</i> (teleomorfo)	139
<i>Antracnosis - Colletotrichum graminicola</i>	139

Otras enfermedades fúngicas	140
<i>Mancha gris de la hoja - Cercospora zea maydis</i>	140
<i>Mancha en ojo - Kabatiella zeae</i>	141
<i>Mancha marrón - Physoderma maydis</i>	141
<i>Mancha de la hoja por Phyllosticta - Phyllosticta maydis</i>	141
<i>Mildius panoja loca (crazy top) - Sclerospora macrospora</i>	142
<i>Roya común - Puccinia sorghi</i>	142
<i>Roya del sur - Puccinia polysora</i>	143
<i>Carbón común - Ustilago maydis</i>	143
Enfermedades causadas por bacterias	144
<i>Marchitamiento bacteriano o enfermedad de Stewart</i>	
<i>Erwinia stewartii</i>	144
Enfermedades abióticas o no infecciosas	145
<i>Enfermedades debidas a causas genéticas</i>	145
<i>Enfermedades debidas a estímulos externos</i>	145
<i>Deficiencias de nutrientes</i>	146
<i>Daño por herbicidas</i>	148
Bibliografía	150

Concepto de enfermedad

Podemos definir como enfermedad a toda alteración morfológica o fisiológica de la planta que lleva aparejado un daño en sus partes o en sus productos y que tiene incidencia económica. También se puede enunciar como enfermedad a toda alteración detrimental del normal desarrollo fisiológico y bioquímico de la planta. Una planta llega a estar enferma por un proceso patológico dinámico, donde se produce una progresión de cambios fisiológicos y morfológicos que tienen lugar en un determinado período. Las diferentes patologías producen pérdidas tanto en el rendimiento como en la calidad comercial. Afectan semillas, frutos, hojas, raíces que son utilizadas para la alimentación humana y animal y, en el caso de plantas ornamentales, alteran la calidad comercial de flores y hojas.

Las enfermedades pueden ser originadas por agentes bióticos o abióticos, así se las puede dividir en enfermedades infecciosas y no infecciosas.

Las enfermedades infecciosas son producidas por diferentes patógenos como hongos, bacterias y virus. Para que se produzca una enfermedad debe establecerse una relación de parasitismo entre el patógeno y la planta, facilitada por condiciones del ambiente favorables al desarrollo del patógeno. Así se habla del establecimiento de un patosistema que está constituido por tres componentes principales: el hospedante, el patógeno y el ambiente, a los cuales se agrega el tiempo cronológico en el que se establece esta relación.

Entre los agentes abióticos se pueden citar, entre otros, a: las temperaturas extremas, la relación oxígeno desfavorable, relación humedad-suelo desfavorable, la excesiva luminosidad, el granizo, el viento, el exceso o déficit de minerales y la toxicidad de productos químicos. Estos agentes, actuando en forma individual o conjunta, provocan alteraciones que pueden occasionar pérdidas de relevancia.

Hospedante

La susceptibilidad del hospedante es, a menudo, el factor determinante en el desarrollo de la enfermedad. La susceptibilidad implica la

falta de impedimentos por parte del hospedante para el establecimiento de una interacción con el patógeno. La resistencia se contrapone a la susceptibilidad, y se refiere a la habilidad del hospedante para suprimir o retardar la actividad del patógeno. Sin duda, hay tanto condiciones del ambiente como de la misma planta, por ejemplo su edad, que hacen que la misma sea más vulnerable al ataque de los patógenos, a lo que llamamos predisposición.

El modo de expresar la resistencia del hospedante desde el punto de vista cualitativo, se basa en los diferentes tipos de lesión, el número de lesiones, las diferencias en la reproducción del patógeno y la producción de fitoalexinas por parte del hospedante cuando es colonizado por el patógeno. Es así que un hospedante es considerado más resistente que otra planta hospedante cuando muestra pocas lesiones, retarda la reproducción del patógeno, no se ve afectado por las patotoxinas y produce fitoalexinas.

Patógeno

Un patógeno es un agente capaz de producir una enfermedad infecciosa. Los patógenos que más comúnmente son agentes causales de enfermedades de las plantas son: hongos, bacterias, virus, viroides, nematodos y plantas parásitas.

El tipo de síntoma o alteración visible producida por el patógeno puede indicar el tipo de patógeno que está involucrado en la relación. Signo es toda manifestación externa del patógeno. El conjunto de síntomas y signos constituyen el síndrome de la enfermedad que posee un importante valor diagnóstico.

Los síntomas de las enfermedades producidas por hongos son variables, generalmente están relacionados con marchitamientos, manchas de hojas, cancros, amarillamientos y podredumbres. En muchos casos los hongos producen estructuras como parte de su crecimiento, las que constituyen el signo de la enfermedad.

Las bacterias producen síntomas como lesiones húmedas, podredumbres, marchitamientos, cancros, hiperplasias y formación de agallas.

Los mosaicos, malformaciones, enanismos, amarillamientos y presencia de excesiva ramificación están asociados a los virus.

Las plantas atacadas por nematodos muestran síntomas de enanismo, marchitamiento, debilidad y agallas en las raíces.

Para reducir el impacto nocivo causado por las enfermedades se aplican diferentes métodos de manejo que pueden ser químicos, culturales o biológicos, aunque muchas veces los problemas no se pueden resolver aplicando un solo método y requieren del manejo integrado de enfermedades.

Ambiente

El ambiente es un factor importantísimo para el desarrollo de la enfermedad. La planta está expuesta al ambiente aéreo y también al ambiente del suelo. Se deben considerar aquí las limitaciones impuestas por el clima, el ambiente antes y durante el desarrollo de la enfermedad y el ambiente durante el año. El clima constituye una barrera para la dispersión del patógeno de una región a otra. Así, en los EE.UU., el Tizón de la Hoja del Norte es más común en áreas húmedas con temperaturas moderadas. La roya común ocurre en la mayoría de las regiones en las que se cultiva maíz, mientras que la roya del sur generalmente está restringida a zonas de climas cálidos.

Las lluvias, temperaturas, heladas, vientos, la presencia de insectos y la humedad pueden tener un efecto pronunciado para el comienzo y desarrollo de la enfermedad. Las esporas de muchos hongos requieren agua libre y temperaturas favorables para su germinación y penetración en la planta de maíz. Las heladas y el daño por el viento provocan heridas en los tejidos a través de las cuales penetran bacterias, mientras que en ciertos casos los insectos actúan como vectores de virus cuando se alimentan de los tejidos de las plantas.

La fertilidad, el drenaje y el pH del suelo, las labranzas y la secuencia de cultivos pueden tener un efecto indirecto en el desarrollo de las enfermedades. Las plantas que crecen en condiciones subóptimas de fertilidad, drenaje, aereación, por ejemplo, están más estresadas que aquellas que crecen en condiciones óptimas

y por lo tanto más predispostas a la infección. Las prácticas de cultivo y las rotaciones tienen influencia en la cantidad de inóculo disponible de una estación a otra del cultivo. La labranza reducida y el monocultivo de maíz favorecen la posibilidad de que muchos patógenos se establezcan y se incrementen sus niveles de inóculo a través de los años.

El maíz y los agentes bióticos causantes de enfermedades han coevolucionado a través del tiempo, por lo que es lógico asumir que aquellos ambientes apropiados para el crecimiento del maíz también favorecen a los patógenos que pueden atacarlo.

Diagnóstico

Para efectuar un correcto manejo de las enfermedades es importante, en primer lugar, realizar un diagnóstico correcto del problema. Antes de aplicar las medidas de manejo es necesario determinar la causa del problema: un diagnóstico seguro requiere la correcta identificación del agente causal.

Los síntomas (expresión visible de la enfermedad) no siempre ofrecen un diagnóstico seguro de la enfermedad, ya que agentes diferentes pueden producir síntomas similares, pero los síntomas junto a otras evidencias y unidos a la experiencia pueden ofrecer un diagnóstico satisfactorio.

La observación de los síntomas y signos suelen ser insuficientes para realizar el diagnóstico y se requieren, por lo tanto, técnicas de laboratorio para la identificación del agente causal. Debido a la naturaleza microscópica de los organismos que causan las enfermedades de las plantas, muchos diagnósticos, sobre todo aquellos de campo, se basan en la reacción de la planta más que en la presencia e identificación del organismo causal.

Para efectuar un diagnóstico es lógico y conveniente seguir una serie de pasos:

- 1.- Identificar la planta afectada.
- 2.1. Examinar cuidadosamente el área afectada por el problema, sea en el invernáculo o en el campo, definir los patrones de distribución, indicar las condiciones climáticas, los factores de suelo, la presencia de productos químicos.
- 2.2. Observar si es una sola especie la afectada o son varias especies no relacionadas

que también están afectadas. Si se da el último de los casos, probablemente no se trate de una enfermedad parasítica sino fisiogénica.

2.3. Observar si todas las plantas en el campo están afectadas. Las enfermedades parasíticas progresan con el tiempo y raramente afectan al 100% de las plantas, sino que generalmente se presentan en bajos niveles (menos del 10%). Cuando el problema afecta a todas o a la mayoría de las plantas, el problema es debido a condiciones de suelo, adversidades climáticas, productos químicos tóxicos o prácticas culturales desfavorables.

2.4. Observar cómo se desarrolla la enfermedad: si aparece repentinamente puede sospecharse de factores climáticos como una helada o la aplicación de productos químicos. Si, por el contrario, comienza en un punto y se dispersa lentamente en incidencia (porcentaje de individuos atacados) y en severidad (porcentaje de tejido u órgano afectado), es probable que un factor biótico sea el responsable del problema.

2.5. Registrar las condiciones ambientales que preceden la aparición de la enfermedad.

2.6. Registrar los tratamientos realizados (herbicidas, fertilizantes, desecantes).

3.- Determinar la apariencia de la «típica» planta enferma, no basándose en los síntomas tempranos o cuando la planta está tan deteriorada que los organismos que producen infecciones secundarias enmascaran el agente causal de la enfermedad. Lo ideal es observar los síntomas desde el comienzo hasta el final del proceso. Tomar en cuenta la parte afectada de la planta, comparando la planta enferma «típica» con la planta sana o normal.

4.- Determinar los síntomas primarios del problema.

5.- Determinar los signos de la enfermedad.

6.- Aislar e identificar al agente causal.

Muchas veces los síntomas y signos no son característicos para determinar la causa de la enfermedad; por ello son necesarias técnicas de laboratorio para efectuar los aislamientos, las cuales son específicas para el organismo que se trate, sea hongo, bacteria, virus o nematodo.

La enfermedad es un proceso dinámico que resulta de la interacción entre un hospedante

susceptible, un agente causal virulento y un ambiente favorable para su desarrollo. Este concepto constituye la base del principio del control de la enfermedad, donde la longitud del tiempo durante el cual tiene lugar esta interrelación es fundamental para el desarrollo de la misma.

Los cuatro principios básicos para el control involucran: exclusión, erradicación, protección y resistencia. La tendencia actual es reducir los daños causados por las enfermedades realizando un correcto manejo de las mismas.

El uso de cultivares resistentes es el método más adecuado para el manejo de las enfermedades. En muchos casos no se cuenta con materiales suficientemente resistentes a enfermedades importantes. En consecuencia, el manejo integrado es el camino correcto que incluye, además de la resistencia genética, al control químico, al control biológico y las prácticas culturales.

Si bien el maíz es considerado un cultivo relativamente sano, es raro que se desarrolle en ausencia de enfermedades que alteran el desarrollo normal de la planta y traen como consecuencia pérdidas de rendimiento. Dichas pérdidas son difíciles de medir, ya que están asociadas a otros factores como fertilidad de suelo, condiciones ambientales, genética de los híbridos, rendimiento potencial, presencia de plagas y malezas, entre otros. Las pérdidas más importantes causadas por enfermedades en cualquier cultivo son, sin duda, aquellas que ocurren anualmente con muy poca variación y cuyo efecto sobre el cultivo no se reconoce.

Se estima que en los Estados Unidos las pérdidas causadas por las enfermedades se hallan en el orden del 2 al 15% por año. Durante el año 1970, la epidemia causada por el Tizón de la Hoja del Sur produjo la pérdida del 20% del cultivo (White,1999). En 1993, las pérdidas producidas por la roya común en maíz dulce fueron del 50% (Pataky y col., 1993) y en 1988 se determinaron pérdidas del orden del 21% para *Erwinia stewartii* (Pataky y col.,1988)

En la Argentina, muchos de los patógenos son endémicos de la zona maicera y se presentan cada año con distinto grado de severidad, dependiendo del cultivar, las condiciones ambientales y la forma de manejo del cultivo. En

la campaña agrícola 1996/97, más de 300.000 has del cinturón maicero fueron afectadas por el virus del Mal de Río Cuarto, ocasionando pérdidas estimadas en alrededor de U\$S 120.000.000 (Lenardon y col., 1998); la roya común en los años 1997 y 1999 alcanzó niveles de severidad preocupantes (González y col., 1997,1999). Así también deben considerarse los efectos de los patógenos presentes en la espiga (en su mayoría productores de micotoxinas) sobre la calidad de los granos.

Enfermedades causadas por hongos en el cultivo de maíz

Los hongos constituyen un grupo diverso de organismos eucarióticos que obtienen nutrientes por absorción de materia orgánica. Tienen núcleo y pared celular, que generalmente contiene celulosa o quitina. El cuerpo del hongo puede ser un micelio, constituido por hifas o bien un plasmodio, una masa multinucleada de protoplasma móvil.

Las estructuras producidas por el hongo varían en tamaño, desde células microscópicas a cuerpos fructíferos grandes. Muchas de estas estructuras especializadas están asociadas con el estado reproductivo sexual (teleomorfo), o el estado reproductivo asexual (anamorfo). Muchos hongos se reproducen por medio de esporas, las que presentan una gran variedad de formas y tamaños entre los hongos. Las esporas asexuales se producen mediante divisiones mitóticas del núcleo, y por lo tanto son genéticamente idénticas al organismo que las producen. Las esporas sexuales se producen ante condiciones adversas, y resultan de la recombinación genética que ocurre en la meiosis. Ello provee un mecanismo de incremento de la diversidad genética. Las esporas sexuales cumplen la función de dispersión y sobrevivencia. Muchos hongos producen sólo esporas sexuales; de otros, sólo se ha identificado el estado asexual, y muchos poseen ambos estados de reproducción.

La mayor parte de las enfermedades de las plantas son causadas por hongos. De las 100.000 especies de hongos descriptas, 8.000 son patógenas para las plantas. Los hongos pueden ser parásitos o saprófitos, algunos pueden vivir de una u otra forma dependiendo de las condiciones de ambiente y otros son parásitos obligados, requiriendo tejido vivo.

Los hongos pueden atacar todas las partes de la planta y causar una amplia variedad de síntomas, desde podredumbre de raíces y manchas en hojas, hasta marchitamientos y enanismos. El método y sitio de infección están muy relacionados con la forma de diseminación. Los hongos de suelo son diseminados por el movimiento del suelo o por el rastrojo de plantas infectadas; en cambio los que atacan la parte aérea son diseminados por las corrientes de aire, la salpicadura de las lluvias o los insectos. Muchos hongos son diseminados por semillas infectadas u otros tejidos.

Podredumbre de semillas, Marchitamiento de plántulas y “damping off.”

Varias especies de hongos y bacterias están asociados a este tipo de problemas. Por un lado están los patógenos que lleva la semilla y por otro, los que están presentes en el suelo en el cual se siembra dicha semilla.

Los hongos que están asociados a la semilla son comúnmente aquellos que producen la podredumbre de la espiga, y pertenecen a los géneros *Fusarium*, *Penicillium* spp., *Aspergillus* spp., *Nigrospora* spp., y *Rhizoctonia* spp. De los patógenos que se encuentran en el suelo, el más común es *Pythium* spp.; otros incluyen hongos de los géneros *Fusarium*, *Penicillium* y *Aspergillus*.



Foto 1. Hongos asociados a la Podredumbre de semillas, Marchitamiento de plántulas y Damping off. Géneros *Fusarium*, *Penicillium* y *Aspergillus*.

Podredumbre de raíces.

Los agentes causales de las podredumbres de raíces involucran un complejo de organismos que comprende hongos, bacterias, nematodos e insectos. El grupo de hongos que se desarrollan en las raíces depende del estado de crecimiento de la planta, de las condiciones ambientales, del genotipo y del manejo del cultivo. También los hongos varían en su capacidad para colonizar las raíces en función de las características de los suelos en que se desarrollan.

Debido al ambiente complejo en que se desarrollan, los estudios de patogenicidad son muy difíciles de interpretar. Por ejemplo, la inoculación de plantas bajo condiciones de estrés, o la introducción de hongos en suelos esterilizados donde no compiten con otros organismos, hace que las plantas puedan manifestar niveles de severidad de las podredumbres que no son los que normalmente se manifiestan en el campo. Los géneros más comunes son *Pythium*, *Rhizoctonia* y *Fusarium*.



Foto 2. Podredumbre de raíces; Géneros *Pythium*, *Rhizoctonia* y *Fusarium*

Podredumbre basal del tallo

Por su difusión, incidencia y severidad, es una de las enfermedades más importantes del maíz en la Argentina.

Inicialmente, las plantas afectadas no manifiestan síntomas visibles, aunque los patógenos infectan las raízillas desde los primeros estadios del cultivo. En el período de floración actúan sobre el tallo, y presentan su momento crítico cuando comienza el llenado de la espiga. Además de las pérdidas directas ocasionadas por la enfermedad se producen pérdidas indirectas debido al vuelco de las plantas afectadas, lo que dificulta la cosecha de las mismas o perjudican la calidad de las espigas cosechadas que eventualmente contacten el suelo. Entre los agentes causales de la enfermedad, los del género *Fusarium* son productores de compuestos tóxicos como las zearalenonas que pueden permanecer tanto en los rastrojos como en las espigas de las plantas afectadas.

Agente causal.

(Complejo de hongos)

Fusarium graminearum (*Gibberella zeae*)

Macrophomina phaseolina

Diplodia maydis

Síntomas.

La infección ocurre entre el período de floración y madurez del cultivo, ocasionando la muerte prematura de plantas. Los entrenudos basales se tornan pardo oscuro, los tejidos internos (médula) se desintegran dejando intactos los haces vasculares y perdiendo su turgidez, lo que facilita el posterior vuelco desde la base.

Fusarium graminearum

Signos.

Coloración rosada del remanente de tejidos internos de la base del tallo. Formación de estructuras de color negro (peritecios) sobre la superficie de los tallos afectados.

Condiciones predisponentes.

Elevada humedad ambiente y altas temperaturas favorecen la maduración de los peritecios y consecuentemente la liberación de



Foto 3. Podredumbre basal del tallo ocasionado por *Fusarium graminearum*

esporas (ascosporas), que llevadas por el viento infectan tejidos de espigas y tallos de plantas vecinas. Este hongo infecta también cultivos de trigo, causando tizón de plántulas y la espiga blanca o fusariorosis.

Macrophomina phaseolina

Signos.

Estructuras vegetativas (microesclerocios negros) en el interior de la base del tallo.

Condiciones predisponentes

Temperaturas de suelo de 37°C y baja humedad ambiental favorecen el estrés de la planta y la posterior infección por este hongo,



Foto 4. Podredumbre basal del tallo ocasionado por *Macrophomina phaseolina*

que tiene un rango de hospedantes muy amplio (sorgo, girasol, soja, etc.)

Manejo de la enfermedad.

El riesgo de la enfermedad se disminuye evitando o atemperando las condiciones de estrés de las plantas. Por ejemplo, con riego en el período de mayor susceptibilidad al hongo (desde floración a madurez).

Diplodia maydis

Síntomas.

Las hojas se tornan verde-grisáceas y la base del tallo cambia del color verde normal al color pardo. La médula pierde consistencia y se desintegra, permaneciendo intactos sólo los haces vasculares. Finalmente, los tallos debilitados se quiebran con facilidad por la acción de los vientos.

Signos.

En ocasiones se forman estructuras (picnidios) pardo-oscuras o negras en la zona de los nudos basales del tallo.

Condiciones predisponentes.

Baja humedad y temperaturas de 28-30°C previo a la floración, y alta humedad posterior a la misma. Otros factores que favorecen a este agente causal de podredumbre son: alta densidad de plantas, presencia de heridas en las hojas causadas por granizo o insectos. Fertilidad no balanceada de los suelos (alto nitrógeno y bajo potasio). Los híbridos de ciclo corto son generalmente más susceptibles a la enfermedad.



Foto 5. Podredumbre basal del tallo ocasionado por *Diplodia maydis*

Manejo de la enfermedad.

- Siembra de materiales resistentes.
- Balanceada fertilidad de suelo.
- Baja densidad de plantas.
- Evitar la siembra de híbridos de ciclos cortos.

Antracnosis

La podredumbre basal causada por *Colletotrichum graminicola* está difundida en Estados Unidos de Norteamérica, y citada en la Argentina por Martínez y Botta (1982) en la región de Pergamino (Pcia. de Buenos Aires).

Agente causal.

Colletotrichum graminicola

Síntomas.

En la mayoría de los híbridos los síntomas no se hacen visibles sino hasta la madurez. A diferencia de otras enfermedades que producen podredumbre de tallo, el patógeno puede atacar los entrenudos basales de la planta. La enfermedad se reconoce fácilmente por el color negro brillante de la superficie del tallo, que puede ser uniforme o formando parches. La médula se puede presentar descolorida y podrida.

Signos.

El patógeno forma una masa de micelio de color negro debajo de la superficie del tallo.



Foto 6. Antracnosis : *Colletotrichum graminicola*

Condiciones predisponentes.

Este patógeno puede provocar también marchitamiento foliar. Algunos investigadores postulan que las esporas producidas en las lesiones de las hojas son lavadas a través de la vaina por efecto del agua de lluvia y penetran al tallo. La presencia de rastrojo en superficie incrementa la incidencia de la enfermedad.

Manejo de la enfermedad.

- Siembra de materiales resistentes.
- Fertilización balanceada .
- Control de insectos barrenadores.

Podredumbre de la espiga

Varias especies de hongos pertenecientes a los géneros *Fusarium*, *Diplodia* o *Penicillium*, entre otros, afectan al maíz produciendo enfermedades conocidas como podredumbres de espiga. *Fusarium* es el género prevalente en la Argentina y las especies más importantes son *F. verticillioides* (= *F. moniliforme*), *F. subglutinans*, *F. graminearum* y *F. oxysporum*.

Si bien la podredumbre de espiga afecta la productividad del cultivo, sus consecuencias más importantes son la mala calidad física y la contaminación de los granos con micotoxinas. Las micotoxinas son compuestos tóxicos producidos por el hongo. Cuando son consumidas por animales o humanos producen enfermedades: las micotoxicosis. Los síntomas difieren dependiendo del tipo de micotoxina consumida por el animal, de la especie afectada e incluyen rechazo de la comida, reducción de la ganancia de peso, tumores de hígado, necrosis de riñón, problemas hormonales, e incremento en la susceptibilidad a otras enfermedades. El diagnóstico de las mismas resulta difícil, ya que los síntomas clínicos no se manifiestan y ante la sospecha se analiza el alimento.

Algunas de las micotoxinas asociadas al género *Fusarium* más comúnmente encontradas en la región maicera argentina son las fumonisinas, el deoxinivalenol y la zearalenona. Las fumonisinas, producidas por *F. verticillioides* o *F. proliferatum*, causan enfermedades a menudo fatales como la leukoencefalomalacia

en equinos, edema pulmonar en cerdos, o cáncer de hígado en ratas. También hay evidencia de que estas toxinas podrían ser promotoras carcinogenéticos en humanos. El deoxinivalenol y la zearalenona (producidos por *F. graminearum*) son particularmente nocivos para cerdos. El deoxinivalenol reduce la ingesta diaria con la consiguiente reducción en aumento de peso y la zearalenona afecta los parámetros reproductivos en machos y hembras.

La colonización de los granos por estos hongos se ve favorecida por el daño de insectos y pájaros, y por el vuelco de las plantas que quedan de este modo en contacto con el suelo. La infección de los granos en el campo, conduce a la acumulación de micotoxinas en los mismos. Las malas condiciones de almacenamiento también provocan este tipo de problemas.

Agente causal.

(Complejo de hongos)

Diplodia maydis

Fusarium graminearum (*Gibberella zeae*)

Fusarium verticillioides

Si bien muchos hongos atacan la espiga y los granos del maíz, las especies pertenecientes a los géneros *Fusarium*, *Aspergillus* y *Penicillium* son los más importantes productores de micotoxinas.

Aspergillus flavus Link:Fr y especies relacionadas como *Aspergillus parasiticus* Speare producen aflatoxinas, *Penicillium verrucosum* y *P. viridicatum* producen ocratoxinas.

Las especies del género *Fusarium* involucradas en la podredumbre de la espiga del maíz, y que son productoras de micotoxinas en el grano, están mayormente representadas por, *Fusarium graminearum*, *F. verticillioides*, *F. proliferatum* y *F. subglutinans*.

Podredumbre de espiga causada por *Diplodia maydis*

Síntomas.

Los síntomas están influenciados por el estado de desarrollo de la espiga en el momento

de la infección y las condiciones climáticas que siguen a ésta. La podredumbre progresó desde la base hacia la parte superior de la espiga.

Signos.

El hongo causal forma una masa blanca-grisácea abundante entre los granos afectados que los deja firmemente adheridos a la mazorca. Posteriormente se producen estructuras oscuras (picnidios) sobre las áreas afectadas.

Condiciones predisponentes

La fuente de inóculo está constituida por el rastrojo del cultivo antecesor. Los conidios son diseminados por la salpicadura de las gotas de lluvia y llegan a los estigmas. El hongo también penetra a través de la chala, generalmente en la parte basal. Las espigas son más susceptibles a la infección a las 3 semanas después de antesis, cuando los estigmas comienzan a senescer. Por otra parte, los daños por insectos o pájaros predisponen las plantas a la infección.

Manejo de la enfermedad.

- Siembra de materiales resistentes.
- Rotación de cultivos.
- Destrucción de rastrojos.

Podredumbre de espiga causada por *Fusarium spp*

Las especies del género *Fusarium* causan enfermedades de plántulas, podredumbre de raíz, tallo y espiga en maíz, así como también de granos almacenados. Si bien los daños causados por *G. fujikuroi* son menores comparados con los producidos por *Gibberella zeae*, es de importancia considerar la pérdida de calidad del grano por la potencial producción de fumonisinas y otras toxinas. Si bien hay muchas investigaciones acerca de este hongo, aún existen pocas opciones para lograr un manejo efectivo de esta enfermedad del maíz y las consecuencias que ésta tiene en la salud humana y animal.

El deoxinivalenol y otros tricotecenos son producidos por *Fusarium graminearum* (Schwabe) [teleomorfo *Gibberella zeae* (Schwein. Petch)]. Las fumonisinas son producidas por *F. verticillioides* (Saccardo) Nirenberg [= *F. moniliforme* (Sheldon)]



Foto 7. Podredumbre de la espiga causada por hongos del género *Fusarium*.



Foto 8. Podredumbre de la espiga causada por *Fusarium graminearum* (*Gibberella zae*)

Signos.

Consiste en una masa micelial del hongo de color rosado entre los granos y eventualmente aparición de estructuras oscuras (peritecios) sobre los mismos.

Podredumbre de la espiga causada por *Fusarium verticillioides*

Síntomas.

La infección se inicia a través de heridas en el extremo de la espiga, y produce una podredumbre de los granos en forma aislada en la espiga. Los granos pueden presentar estrías blancas. Afecta el grano internamente, sin mostrar síntomas visibles.

Signos.

Sobre los granos afectados se forma una masa algodonosa de color blanco a rosado. *Fusarium verticillioides* está asociado con enfermedades que se manifiestan en todos los estados de crecimiento de maíz, es un patógeno muy común en maíz y también se lo encuentra colonizando plantas que no manifiestan síntomas, y justamente la presencia de granos asintomáticos es una de sus características y uno de los principales problemas para el manejo de la enfermedad. A partir de semilla infectada, el hongo puede desarrollarse en forma sistémica para infectar el grano. En este caso podríamos hablar de *Fusarium verticillioides* como endófito. En este tipo de sistema hay un beneficio para la planta, en el caso de maíz-fusarium no ha sido posible determinarlo.

[teleomorfo *G. fujikuroi* (Sawada)] Ito in Ito & K. Kimura, *F. proliferatum* (T. Matsushima) Niremberg, *F. Nygamai* L.W. Burgess & Trimboli, y *F. Napiforme* Marasas, P. E. Nelson, & Rabie.

F. verticillioides *F. proliferatum* son los principales productores de fumonisinas en maíz.

F. subglutinans puede contaminar maíz con moniliformina y beauvericina.

Las especies del género *Fusarium* más frecuentemente aisladas en granos de maíz en la Argentina, son *Fusarium verticillioides*, *F. proliferatum* y *F. subglutinans* tal como lo citan Sydenham y col., 1993, en la provincia de Buenos Aires (Pergamino – Nueve de Julio), Saubois y col., 1996 en el área centro-norte de la provincia de Santa Fe y Chulze y col., 1996, en evaluaciones realizadas en la provincia de Córdoba.

Podredumbre de la espiga causada por *Fusarium graminearum* (*Giberella zae*)

Síntomas.

Produce una podredumbre generalizada de la espiga que generalmente avanza desde el extremo terminal hacia la base de la misma.



Foto 9. Podredumbre de la espiga causada por *Fusarium verticilloides*



Foto 10. Podredumbre de la espiga causada por *Fusarium verticilloides*, los granos pueden presentar estrias blancas.



Foto 11. Podredumbre de la espiga causada por *Fusarium verticilloides*, podredumbre de los granos en forma aislada.

Fusarium verticilloides estimularía el crecimiento y desarrollo de la planta de maíz, posiblemente debido a la producción de hormonas reguladoras del crecimiento.

El ciclo de la enfermedad es complejo. El hongo sobrevive en el rastrojo, aunque no es la especie de *Fusarium* más comúnmente encontrada en ese sustrato. No produce

clamidos-poras, pero produce hifas engrosadas que favorecen la sobrevivencia.

Es un hongo de suelo y un patógeno de semilla. Esta fase del ciclo de la enfermedad está asociada primeramente con los problemas de damping off. La infección puede hacerse sistémica y producir podredumbre de tallo y granos.

Fusarium verticilloides produce macro y microconidios que constituyen la fuente de inóculo a partir de los rastrojos. Los sitios dañados por insectos son una vía de entrada e infección de tallos y espigas. Las esporas llegan a los estigmas mediante el viento o el salpicado del agua de lluvia. La humedad favorece la infección, pero el estado fisiológico de los estigmas afecta la susceptibilidad. El período de mayor susceptibilidad tiene lugar a los 4-7-días después de la aparición de los estigmas, cuando se hallan elongados, polinizados, con las puntas marrones pero aún están verdes.

Condiciones predisponentes.

Fusarium verticilloides puede desarrollarse en diferentes condiciones de ambiente. Las condiciones óptimas para la producción de fumonisininas no son bien conocidas. Algunos autores señalan que la sequía durante los estadios tempranos de desarrollo de la planta favorecen la infección y la colonización sistémica; otros consideran más importantes niveles de humedad relativa adecuados durante el período de aparición de los estigmas en el proceso infectivo. Las lluvias excesivas en el período desde la floración hasta la madurez del cultivo predisponen a la podredumbre de la espiga, siendo los daños agravados cuando existen lesiones en espigas y tallos producidos por insectos y pájaros, o bajo condiciones de vuelco de la planta que permiten el contacto de las espigas con el suelo.

Manejo de la enfermedad.

-Siembra de semillas libres de los agentes causales de la enfermedad.

-Tratamiento de semillas con fungicidas.

-Cultivos realizados sobre suelos con fertilidad balanceada presentan menor incidencia de la enfermedad.

-Rotación de cultivos.

Otro grupo de técnicas para reducir el contenido de micotoxinas incluye aquellas asociadas al control de la podredumbre de espiga a campo, como la rotación del maíz con cultivos no hospedantes de los patógenos

-Destrucción de rastrojos.

-Almacenaje adecuado de los granos

Se puede reducir el contenido de toxinas en granos ya contaminados e impedir el desarrollo de nuevos compuestos tóxicos mediante la correcta limpieza y almacenamiento de éstos. Los mayores niveles de micotoxinas se encuentran en granos dañados por los hongos o partidos y la concentración de ambos puede ser reducida durante la cosecha y el posterior manipuleo de los granos.

-Uso de la resistencia genética: Patosistema *Fusarium spp – Zea mays*

Consiste en el uso de híbridos menos susceptibles a los hongos, capaces de acumular bajos niveles de toxinas. Existe variabilidad en el maíz respecto de la resistencia a hongos del genero *Fusarium* y se ha demostrado tanto para *F. moniliforme* como para *F. graminearum* que la severidad de síntomas de podredumbre de espiga está correlacionada con los contenidos de micotoxinas en grano.

La resistencia a las podredumbres de espigas causadas por *Fusarium* puede dividirse en dos componentes: un componente involucra la resistencia a la penetración inicial del hongo y el otro a la resistencia a la colonización de los tejidos del grano. Las infecciones de *Fusarium* se producen principalmente vía estigmas o vía heridas en la espiga en desarrollo; toda resistencia presente en los estigmas puede considerarse como resistencia a la penetración inicial porque el grano no alcanza a ser colonizado. La habilidad de los hongos para entrar a través de los estigmas depende del estado de los mismos, ocurriendo la máxima

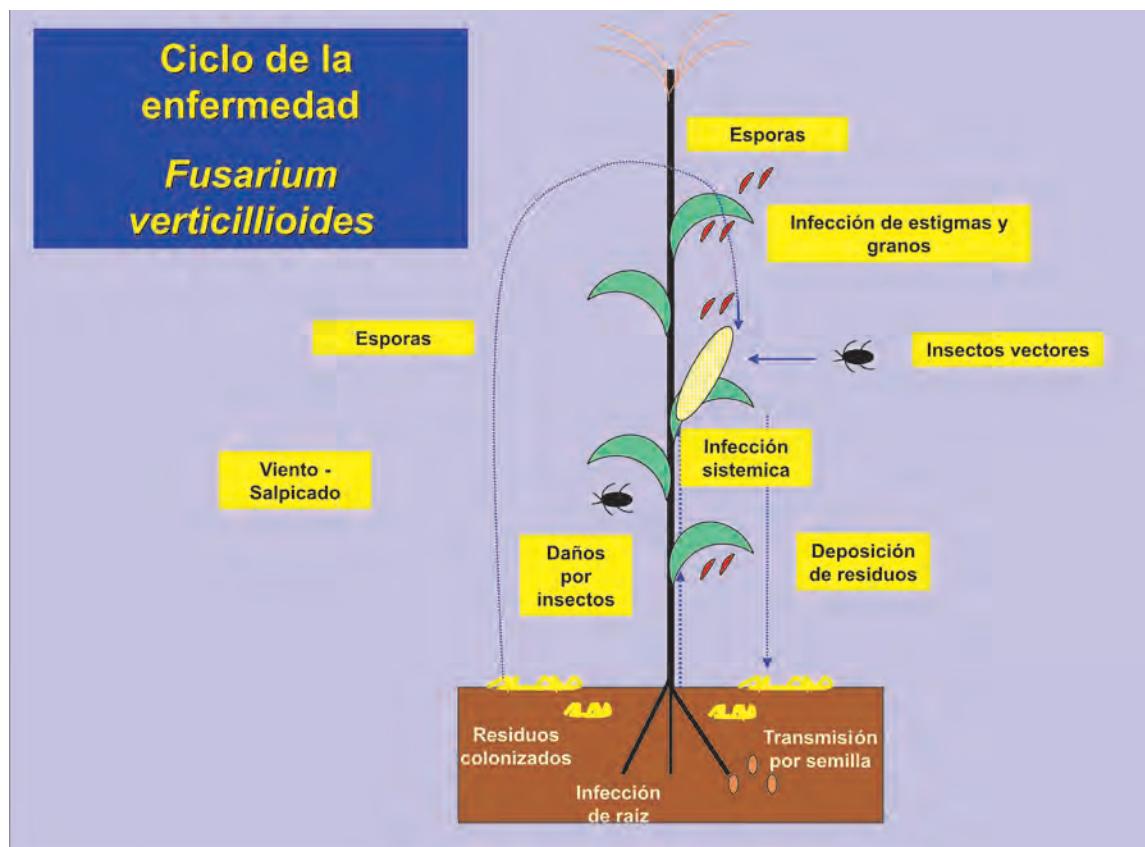


Foto 12: Podredumbre de la espiga causada por *Fusarium verticillioides*. Ciclo de la enfermedad

susceptibilidad cuando los estigmas ya han sido polinizados y comienzan a marchitarse. Una vez que la senescencia ha ocurrido, la planta se torna más resistente a la entrada por esta vía, de modo que el rápido secado de los estigmas puede estar asociado a menores niveles de enfermedad. Barreras físicas, como capas cerosas sobre los estigmas, o sustancias químicas, como la presencia de compuestos fenólicos, pueden también actuar como factores de resistencia a la infección y colonización de la espiga por *Fusarium* a través de los estigmas.

Existen otros factores de resistencia a la penetración inicial, como el espesor del pericarpio. Algunas variedades resistentes presentan mayor espesor de pericarpio en comparación con materiales susceptibles. Una vez que el grano ha sido invadido entran en juego factores de resistencia a la colonización como el tipo de endosperma; los materiales portadores de los alelos *sugary* o *shrunken* que producen un endosperma apto para consumo fresco, o los portadores del alelo *opaco-2* que aumenta el contenido de lisina y triptofano, son, por lo general, más susceptibles que aquellos con endosperma normal. Ciertos compuestos químicos, como el ácido ferúlico, también parecen jugar un papel importante en la resistencia a la colonización del grano por *Fusarium*.

Por su efecto sobre los insectos que atacan la espiga, los híbridos transformados mediante el gen *Bt* pueden tener menores niveles de síntomas y de toxinas que los híbridos normales. Sin embargo, el control que se puede lograr mediante el uso de este tipo de cultivares es parcial porque no se controla la entrada de los patógenos vía estigmas.

La herencia de la resistencia para las más importantes especies del género *Fusarium* es de naturaleza predominantemente aditiva y en consecuencia es de esperar que las técnicas usuales de selección sean efectivas para desarrollar germoplasma resistente. Además, se han desarrollado técnicas de inoculación y evaluación de progenies que están siendo efectivamente usadas en otras regiones del mundo para la selección de maíz resistente. Por otro lado, en varios laboratorios se están identificando marcadores moleculares asociados a la resistencia a *Fusarium*; estos marcadores

podrían ser de utilidad para asistir la selección de germoplasma de maíz resistente, ya que existe un importante componente de interacción genotipo por ambiente en la resistencia a estos hongos, que puede dificultar la selección a campo.

Tizones de la hoja

Los micólogos han acordado que el nombre de *Helminthosporium* es inapropiado para aquellas especies de patógenos de maíz que se incluyen tradicionalmente en este género. Así estos patógenos que se mencionaban como *Helminthosporium* ahora se ubican en dos géneros distintos en relación con la homología de sus estadios de teleomorfo-anamorfo. Así los «*Helminthosporium*» que tienen como teleomorfo al género *Setosphaeria* pertenecen como anamorfo al género *Exserohilum*, y los que cuyo teleomorfo es *Cochliobolus* pertenecen como anamorfo al género *Bipolaris*. A pesar de esta nueva ubicación taxonómica y su importancia, es normal que los fitopatólogos los continúen llamando como *Helminthosporium* por un largo tiempo, ya que este nombre es el más comúnmente usado en el mundo.



Foto 13. Tizones de la hoja. *Helminthosporium* spp.

Tizón sureño

Agente causal:

Helminthosporium maydis -*Bipolaris maydis* (anamorfo) *Cochliobolus heterostrophus* (teleomorfo)

Síntomas:

Existen tres razas de *Bipolaris maydis*, las que provocan diferente sintomatología:

- *Raza O*: produce lesiones de color canela de 0,6 x 1,2 a 1,9 cm, con lados paralelos con bordes amarillo a marrón. En general sólo ataca hojas y los granos afectados toman aspecto mohoso.
- *Raza T*: es específicamente virulenta en maíz que contiene citoplasma macho estéril Texas (cms-T). Las lesiones son color canela de 0,6 a 1,2 x 0,6 a 2,7 cm, de forma ahusada o elíptica con halos verde amarillento o cloróticos. Luego, las lesiones adquieren bordes oscuros, marrones rojizos. Ataca vainas, hojas, tallos y chalas, caña y espiga. Los granos infectados producen tizón de plántula 3 a 4 semanas después de la siembra.
- *Raza C*: es específicamente virulenta en el citoplasma macho estéril C (cms-C). Ha sido encontrada sólo en China.

Las razas O y T son difíciles de diferenciar por los síntomas en hojas. En maíz con citoplasma normal las lesiones de la raza T son más pequeñas.

Los granos pueden constituirse en fuente de inóculo, aunque no resultan tóxicos para el consumo.

Signos

La esporulación del hongo produce zonas oscuras sobre la lesión.

Condiciones predisponentes

Se distribuye mundialmente, pero es más importante en zonas templadas (20 -32°C) de clima húmedo. En nuestro país se la encuentra al norte de la zona maicera.

Tizón del norte

Fue identificado en nuestro país en el año 1963. Los híbridos actuales son relativamente resistentes a la enfermedad; sin embargo, en la campaña 2002-2003 se observaron síntomas en ensayos comparativos de rendimiento en el sur de Santa Fe.

Agente causal

Helminthosporium turicum -*Exserohilum turicum* (anamorfo); *Setosphaeria turcica* (teleomorfo)

Síntomas

Se presentan lesiones ahusadas de 3 x 15 cm de color verde grisáceo en las hojas, aunque puede haber también lesiones en chalas. Las lesiones pueden variar en morfología con la presencia de genes de resistencia en el hospedante como Ht1, Ht2 o Ht3. La enfermedad desarrolla rápidamente luego de antesis.

Signos

La esporulación del hongo produce zonas oscuras sobre la lesión.

Condiciones predisponentes

Se distribuye mundialmente, pero es más importante en zonas templadas (18 a 27°C) de clima húmedo. En nuestro país se la encuentra hacia el sur de la zona maicera.

Manejo de la enfermedad:

- Utilización de híbridos con citoplasma normal
- Se podrían aplicar fungicidas comenzando desde el momento en que se forma la panoja

Antracnosis

Es la misma enfermedad que se da a nivel de base del tallo. Es policíclica y el patógeno luego de varios ciclos como parásito puede vivir como saprófito en restos de cultivo.

Agente causal

Colletotrichum graminicola

Síntomas

Aparecen en las hojas manchas pequeñas, redondas e irregulares embebidas en agua. Las manchas se pueden agrandar hasta alcanzar los 15 mm de diámetro y volverse marrones en el centro con el borde marrón rojizo. Las hojas enfermas se arrugan y mueren. El hongo sobrevive como saprófito en los residuos del

cultivo y en la semilla como esporas y micelio. Otras gramíneas hospedantes pueden servir como fuente de inóculo (*Cynodon dactylon*, *Panicum maximun*, *Echinochloa stagnina*, *Digitaria sanguinalis*, *Tripsacum laxum*, *Melinis minutiflora*, *Panicum purpurascens*, *Penicetum setosum*). Las esporas producidas en las plantas enfermas proporcionan un inóculo secundario. Los aislamientos de maíz no afectan a *Sorghum* sp de la misma forma que los aislamiento de *Sorghum* no afectan maíz.

Signo

Las acérvulas producidas en los tejidos muertos del hospedante son de color marrón oscuro, circulares a ovales y gruesas, y bajo condiciones de humedad aparecen como pequeñas manchas aisladas en los tejidos infectados.

Condiciones predisponentes

Por lo general, la antracnosis se ve favorecida por las temperaturas elevadas y se desarrolla mejor en los tejidos más viejos, a pesar de que las plántulas pueden infectarse. Se requiere agua libre para la dispersión de esporas y su germinación. Se informó de la existencia de cepas de *C. graminicola*, que difieren en su virulencia.

Manejo de la enfermedad:

- Usar variedades resistentes
- Aplicar rotación de cultivos, lograr una fertilidad equilibrada

Otras enfermedades fúngicas

Mancha gris de la hoja

Fue inicialmente descripta en Illinois, EE.UU., en 1925. Causó graves daños en el oeste del cinturón maicero. Es una de las enfermedades reconocidas como más limitantes de los rendimientos. Se ve favorecida por las prácticas de labranza reducida.

Agente causal

Cercospora zea maydis (teleomorfo *Micosphaerella* sp.) es el patógeno más comúnmente asociado con mancha gris. En los Estados Unidos también se identificó *Cercospora*



Foto 14. Mancha gris de la hoja causada por *Cercospora zea maydis*.

sorghii var. *maydis*. El estado perfecto se puede encontrar en restos de tejidos que han pasado el invierno, pero ésta no es una fuente importante de inóculo. El maíz es el único hospedante conocido

Síntomas

Lesiones de 2-4 mm x 1-6 cm sobre las hojas de plantas susceptibles. Las lesiones iniciales son pequeñas, necróticas y con halos cloróticos que se expanden gradualmente hasta conseguir su tamaño completo. Las características diagnósticas de la enfermedad son los bordes paralelos de las lesiones y la opacidad de las lesiones maduras. La forma de los bordes de las lesiones responden a la imposibilidad del patógeno de penetrar los tejidos del esclerénquima de las nervaduras mayores, las cuales limitan la expansión lateral de las lesiones.

Signo

Inicialmente, las lesiones tienen coloración marrón y luego se tornan grises una vez que el patógeno comienza a esporular bajo la epidermis de la hoja.

Manejo de la enfermedad

- Los híbridos tienen diferente comportamiento en cuanto a susceptibilidad. La resistencia a mancha gris parece ser poligénica con la mayoría del efecto aditivo.

Las líneas públicas con resistencia son B68, NC250, NC258, Pa 875, Va14, Va 17, Va85, T222 y Mo18W. Entre líneas argentinas de INTA resistentes puede mencionarse a LP598.

- La siembra convencional y la rotación de cultivos ofrecen buenas formas de control donde el patógeno está establecido.
- Los fungicidas foliares proveen un buen control y son económicamente justificados en híbridos con alto potencial de rendimiento, pero mal comportamiento frente a la enfermedad.

Mancha en ojo

Agente causal

Kabatiella zeae

Síntomas

Los síntomas iniciales son lesiones circulares a ovales, translúcidas y pequeñas, de 1 a 4 mm de diámetro, con halos amarillos que se pueden fusionar en áreas necróticas. Las manchas se presentan al inicio o al fin de la estación en forma de parches. Inicialmente aparecen lesiones acuosas que con posterioridad se desarrollan con color crema a bronceado, rodeadas por un halo marrón o morado y otro halo angosto amarillo, dando la apariencia de un ojo. Las lesiones pueden desarrollarse en las vainas foliares y en las chalas, pero se encuentran por lo general en la parte superior de las plantas en maduración. Estas manchas pueden confundirse con las de *Curvularia* o fisiológicas.

Signo

Los conidios producidos en las lesiones se ven cuando se las coloca en cámara húmeda.

Condiciones predisponentes:

El desarrollo de la enfermedad se ve favorecido por tiempo frío y húmedo. La temperatura óptima para la germinación es de 24°C. Las hojas jóvenes de maíz parecen ser más resistentes a la enfermedad.

Manejo de la enfermedad:

- Usar variedades resistentes.
- Eliminación de rastrojos y rotación de cultivos.

Mancha Marrón

Agente causal

Physoderma maydis

Síntomas

Las primeras lesiones se presentan como manchas pequeñas oblongas o redondas amarillentas en el borde de la lámina foliar, la vaina foliar, el tallo y a veces en las chalas y panojas del maíz. Las lesiones pueden aparecer en bandas a lo largo de la lámina foliar. Los tejidos infectados se tornan marrones rojizos y se unen para formar pústulas. Los tallos infectados a nivel de nudos pueden quebrarse.

Signo

Los tallos de los tejidos infectados se desintegran y dejan expuestas las pústulas con esporangios de color marrón.

Condiciones predisponentes

Los esporangios pasan el invierno en el tejido infectado o en el suelo. Necesitan agua en superficie para germinar y temperaturas relativamente elevadas (entre 23 a 30 °C)

Manejo de la enfermedad

- Híbridos resistentes

Mancha de la hoja por *Phyllosticta*

Agente causal

Phyllosticta maydis, que pasa el invierno en restos de maíz o de gramíneas. Otros hospedantes del patógeno son *Setaria geniculata* y *Sudan grass*.

Síntomas

Lesiones rectangulares a ovales en hojas inferiores de color amarillo, crema o canela, a veces rodeadas de tejido clorótico. El tamaño de la lesión es de 0,3 a 1,3 mm. Las lesiones pueden unirse provocando el atizonamiento de las hojas.

Signos

Sobre las lesiones aparecen picnidios.

Condiciones predisponentes

El desarrollo de la enfermedad se ve favorecido por el tiempo fresco y húmedo.

Manejo de la enfermedad

- Híbridos resistentes
- Aplicaciones de fungicidas

Mildius Panoja Loca (Crazy Top)

Agente causal

Sclerospora macrospora

Síntomas

Los síntomas en el hospedante varían según el momento en el que se produce la infección. Primero se produce una proliferación excesiva de tallos, luego la proliferación parcial o total de la panoja, hasta que ésta se asemeja a una masa de estructuras foliosas. Además se produce atrofia y franjas cloróticas en las hojas. Otros hospedantes encontrados son: *Digitaria sanguinalis*, *Panicum capillare*, *Setaria viridis* y *Echinochloa crusgalli*.

Condiciones predisponentes

Suelos saturados de humedad. Un período de anegamiento de 24 a 48 horas es suficiente. La temperatura óptima para la esporulación es de 24 a 28°C y para la germinación de los esporangios de 12 a 16°C.

Manejo de la enfermedad

- Drenaje adecuado del suelo y evitar cultivar en zonas húmedas.

Roya común

La roya común del maíz es una de las enfermedades endémicas de este cultivo en la Argentina, por lo que se presenta todos los años manifestando diferentes niveles de severidad. Afecta todo tipo de maíces y produjo pérdidas de hasta el 50% del rendimiento en diferentes años en híbridos susceptibles de maíz dulce en la zona central y sur de Florida, EE.UU. de Norte América. En nuestro país las pérdidas que

causa esta enfermedad son en general leves; sin embargo, en ocasiones se producen epifitias de consideración en las que el nivel de severidad es considerablemente alto. Martínez, en Pergamino en 1977 estimó pérdidas del 17% para niveles de severidad de 25 - 30% comparando tratamientos protegidos con fungicida versus no protegidos. En general se estima una reducción de peso del grano de 3 a 8% por cada 10% del área foliar afectada.

El agente causal (*Puccinia sorghi*) posee variabilidad en cuanto a virulencia en diferentes aislamientos. En nuestro país en 1944 Vallega realizó estudios sobre la especialización fisiológica en *P. sorghi*, y utilizando líneas experimentales de maíz estableció la presencia de dos razas fisiológicas, a las que llamó A y B. González y col., en 1997, trabajando con líneas isogénicas portadoras de diferentes genes para la resistencia al patógeno llamados Rp , encontró que sólo tres (Rp1n; Rp3a y Rp3c) de los 23 factores de resistencia disponibles confirieron un tipo de reacción bajo (alta resistencia) a las variantes patogénicas presentes, confirmando la variabilidad de la población de *P. sorghi*. Estudios similares fueron realizados en los EE.UU. para establecer diferencias en virulencia en *P. sorghi* sobre las mismas líneas isogénicas de maíz.

La resistencia genética constituye, entre las medidas de manejo de la roya del maíz, la principal estrategia para limitar el desarrollo de la enfermedad y por consiguiente sus efectos sobre la producción. La resistencia a roya común en maíz es claramente de dos tipos: específica y general. La resistencia específica, también llamada resistencia Rp (ya que está conferida por estos genes), se expresa como una reacción de hipersensibilidad con diferentes tipos de infección. La resistencia específica se hereda generalmente de modo simple y dominante. Los alelos para la resistencia específica han sido identificados como 5 o mas. Varios de los genes Rp en forma individual confieren altos niveles de resistencia. Un compuesto de genes Rp, es decir un genotipo que combina lleva uno o más genes Rp unidos puede conferir resistencia y una raza no específica. La resistencia general está dada por genes menores (multigénica) y es aquella que se incrementa en hojas maduras comparada con hojas juveniles. Es efectiva en todo tipo de maíces y puede estar asociada con la tasa con

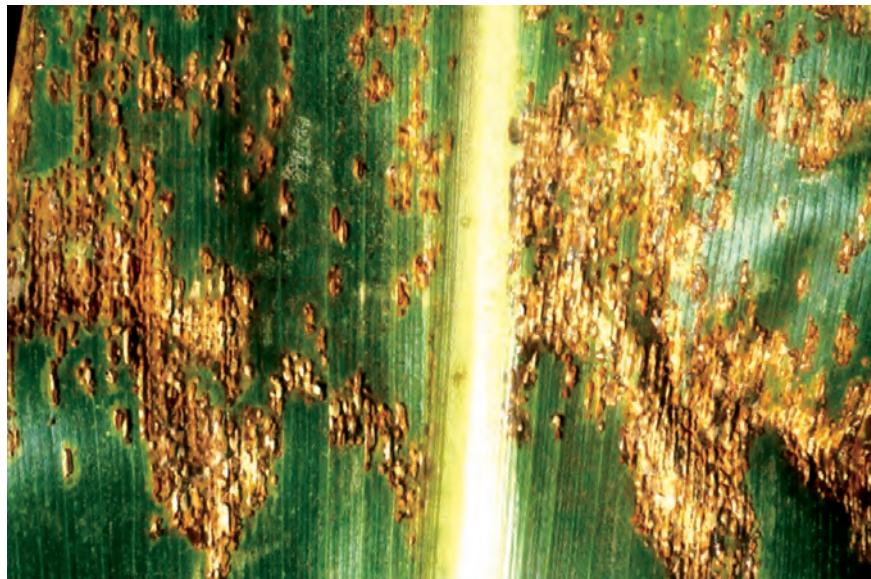


Foto 15. Roya común causada por *Puccinia sorghi*

la cual un genotipo forma hojas maduras. Otra forma de éstos reduce el número y tamaño de los uredosoros o incrementa la longitud del período de latencia. El grado de expresión de varias formas de resistencia general parece depender del ambiente en el cual esa resistencia es evaluada.

Síntomas y signo

Pústulas uredosóricas color marrón en las hojas, que por lo general ocurren en bandas y en la parte media de la hoja y pústulas teleutosóricas negras. Es una roya heteroica, es decir que para cumplir su ciclo completo necesita de un hospedante alternativo, que en este caso es *Oxalis* spp.

Condiciones predisponentes

Alta humedad (100%). Temperaturas entre 16 y 23 °C.

Manejo de la enfermedad

- Híbridos resistentes
- Aplicación de fungicidas

Roya del sur

Se presenta en regiones con temperaturas más altas que la roya común. En nuestro país fue citada por primera vez en la región noroeste en el año 2002.

Agente causal

Puccinia polysora

Síntoma y signo

Pústulas uredosóricas color marrón claro a naranja en las hojas con un tamaño menor al de *P. sorghi*. Son circulares u ovales, de 0,2 x 2 mm. Desarrollan en ambas caras de las hojas y las pústulas teleutosóricas son negras y desarrollan en círculos alrededor de las pústulas uredosóricas. No se ha visto la germinación en teliosporas y no se conoce el hospedante alternativo.

Condiciones predisponentes

Alta humedad (100%). Temperaturas elevadas (27 °C).

Manejo de la enfermedad

- Híbridos resistentes.
- Aplicación de fungicidas

Carbón común

Se presenta todos los años en nuestro país, con diferentes niveles de incidencia. En ciertos lugares de México se consumen las agallas inmaduras del hongo en una comida conocida como huítlacoche.

Agente causal

Ustilago maydis



Foto 16. Carbón común causado por *Ustilago maydis*

Síntomas

Agallas verdosas que se llenan de masas de esporas. Son susceptibles todos los tejidos jóvenes o meristemáticos en activo crecimiento sobre el nivel del suelo. Las agallas pueden alcanzar un tamaño de 15 cm

Signo

Masa de carbón (teleutosporas)

Condiciones predisponentes

Sequía y temperatura entre 26 y 34 °C.

Alto nivel de nitrógeno.

Lesiones provocadas por el despanojado y granizo.

Manejo de la enfermedad

- Híbridos resistentes.
- Tratamientos de semillas.
- Evitar daños mecánicos a las plantas.

Enfermedades causadas por bacterias

El número de enfermedades bacterianas que afecta a las plantas superiores es pequeño en relación con el de las enfermedades fungosas. Hay alrededor de 200 especies de bacterias fitopatógenas. Las bacterias son organismos unicelulares cuyo tamaño oscila entre 0,3 a 1 μm de ancho por 0,6 a 4,5 μm de largo. Son

organismos procariotas, es decir, no tienen núcleo organizado sino una zona nuclear. Carecen de vacuolas y de corrientes citoplasmáticas. Poseen una pared celular formada por proteínas y carbohidratos, sin celulosa. La mayoría están cubiertas por una capa mucilaginosa más o menos densa, con espesor variable constituida por polisacáridos. Muchas especies poseen flagelos que les permiten moverse en el agua. Ninguna de las bacterias fitopatógenas forma esporas y sólo algunas sobreviven en el suelo por mucho tiempo. La mayoría de ellas lo hacen en los restos de tejidos foliares aún verdes o infectando bulbos y tubérculos.

Recientemente se han encontrado bacterias que sobreviven como epífitas en la superficie de las hojas. Estas bacterias permanecen latentes en los intersticios microscópicos, protegidas por el mucílago, células muertas y exudados de las plantas. Las bacterias pueden ser diseminadas por salpicaduras de lluvia, movimiento de agua en el suelo, las labores del cultivo, los insectos y los nemátodos. Se multiplican por fisión de una célula madre en dos células hijas y pueden favorecer su variabilidad genética los fenómenos de conjugación, transformación y transducción, además de la mutación. Los síntomas que producen son variables, pueden producir manchas, podredumbres, hiperplasias e hipertrofias, enanismo, etcétera.

Marchitamiento bacteriano o Enfermedad de Stewart

No se encontró en nuestro país. Es una de las enfermedades que tienen barrera cuarentenaria en la Argentina.

Agente Causal

Erwinia stewartii

Síntomas

Ataca sobre todo a maíces dulces. Los síntomas en plantas jóvenes son semejantes a los síntomas de sequía. Las hojas muestran bandas longitudinales de color grisáceo amarillento con bordes irregulares que rodean las nervaduras y

pueden extenderse a lo largo de toda la hoja. Estas bandas se secan posteriormente y se tornan marrones. En las plantas gravemente afectadas se forman cavidades en la médula a nivel del suelo. Puede producir muerte de plantas. Se transmite por semilla. El principal vector es el escarabajo del maíz *Chaetocnema pulicaria*.

Signos

Pueden aparecer masas bacterianas desde los extremos de los tallos quebrados o el tejido foliar afectado.

Condiciones predisponentes

La gravedad de la enfermedad aumenta con las altas temperaturas.

Manejo de la enfermedad

- Híbridos resistentes.
- Aplicación de insecticidas en semilla o en el estadio de plántula.

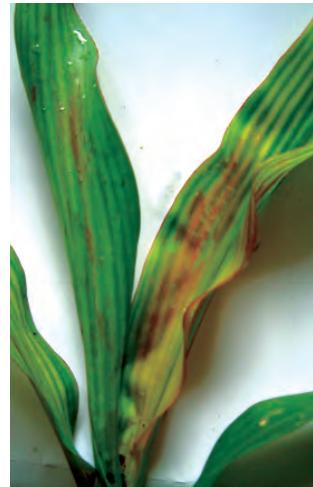


Foto 17. Enfermedades abioticas o no infecciosas. Causas genéticas.

Enfermedades abioticas o no infecciosas

Las enfermedades abioticas son causadas por agentes no infecciosos. Los principales tipos de enfermedades abioticas que afectan al maíz son las relacionadas con factores genéticos y las causadas por estímulos externos que actúan sobre la planta (factores ambientales, deficiencia de nutrientes, daño por herbicidas, aire contaminado y prácticas de manejo).

Causas genéticas

Este tipo de enfermedades no infecciosas generalmente se observan en los campos de mejoramiento y están asociadas a genes que limitan o alteran la capacidad de la planta de maíz para producir clorofila; por ejemplo, plántulas albinas, con estrías amarillo verdosas, hojas variegadas, mosaicos, y/o manchas foliares, que aparentan una enfermedad infecciosa y en numerosos casos, esos genes son letales para la planta.

Causadas por estímulos externos

Desde la siembra a las cosecha el cultivo está expuesto a problemas potenciales como excesiva humedad, encostramiento del suelo, daño por el viento, escaldaduras por el sol, heladas tardías, altas temperaturas, heladas tempranas, granizo, rayos, heladas tempranas.

La excesiva humedad y el encostramiento causan efecto en el stand de plantas. Las bajas temperaturas nocturnas inhiben el desarrollo de los cloroplastos, provocando la aparición de bandas transversales en las hojas.

En primavera, cuando las noches son frías y las mañanas soleadas, se producen escaldaduras por el sol y las hojas toman un color gris plateado. Las heladas tardías en primavera y las tempranas en otoño pueden llegar a matar las plantas de maíz según la intensidad con que se manifiesten. En la primavera, como el punto de crecimiento está protegido, se dañan las hojas y las plantas pueden recuperarse.

Las bacterias (*Pseudomonas syringae* y *Erwinia herbicola*) actúan como nucleadoras de hielo en la superficie de las hojas de las plántulas y la severidad del daño por frío se incrementa tanto como se incrementa la densidad de células bacterianas.

Los vientos provocan desecación de las hojas y vuelco de las plantas.

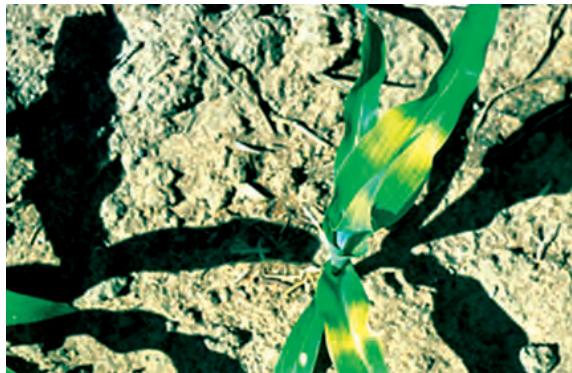


Foto 18. Enfermedades abioticas o no infecciosas. Daño por frio.



Foto 21. Enfermedades abioticas o no infecciosas. Escaldaduras por el sol



Foto 19. Enfermedades abioticas o no infecciosas. Anegamiento.



Foto 20. Enfermedades abioticas o no infecciosas. Encostramiento del suelo.

El granizo lastima, desgarra las hojas y golpea los tallos, las heridas predisponen al ataque de hongos y bacterias.

Las enfermedades abioticas producidas por prácticas de manejo del cultivo inadecuadas se deben, por lo general, a deficiencia de nutrientes o toxicidad por herbicidas.

Deficiencias de nutrientes

Las deficiencias de nutrientes son difíciles de diagnosticar mediante síntomas visuales porque otros factores tanto bióticos como abioticos pueden causar reacciones similares. Los síntomas son más confiables cuando los demás factores favorecen el crecimiento y se producen en un área amplia con un suelo específico y siguiendo un patrón de manejo. Una vez detectada la deficiencia, sea mediante análisis de suelo o de los tejidos vegetales, ésta puede ser corregida con la aplicación del nutriente requerido.

Las deficiencias más comunes son las debidas a la falta de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg) y zinc (Zn):

- **Nitrógeno:** Plantas poco desarrolladas, ahiladas con hojas amarillentas. En las hojas inferiores de plantas en estados avanzados se observa un amarillamiento alrededor de la

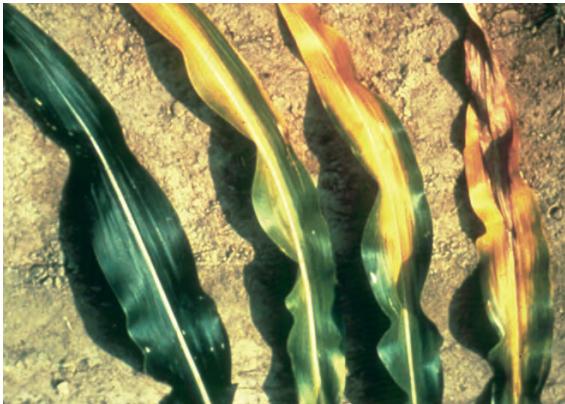


Foto 22. Deficiencias de nutrientes: Nitrógeno.

nervadura central que toma forma de V. No se forman granos en la punta de las espigas. La deficiencia de N es favorecida por condiciones de suelos fríos, húmedos e inundados, arenosos, y/o bajos en materia orgánica.

• **Fósforo:** Desarrollo deficiente de la planta, hojas jóvenes de color púrpura. Espigas pequeñas, retorcidas, que no alcanzan a llenar

en las puntas. La deficiencia de P es más pronunciada en plantas jóvenes que crecen en suelos frescos y está favorecida cuando los suelos, además de fríos, están muy secos o muy húmedos.

• **Potasio:** Amarillamiento y necrosis de los bordes de las hojas inferiores, el vuelco de plantas a la cosecha es prevalente en lotes con deficiencia de K. Las espigas y granos alcanzan poco desarrollo.



Foto 24. Deficiencias de nutrientes: Potasio

• **Azufre:** Los síntomas son similares a los que se manifiestan por la deficiencia de nitrógeno. Enanismo, hojas amarillentas, en algunos casos necrosis internerval. El amarillamiento se observa en las hojas jóvenes. La deficiencia de azufre se ve favorecida en suelos ácidos, arenosos, bajos en materia orgánica y también en suelos fríos y húmedos.



Foto 23. Deficiencias de nutrientes: Fósforo



Foto 26. Deficiencias de nutrientes: Zinc.

- **Magnesio:** Amarillamiento en hojas superiores, nervaduras blanco-amarillentas.
- **Zinc:** Falta de vigor en las plántulas, entrenudos cortos y desarrollo de bandas pálidas entre la nervadura central y los bordes.

Deficiencias de calcio, hierro, cobre, boro y molibdeno han sido citadas, pero raramente observadas. También es necesario considerar la toxicidad causada por los nutrientes cuando son suministrados en dosis y momentos no adecuadas o mediante técnicas inapropiadas.

Daño por herbicidas

Son muy difíciles de diagnosticar porque los síntomas son confundidos con aquellos producidos por enfermedades, insectos y deficiencias de nutrientes. Los daños por herbicidas predisponen a la planta a las enfermedades de plántulas y podredumbres de raíces y resulta difícil separar daño de enfermedad. La precisión y la dosis de la aplicación, la selección y calibración del equipo, son factores a tener en cuenta para disminuir los daños causados por los herbicidas. Como también es importante tener en cuenta que los híbridos pueden diferir en la susceptibilidad a los daños por herbicidas.

Las anomalías más comunes asociadas a la acción de los herbicidas en maíz están relacionadas con herbicidas pertenecientes a los siguientes grupos :

Sulfonilureas

Muchos de los herbicidas pertenecientes a este grupo tienen actividad foliar y radicular. Aplicados en postemergencia, el follaje se torna amarillo claro, las nervaduras, generalmente púrpura, y las plantas tienen menor altura. Mayormente, los síntomas del daño se manifiestan en la zona radicular, cuyo desarrollo se inhibe.

Cloroacetamidas

Períodos de bajas temperaturas y/o exceso



Foto 27. Daño por herbicidas: Sulfonilureas.



Foto 28. Daño por herbicidas: Cloroacetamidas.

de agua incrementan la fitotoxicidad de estos compuestos aplicados en preemergencia. Las hojas emergen mal formadas, arrolladas, asemejando a la hoja de cebolla.

Hormonales

Estos herbicidas producen deformaciones en hojas, tallo y raíces de la planta debido a: (i) dosis excesiva por error en la aplicación, (ii) inadecuado momento para la aplicación durante el ciclo del cultivo (muy temprano o muy tardío) o bien (iii) condiciones ambientales adversas para el normal crecimiento y desarrollo del cultivo provocando en consecuencia una metabolización del herbicida en la planta muy lenta.



Foto 29. Daño por herbicidas: Hormonales.

Glifosato

Las derivas producidas por aplicaciones de glifosato en lotes cercanos (ej. Soja RR) producen fitotoxicidad en maíz susceptible. La planta se torna clorótica y luego necrosa. Dependiendo del grado de exposición la planta muere o si se recupera, disminuye su potencial de rendimiento.



Foto 30. Daño por herbicidas: Glifosato.

Dinitroanilinas

El daño se produce en la parte de la planta expuesta al herbicida. Se inhibe el desarrollo de raíces, particularmente, secundarias y laterales.



Foto 31. Daño por herbicidas: Dinitroanilinas.

Bibliografía

- Agrios, G. 1996. Plant pathology. Academic Press, New York.
- Bergstrom, G y R. Nicholson. 1999. The biology of the conr antracnose. Plant Disease Vol 83 (7): 596-608.
- Desjardins, A. E., R. D. Plattner, M. Lu and L. E. Claflin. 1998. Distribution of fumonisins in maize ears infected with strains of *Fusarium moniliforme* that differ in fumonisin production. Plant Dis. 82:953-958.
- Fry, W. E. 1982. Principles of Plant Disease Management. Academics Press, Inc. New York.
- Geiger, H y M. Heum. 1989. Genetics of quantitative resistance to fungal diseases. Annual Review of Phytopathology. 27:317-341.
- González y col., 1997. Caracterización de la relación Zea mays-Puccinia sorghi en la zona maicera nucleo. Acta del VI Congreso Nacional de Maíz. Tomo I: II17- II23.
- González M. 2000. First Report of Virulence in Argentine Populations of Puccinia sorghi to Rp Resistance Genes in Corn. Plant Diseases Vol 84:921
- González, M.; M. Incremona; A Ghio; S. Papucci; M. Cruciani, A. González; H. Pedrol y J. Castellarín. 2000. Comportamiento de cultivares de maíz frente a una roya común en las localidades de Oliveros, La Salada y Zavalla. Campaña 1999/00. Para mejorar la Producción 14- Maiz: 89-93.
- González, M.; G. Eyherabide; G. Laguna y J. Muñoz. 2001. Herencia de la resistencia a una roya común en maíz. Fitopatología Brasileira 26: 484.
- Groth, J.V; J.K. Pataky y G.R. Gingera. 1992. Virulence in eastern north american population of Puccinia sorghi to Rp resistance genes in corn. Plant Disease 76(11): 1140-1144.
- Gunsolus, J.L and W.S. Curran.1994. Herbicide Mode of Action and Injury Symptoms. North Central Regional Extension Publication 377. University of Minnesota
- Kenaga, C.B. 1974. Principles of Phytopathology. Edition 2.
- Kenaga, C.B. 1974. Principles of Phytopathology. Edition 2. 402pp.
- Lenardon, S. L y F. Giolitti. 1999. Virus del Mosaico enanizante del maíz. En Hoja Informativa: enfermedades de los cultivos extensivos e intensivos. Ed. S.Lenardon. IFFIVE-INTA-JICA. Córdoba ISSN 1514-2736.
- Marschner, H..1997. Mineral Nutrition of Higher Plants. Second Edition.
- Martinez, C. A. y G. Botta. 1982. Detección de *Colletotrichum graminicolum* como agente de la Podredumbre del Tallo del Maíz. Carpeta de Producción Vegetal. Tomo IV.MAIZ. Inf N° 43.
- Martínez, C.A. 1977. Effects of Puccinia sorghi on yield of flint corn in Argentina. Plant Disease Repoter 61(4): 256-258.
- Munkvold, G.P and A.E. Desjardins. 1997. Fumonisins in maize. Can we reduce their occurrence Plant Dis.81-556-565.
- Pataky, J.K and D.M. Eastburn.1993. Comparing partial resistance to puccinia sorghi and applications of fungicides for controlling common rust on sweet corn. Phytopathology 83 (10): 1046-1051.
- Pataky, J.; M. González; J. Brewbaker and R. Kopplers. 2001. Reaction to Rp-resistant, processing sweet corn hybrids to population of *Puccinia sorghi* virulent on corn with the Rp 1-D gene. HortScience Vol 36 (2): 324-327.
- Pataky, J.K y col. 1988. Classification of sweet corn hybrid reaction to common rust, norther corn leaf, Stewart's wilt and associated yield reduction. Phytopathology 78 : 172-178.
- Prelusky, D. B., B. A. Rotter, and R. G. Rotter. 1994. Toxicology of mycotoxins. p. 359-403. In: J. D. Miller and H. L Trenholm (ed.). Mycotoxins in Grains. Compounds Other than Aflatoxin. Eagan Press, St. Paul, MN.
- Reid, L. M., R. I. Hamilton, and D. E. Mather. 1996a. Screening maize for resistance to gibberella ear rot. Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa, ON. Tech. Bull. Publ. 1996-5E.
- Saubois, A., M. C. Nepote, and E. Piontelli. 1996. Regional distribution of *Fusarium* strains in corn from the province of Santa Fe, Argentina. Boletín Micológico 11:75-80.
- Sprague, G.F and J.W. Dudley eds. 1988. Corn and Corn Improvement.Third Edition.
- Shurtleff, M.C. 1980. Compendio de enfermedades del maíz. Servicio de Extensión Cooperativo, Universidad de Illinois y Servicio de Extensión, Departamento de Agricultura de Estados Unidos de América. 102 pp.
- Sutton, J. C. 1982. Epidemiology of wheat head blight and maize ear rot caused by *Fusarium graminearum*. Can. J. Plant Pathol. 4:195-209.
- Vallega, J. 1944. Observaciones preliminares sobre especialización fisiológica de *Puccinia sorghi* en la Argentina. Anales del Instituto Fitotécnico Santa Catalina 4: 14-16.
- Ward, J.; E. Stromberg; D. Nowelly F. Nutter. 1999. Gray leaf spot. A disease of global importance in maize production. Plant Disease Vol 83 (10): 884-895.
- White, D.G. 1999. Compendium of corn diseases APS Press. Mn. USA. 78 pp.

7. ENFERMEDADES CAUSADAS POR VIRUS Y MOLLICUTES EN EL CULTIVO DE MAÍZ

***Irma Graciela Laguna
María de la Paz Giménez Pecci***

INTA - Centro de Investigaciones Agropecuarias,
Córdoba

Indice

PARTE A. ENFERMEDADES CAUSADAS POR VIRUS	
Introducción	153
Maize dwarf mosaic virus (MDMV)	153
<i>Introducción</i>	153
<i>Etiología</i>	153
<i>Sintomatología</i>	153
<i>Transmisión y reservorios</i>	153
<i>Control</i>	154
<i>El MDMV en la Argentina</i>	154
<i>Ciclo de infección</i>	154
<i>Incidencia</i>	155
<i>Diagnóstico</i>	155
<i>Control</i>	155
Maize Chlorotic Mottle Virus (MCMV)	156
<i>Introducción</i>	156
<i>Etiología</i>	156
<i>Sintomatología</i>	156
<i>Transmisión y reservorios</i>	156
<i>Control</i>	156
<i>El MCMV en la Argentina</i>	156
<i>Ciclo de infección</i>	156
<i>Incidencia</i>	157
<i>Diagnóstico</i>	157
<i>Control</i>	157
Maize Rayado Fino Virus (MRFV)	157

Barley Yellow Dwarf Virus (BYDV)	158
Mal de Río Cuarto Virus (MRCV)	158
<i>Introducción</i>	158
<i>Etiología</i>	159
<i>Sintomatología</i>	160
<i>Ciclo de Infección</i>	162
<i>Incidencia</i>	162
<i>Transmisión y reservorios</i>	162
<i>Vector</i>	162
<i>Reservorios</i>	163
<i>Diagnóstico</i>	165
<i>Control</i>	166
<i>Epochas de siembra</i>	166
<i>Manejo cultural</i>	166
<i>Empleo de insecticidas</i>	166
<i>Control de malezas</i>	166
<i>Resistencia genética</i>	167
<i>Sistemas de pronóstico</i>	167
<i>Enemigos naturales de los vectores</i>	168
<i>Manejo integral</i>	168
Bibliografía	168

PARTE B. ENFERMEDADES CAUSADAS POR MOLICUTES

Introducción	173
Corn Stunt Spiroplasma (CSS)	173
<i>Etiología</i>	173
<i>Sintomatología</i>	173
<i>Transmisión y reservorios</i>	173
<i>Control</i>	173
<i>El Corn Stunt Spiroplasma en Argentina</i>	173
Fitoplasmas	175
<i>Etiología</i>	175
<i>Sintomatología</i>	175
<i>Transmisión</i>	175
<i>Control</i>	175
<i>Fitoplasmas en Argentina</i>	176
Bibliografía	176

PARTE A. Enfermedades causadas por virus

Introducción

Los virus son una de las principales causas de la reducción en la producción del cultivo de maíz. En el mundo se mencionan aproximadamente 32 virus que afectan al maíz, siendo los más importantes maize dwarf mosaic virus, maize chlorotic mottle virus, maize rayado fino virus, maize rough dwarf virus, maize streak virus, necrosis letal del maíz, maize mosaic virus, entre otros (Thottappilly y col., 1993; Mc Gee, 1994; Ivanovic y col., 1995; Jain y col., 1998).

En la Argentina se ha señalado la presencia del maize dwarf mosaic virus (MDMV), maize chlorotic mottle virus (MCMV), necrosis letal del maíz; raza D del Sugar cane mosaic virus (SCMV), maize rayado fino virus (MRFV), Barley yellow dwarf virus (BYDV) y Mal de Río Cuarto virus (MRCV), siendo este último notablemente más importante (Laguna, 1996).

Maize Dwarf Mosaic Virus (MDMV)

Introducción

Es el virus más ampliamente difundido en el mundo en el cultivo de maíz. Esta presente en Norte y Sudamérica (Nault y col., 1979), Europa, Asia, Australia (Mac Gee, 1994) produciendo importantes epidemias. Esta enfermedad fue reportada por primera vez en los Estados Unidos en 1962 (Janson y Ellett, 1963) y en 1965 su agente causal fue denominado maize dwarf mosaic mirus (Williams y Alexander, 1965).

Etiología

El MDMV fue primeramente descripto como una raza del Sugar cane mosaic virus (Pirone, 1972), pero actualmente se lo considera un miembro independiente de los potyvirus (Shukla y col., 1994; Murphy y col., 1995).

El patógeno es un virus de partícula filamentosa flexuosa (Fig.1). Tiene 6 razas diferentes: A, B, C, D, E y F que pueden

reconocerse por sus síntomas característicos en diferentes híbridos de maíz y su frecuencia de transmisión por los áfidos y diferencias serológicas (Lenardón y col., 1990; Lenardón y col., 1993). La raza A es la de mayor difusión en todo el mundo.

Sintomatología

Los síntomas principales ocasionados por este virus consisten en disminución del crecimiento de la planta, acortamiento de entrenudos, mosaico que se desarrolla en la base de las hojas más jóvenes y estrías verde claro y amarillas. Puede disminuir el tamaño de la mazorca y de los granos y se han señalado reducciones del rendimiento de hasta el 90% (Gregory y Ayers, 1982; Mc Gee, 1994). La disminución del rendimiento en variedades susceptibles se debe al menor desarrollo de la planta y a la reducción en la actividad fotosintética.

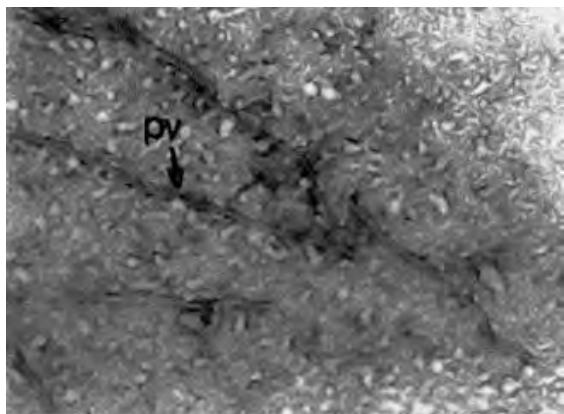


Figura 1. Partículas virus del Maize dwarf mosaic virus
pv. partícula virus.

Transmisión y reservorios

El MDMV puede infectar también a otras especies de gramíneas, como el sorgo (*Sorghum bicolor* L.), caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) y malezas gramíneas, *Digitaria sanguinalis* (L) Scop, *Paspalum fimbriatum*, *Rottboelia exaltata*, *Sorghum halepense* (L) Pers. y *Setaria verticillata* (L) Beav., (Fernandez Valiella, 1995), entre ellas se destaca el sorgo de alepo (*Sorghum halepense* (L.) Pers.).

Se dispersa en la naturaleza a través de áfidos en forma no persistente. Se han mencionado 25 especies transmisoras, siendo las más eficientes *Rhopalosiphum padi*, *Rhopalosiphum maydis*, *Myzus persicae*, *Acyrthosiphon pisum*, *Schizaphis graminum*, *Aphis gossypii*, *Aphis craccivora*, *Aphis maidiradicis*, *Rhopalosiphum poae*, *Theroaphis trifolii* (Knoke, y col., 1983; White, 1999).

Este virus se transmite también por semilla, aunque con muy baja frecuencia (0,007 - 0,5%), (Ford y col., 1989; Mc Gee, 1994).

Control

Se ha estudiado ampliamente la resistencia genética al Maize dwarf mosaic virus en maíz (Nault y col., 1982; Rosenkranz y Scott, 1984 entre otros), aunque los trabajos de Louie y col., (1991) sobre la base genética de 5 razas del MDMV son los más recientes.

El MDMV en la Argentina

En la Argentina, en 1973, Docampo y Laguna citan a este virus sobre maíz y sorgo ocasionando una sintomatología variable de acuerdo con el estado vegetativo en el momento de la infección, aunque, en términos generales, consiste en acortamiento de entrenudos, con disminución del crecimiento de las plantas (Fig.2) y en las hojas un mosaico formado por estrías cortas verde más claro que el normal de la hoja, y anillos cloróticos (Fig.3). En sorgo su sintomatología es más variable y severa, caracterizada por síntomas cloróticos y necróticos (Fig.4a y 4b). Docampo y Laguna (1973), Lenardón y col. (1996); Alegre y col. (1998) comprueban también la presencia del virus en sorgo de alepo con síntomas de mosaico y necrosis (Fig.5), siendo ellos más marcados en los rebrotos de la primavera.

En el país esta presente en todas las áreas productoras de maíz con valores de frecuencia de hasta el 32% (Nome y col., 1981a y 1981b; Teyssandier y col., 1983; Yossen, 1991). Delfino (1983) señala la presencia de la casi totalidad de los áfidos citados como vectores de este virus en los cereales de Argentina.



Figura 2. Planta con acortamiento de entrenudos, enanismo. *Maize dwarf mosaic virus*.



Figura 3. Hoja de maíz con estrías y anillos cloróticos causadas por el *Maize dwarf mosaic virus*.

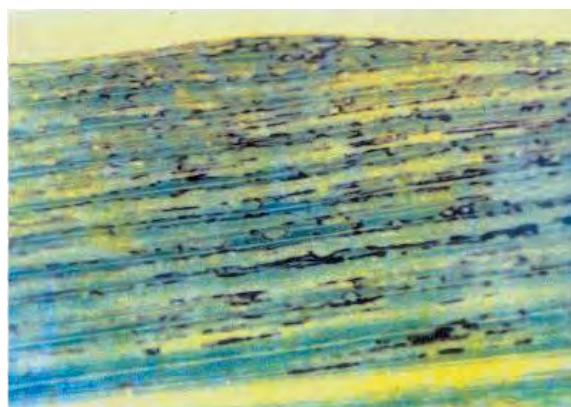


Figura 4a. Sorgo: *Sorghum bicolor* (L) Moench con síntomas de *Maize dwarf mosaic virus*. Síntomas cloróticos y necrosis incipiente.

Ciclo de infección

Los áfidos transmiten la virosis desde los rebrotos de primavera del sorgo de alepo, (el que constituye una fuente de infección primaria), a las plantas de maíz. También puede haber infección



Figura 4b. Sorgo: *Sorghum bicolor* (L) Moench con síntomas de *Maize dwarf mosaic virus*. Necrosis extensiva.

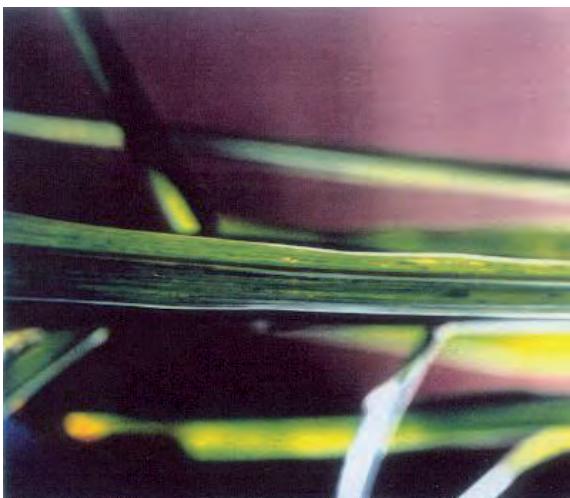


Figura 5. Sorgo de Alepo: *Sorghum halepense* (L). Pers con síntomas de *Maize dwarf mosaic virus*.

desde plantas de maíz enfermas a plantas sanas del lote (infección secundaria) (Fig. 6). Asimismo, las plantas que nacen enfermas por transmisión por semilla (en muy bajos porcentajes) pueden constituir una fuente de infección primaria, aunque de escasa importancia. No se descarta la infección desde cultivos de sorgo a cultivos de maíz.

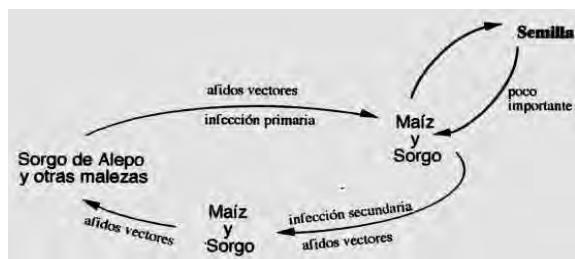


Figura 6. Ciclo de infección del *Maize dwarf mosaic virus*

Incidencia

Lenardón y col. (1982) evalúan la incidencia de este virus sobre la producción y la calidad de diferentes híbridos de maíz registrando pérdidas de hasta el 70%. Docampo y Laguna (1973) señalan que, teniendo en cuenta que el sorgo de alepo se comporta como un reservorio permanente, la incidencia de la virosis dependerá de la fluctuación anual de la población de vectores. Si los vectores están presentes en el momento de emergencia de las plantas se producirá una infección temprana con un grado de incidencia máxima de la enfermedad. En cambio, si las poblaciones de vectores aparecen cuando las plantas están ya maduras o muy cerca de la cosecha, es probable que la enfermedad pase inadvertida o con muy leve incidencia. En los períodos 96/97 y 97/98 resultaron preocupantes los elevados índices de incidencia en las provincias de Córdoba (hasta 44 %) y de Buenos Aires (hasta 32 %). La reducción promedio en la producción de grano en plantas afectadas en etapas tempranas de su desarrollo y de genotipos susceptibles oscila entre 30 y 50 % (Lenardón y Giolitti, 1999).

Diagnóstico

Se realiza empleando pruebas serológicas (ELISA) o de inmunomicroscopía electrónica (ISEM, ISEM + Decorado) y Western- Blot. Existen en el país laboratorios que realizan estos análisis.

Control

Para el control o reducción de la incidencia del Maize dwarf mosaic virus debe efectuarse un manejo complementario al uso de cultivares resistentes, eliminar malezas reservorios y emplear épocas de siembra que «escapen» a los picos poblacionales de los insectos vectores. Se han realizado estudios preliminares de dinámica poblacional de áfidos e infección del MDMV en cultivos de maíz y sorgo para un área de la provincia de Córdoba, registrándose para maíz la mayor frecuencia de actividad entre el 4 y 26 de noviembre y para sorgo desde fines de diciembre hasta finalizar la primera quincena de enero (Herrera y col., 1995; Alegre y col., 1996). Indudablemente, la resistencia varietal es la vía más segura de control de la enfermedad, lo

que debería ser contemplado en los trabajos de mejoramiento de maíz.

Maize Chlorotic Mottle Virus (MCMV)

Introducción

Este es uno de los virus más recientemente detectados en maíz en el mundo. Se reportó en 1974 en Perú (Castillo y Hebert, 1974), donde está ampliamente distribuido en áreas maiceras y posteriormente en los Estados Unidos (Uyemoto 1980; 1983), México (Fernández Valiela, 1995), Perú (Murphy y col., 1995), Brasil y la Argentina (Nome y col., 1981a y White, 1999).

Etiología

El virus tiene una partícula icosaédrica de 28 a 30 nm de diámetro. Se caracteriza por su gran resistencia a las altas temperaturas y diluciones.

Sintomatología

Los síntomas ocasionados por este virus consisten en un acortamiento de entrenudos, reducción del crecimiento de las plantas; estrías cloróticas paralelas a las nervaduras de las hojas que pueden confluir y formar grandes áreas cloróticas que dan al follaje un aspecto ligeramente amarillo. Las inflorescencias masculinas tienen raquis cortos y erectos, reduciéndose el número de mazorcas y la cantidad de granos. Se han señalado reducciones del rendimiento de hasta el 90% (Uyemoto y col., 1981)

El Maize chlorotic mottle virus en infección sinérgica con el Maize dwarf mosaic virus o el Wheat streak mosaic virus ocasionan el Corn Lethal Necrosis (C.L.N.) citado por primera vez en 1978 (Niblett y Claflin, 1978), como una severa sintomatología consistente en necrosis progresiva de las hojas y prematura muerte de las plantas.

Transmisión y reservorios

Es transmitido en la naturaleza por 6 especies de Crisomélidos: *Oulema melanopa*,

Chaetocnema pulicaria, *Systema frontalis*, *Diabrotica undecimpunctata*, *Diabrotica longicornis* y *Diabrotica virgifera* (Smith y White, 1988). El virus infecta también a varias especies de gramíneas entre ellas *Panicum miliaceum*, *Setaria lutescens*, *Setaria viridis* (L) Beauv., (Bockelman y col., 1982). Este virus no infecta el cultivo de sorgo. Se han señalado el serotipo MCMV-P (aislamiento Perú) y el serotipo, MCMV-K (aislamiento Kansas), y posteriormente se registró un aislamiento Hawaiano, que se transmite por trips (Jain y col., 1990). Asimismo se señaló la transmisión por semilla de este virus.

Control

Se mencionan disminuciones notables de la incidencia con rotaciones del maíz con soja o sorgo (Mc Gee, 1994, Uyemoto y col., 1981; Uyemoto, 1983) observándose que el monocultivo de maíz aumentó la incidencia del MCMV ya que este virus sobrevive en los restos de maíz desde donde lo adquieren las larvas de los Crisomélidos vectores.

El MCMV en la Argentina

En la Argentina el virus fue detectado en 1981 (Nome y col., 1981a) durante un programa de relevamiento de virosis de maíz con valores de frecuencia entre 2 y 6% y fue posteriormente aislado e identificado de muestras provenientes de Río Cuarto (provincia de Córdoba) y Pergamino (provincia de Buenos Aires) (Yossen y col., 1982). En las plantas se observaron manchas cloróticas pequeñas, alargadas (Fig. 7) y clorosis generalizadas (Fig. 8). Los estudios serológicos de los aislamientos del país hacen suponer que estos aislamientos son similares al serotipo MCMV-K (aislamiento Kansas) (Yossen y col., 1982)

Ciclo de infección

El virus se mantiene en el invierno en diferentes especies de gramíneas y desde allí pasa al cultivo de maíz a través de Crisomélidos que lo transmiten en forma persistente (infección primaria). Pueden ocurrir también infecciones

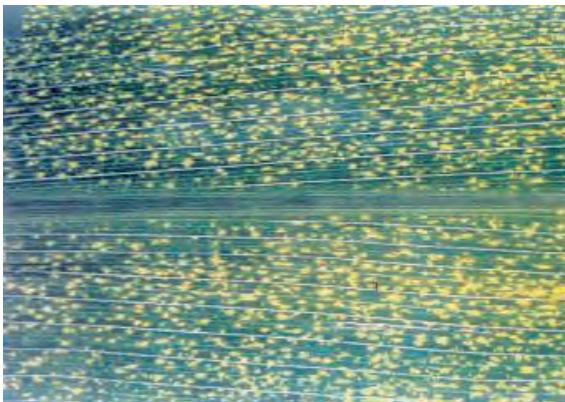


Figura 7. Hoja de maíz con áreas pequeñas cloróticas, causadas por el *Maize chlorotic mottle virus*



Figura 8. Planta de maíz con clorosis generalizada. *Maize chlorotic mottle virus*.

secundarias cuando los vectores transmiten la enfermedad de plantas de maíz enfermas a plantas sanas (Fig. 9).



Figura 9. Ciclo de infección del *Maize chlorotic mottle virus*.

Incidencia

Lenardón y col. (1985) evaluaron durante dos períodos agrícolas el efecto de infecciones artificiales de MCMV en distintos estados

fenológicos de un cultivar de maíz, registrando disminuciones significativas en altura de la planta, diámetro del tallo y rendimiento, siendo éste más marcado cuando las infecciones se realizan en los primeros estados de crecimiento de las plantas.

La infección sinérgica del MCMV y el MDMV (necrosis letal) fue también mencionada en la Argentina (Nome y Yossen, 1981) en materiales provenientes de Río Cuarto y Pergamino occasionando severos síntomas necróticos en la totalidad de las hojas y en algunos casos provocando la muerte de plantas.

Diagnóstico

Se pueden realizar análisis serológicos para detectar al Maize chlorotic mottle virus a través de técnicas serológicas (ELISA). En el país existen laboratorios que brindan estos servicios.

Control

Se aconsejan las rotaciones con sorgo o soja para reducir su incidencia, las que resultaron muy efectivas en otros países (Mc Gee, 1994).

Maize Rayado Fino Virus (MRFV)

Se conoce también como «Rayado Colombiano del Maíz» o Brazilian Corn Streak. Fue descripto por primera vez en El Salvador en 1961 y actualmente está presente en gran parte del continente americano: EE.UU., México, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panamá, Colombia, Perú, Paraguay, Venezuela, Uruguay, Brasil (White, 1999) y Argentina (Nome y col. 1984; Giménez Pecci y col, 2000). En la Argentina, si bien se lo detectó por primera vez en 1981 en un área restringida, en la actualidad está presente en varias provincias del norte del país (Jujuy, Tucumán, Salta, Catamarca y Misiones) (Giménez Pecci y col., 2001).

Los síntomas se manifiestan con estrías cloróticas delgadas a lo largo de las nervaduras de las hojas (Fig. 10), en algunos casos se observa enanismo y disminución en la producción de las plantas afectadas. El virus se transmite en forma persistente propagativa por



Figura 10. Hoja de maíz con estrías cloróticas muy delgadas. *Maize rayado fino virus*.

el Cicadelidae y no se transmite por semilla.

Equipos de trabajo brasileños y argentinos efectuaron estudios tendientes a determinar la variabilidad de los aislamientos en ambos países de MRFV de diferentes regiones geográficas y se registró que los aislamientos brasileños mostraron 97,4% de homología con aislamientos argentinos, lo que indicaría que están estrechamente relacionados (Derengowski y col., 2001).

En la Argentina aún no se efectuaron estudios de evaluación de pérdidas o daños causados por esta virosis.

Barley Yellow Dwarf Virus (BYDV)

Este virus está ampliamente difundido en la Argentina en los cultivos de trigo, avena y cebada, también fue detectado en maíz, en cultivos de la provincia de Córdoba. Se manifiesta con enrojecimiento de las hojas del maíz. En 1995 se detectaron infecciones mixtas del Barley Yellow Dwarf Virus con el Virus del Mal de Río Cuarto (Truol, 1999).

El virus se transmite en forma persistente circulatoria por 23 especies de áfidos. En el país no se ha evaluado la importancia y las pérdidas que ocasiona en maíz.

Mal de Río Cuarto Virus (MRCV)

Introducción

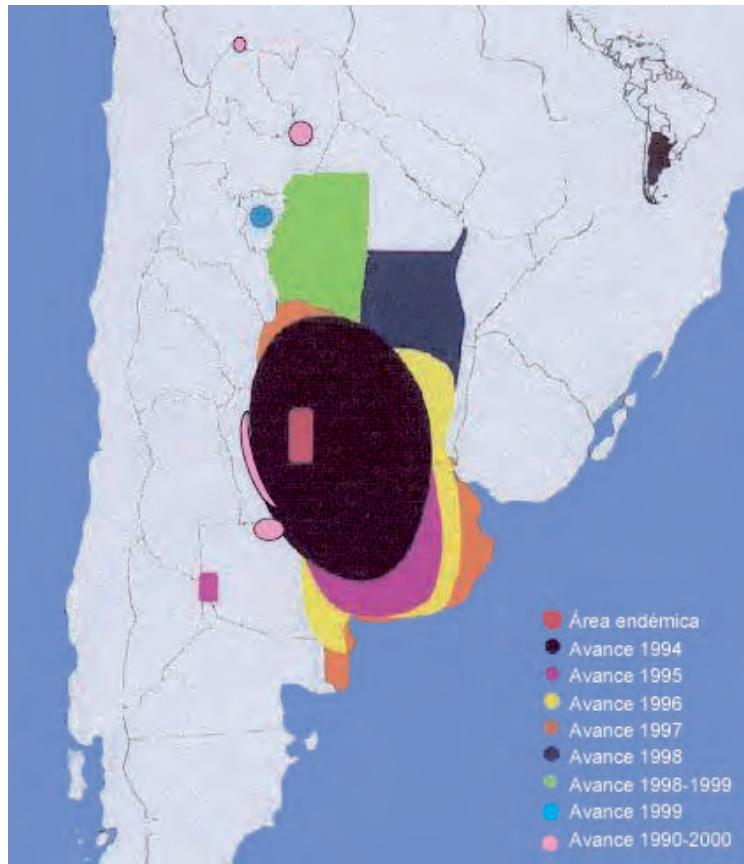
Las frecuentes y elevadas pérdidas ocasionadas por este virus en el cultivo de maíz en el sur de la provincia de Córdoba y su gradual dispersión hacia otras áreas maiceras hacen

de esta enfermedad la más importante de este cultivo en el país (March y col., 1992).

En 1967, técnicos de la Agencia de Extensión del INTA Río Cuarto (Agr.J.C.Ponce, com. pers.) observaron que algunos lotes de maíz presentaban una sintomatología desconocida en el área hasta ese momento. A partir de ese año, el «Mal de Río Cuarto» se ha manifestado con diferentes grados de incidencia y severidad en todas las campañas agrícolas posteriores, por lo que se puede considerar que se trata de una enfermedad endémica en esta importante zona maicera. En la campaña agrícola 1976/77, la enfermedad adquiere por primera vez características epifíticas, afectando severamente algunos lotes de maíz y causando hasta un 80% de pérdidas. Observándose en el resto de dicha área maicera, porcentajes de afectación variables. Desde entonces, la enfermedad se fue extendiendo gradualmente, aunque con bajo grado de incidencia (1-5%). En la campaña agrícola 1981/82 se verifica la más extendida y severa epifitía ocasionada por esta enfermedad, hasta ese momento, produciéndose la pérdida de más de 55.000 ha de las 360.000 sembradas en el departamento Río Cuarto de la provincia de Córdoba, variando en el resto de esta área el grado de incidencia y ocasionando disminuciones en los rendimientos (Lenardón y col., 1987).

Posteriormente, la enfermedad se dispersó al centro y norte de la provincia de Córdoba y paulatinamente a las provincias de Santa Fe, Buenos Aires, San Luis, La Pampa (Remes Lenicov y col., 1998; Laguna y Giménez Pecci, 1997; Laguna y Di Feo, 1997). A fines de 1997 se detectó su presencia en el área de Tafí del Valle, provincia de Tucumán (Virla y col., 1998) y del Uruguay (Ornagui y col., 1999) y en la campaña 1996/97 se produjo la mayor epifitía de la virosis, afectando aproximadamente 300.000 has en las provincias de Santa Fe, Córdoba y Buenos Aires (Lenardón y col., 1998).

En el período 1998/99 la enfermedad se dispersó hacia el Noroeste del país y en 1999/2000 hacia el Nordeste (Mapa 1) (Laguna



Mapa 1: Revolución de la Difusión del Mal de Río Cuarto virus en Argentina

y col. 2000 y 2001). En la actualidad el virus del Mal de Río Cuarto está presente en las provincias de Córdoba, Santa Fe, Buenos Aires, La Pampa, San Luis, Santiago del Estero, Catamarca, Tucumán, Salta, Jujuy, Formosa, Chaco, Corrientes, Entre Ríos y Misiones (Laguna y col., 2002). Asimismo la virosis fue registrada en diversas localidades del Uruguay en 1998 (Ornaghi y col., 1999).

Giménez Pecci y Truol (1991) detectaron en la campaña agrícola 1990/91 la infección del virus del Mal de Río Cuarto simultáneamente con el Maiz dwarf mosaic virus con altos valores de incidencia y severidad de síntomas en varios cultivares de maíz.

Etiología

Nome y col. (1980 y 1981) y Bradfute y col. (1981), identifican a un reovirus como el

agente causal de esta virosis y posteriormente Milne y col., (1983) y Milne y Boccardo (1984) relacionan a este reovirus más específicamente al género Fijivirus con el Maize rough dwarf virus o probablemente una raza del mismo. En la actualidad se lo identificó como un Fijivirus denominado Mal de Río Cuarto Virus. Las partículas de este Fijivirus tienen configuración icosaédrica (Fig. 11) y se encuentran en altas concentraciones en protuberancias (enaciones) que se forman en las plantas infectadas.

En estudios posteriores realizados con sondas de hibridación molecular y mediante la técnica de Northern-blot, se determinó que en ningún caso distintas sondas del Virus del Mal de Río Cuarto hibridaron con material de Maize rough dwarf virus procedente de Italia y viceversa. Ninguna de las diferentes sondas del aislamiento italiano hibridaron con el virus del «Mal de Río Cuarto». Estos resultados

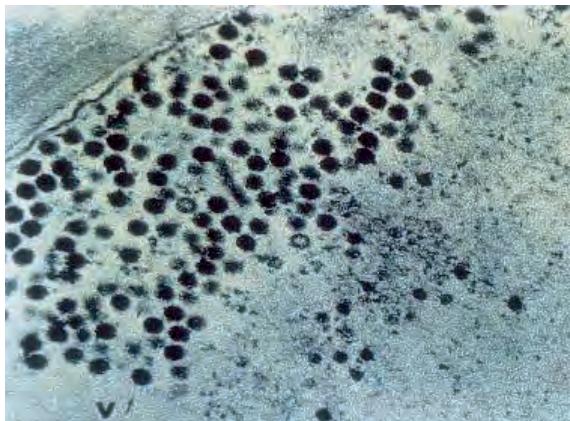


Figura 11. Partícula viral de *Mal de Río Cuarto virus*. V: partícula virus.

presentarían un fuerte indicio de que no se trataría de la misma entidad viral a pesar de la similitud existente entre ellos (Conci y Marzachi, 1993)

Sintomatología

En hojas: la lámina foliar se arruga, en los márgenes se observan cortes transversales, y pueden casi desaparecer las hojas superiores quedando reducidas las mismas a la vaina (Fig. 12). En el envés de las hojas se observan las enaciones (o pequeños tumores) que son un síntoma distintivo de la enfermedad (Fig. 13), estas enaciones pueden formarse también en las brácteas de las espigas y en las vainas foliares. Son frecuentes las divisiones longitudinales de la laminar foliar.

Las plantas tienen un aspecto achaparrado y a veces llegan a un grado severo de enanismo, no sobrepasando los 50 cm de altura (Fig. 14).

Los tallos: se ven achatados y con acortamiento de entrenudos. Se produce proliferación de mazorcas, las que se ven pequeñas, deformadas (Fig. 15), con flores estériles y escasos granos (Fig. 16). Las panojas masculinas se ven totalmente reducidas con flores parcial o totalmente ausentes. En algunos casos se observa una atrofia muy severa de mazorcas y panojas.

El sistema radicular se reduce y se forman cortes o lesiones necróticas (Fig. 17). Se realizó



Figura 12. Planta de maíz con *Mal de Río Cuarto Virus*. Hojas superiores muy reducidas, casi inexistentes.



Figura 13. *Mal de Río Cuarto Virus*: Enaciones en el envés de las hojas.



Figura 14. *Mal de Río Cuarto Virus* en maíz: achaparramiento, acortamiento severo de entrenudos, proliferación mazorcas y tallo muy engrosado.



Figura 15. Proliferación de mazorcas: Síntoma causado por el *Mal de Río Cuarto Virus*.



Figura 16. Mazorcas deformadas con escasos granos. *Mal de Río Cuarto Virus*.



Figura 17. Raíces de maíz. *Mal de Río Cuarto Virus*. Lesiones necróticas.

un estudio de giberelinas en plantas enfermas y se observó un metabolismo diferencial con el de plantas sanas, sugiriéndose que la disminución del crecimiento de raíz y probablemente el enanismo del tallo sean consecuencia de alteraciones hormonales que se producen por la infección del virus (Tordable y col., 1993; Poloni y col., 1993).

Cuando las infecciones son tardías, las plantas alcanzan una altura casi normal y con las hojas del tercio superior erguidas y menor desarrollo de lámina foliar.

Si la infección es muy temprana, la altura de las plantas es muy reducida y las plantas infectadas mueren debido a una necrosis descendente.

Ciclo de infección

En la primavera, los Delphacidos vectores que desarrollaron sus poblaciones en invierno en avena, avena-melilotus, trigo, centeno y cebada o malezas invernales o perennes transmiten la virosis a plantas de maíz o a malezas de ciclo primavera-estival (inicio de la dispersión que coincide con la declinación de las especies invernales). Tampoco se debe descartar la transmisión desde sorgo infectado. Sólo se infectan las plantas jóvenes, se ha comprobado que las plantas pueden infectarse hasta el estadio de siete hojas. Esto hace descartar la posibilidad de infecciones secundarias dentro del cultivo de maíz, pues hasta que transcurra el tiempo que necesita para que se cumpla el período de incubación, tres semanas aproximadamente (multiplicación del virus en el vector), las plantas de maíz habrán alcanzado un estado de madurez que las vuelve no susceptibles a la infección.

Entre mediados de noviembre y mediados de diciembre se producen los mayores niveles de densidad poblacional de los Delfácidos en maíz y en malezas circundantes. En los meses de febrero y marzo los insectos infectados pasan a la avena o a la consociación avena-melilotus y posteriormente pueden pasar al cultivo de trigo, centeno, cebada, triticale y a malezas invernales desde donde reinician su ciclo en la primavera (Fig. 18).



Figura 18. Ciclo de infección del *Mal de Río Cuarto* virus.

Incidencia

March y col. (1992, 1993) evaluaron la incidencia de la virosis y las pérdidas causadas a la producción durante 11 períodos agrícolas en 50 lotes comerciales ubicados en el área endémica de la virosis (localidades de Chaján,

Río Cuarto, Sampacho y Suco del departamento Río Cuarto en la provincia de Córdoba). Estos autores registraron una incidencia de la enfermedad inferior al 20% en las campañas 1982/83, 1984/85, 1985/86 y 1991/92, variable entre 20 y 25% en 1983/84, 1986/87, 1987/88 y 1988/89 y superior al 40% en 1981/82, 1989/90 y 1990/91. En el período agrícola 1996/97 se registró la más severa epifitía causada por esta enfermedad.

Transmisión y reservorios

Vector

El virus se transmite en forma persistente, propagativa (persiste en el vector durante toda su vida y se multiplica en él) a través de Delphacidae («chicharritas»). En 1985 se identificó a *Delphacodes kuscheli* Fennah (Homoptera, Delphacidae) (Fig. 19) (Remes Lenicov y col., 1985; Ornaghi y col., citado por Lenardón y col., 1985b). En 1994, Muñoz y col., (com.personal) demuestran en forma experimental la capacidad vectora de *Toya propinquua* (Fieber) (Fig. 20). Asimismo, Presello y col., 1997 comprueban la capacidad de *T. propinquua* de adquirir el virus. Posteriormente se determinó que las especies *Delphacodes tigrinus* Remes Lenicov y Varela (Velázquez y col., 2002) y *Toya propinquua* (Fieber) (Velazquez y col., 2001) tienen capacidad de transmitir el virus naturalmente.

Diversos autores efectuaron estudios poblacionales de Delphacidae sobre cultivos de maíz, avena, avena-melilotus, centeno,

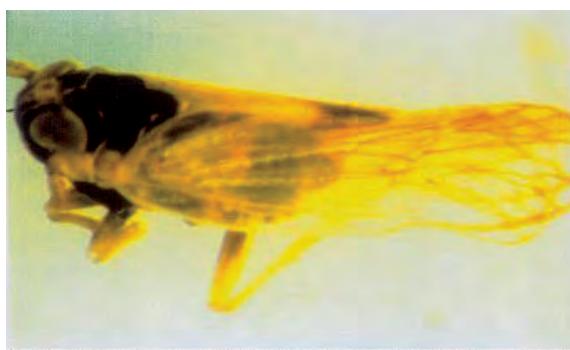


Figura 19. *Delphacodes kuschelli* Fennah. Fotografía cedida por la Cátedra de Zoología Agrícola, Facultad de Agronomía y Veterinaria de Universidad Nacional de Río Cuarto.



Figura 20. *Troya propinqua* Fieber. Fotografía cedida por el Laboratorio de Fitopatología, Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba.

trigo y malezas gramíneas en el área endémica de la enfermedad, registrando que la mayoría de los Delphacidae correspondían a *Delphacodes kuscheli* y en orden decreciente a *Toya propinqua*, *Toya argentinensis* Muir y *Delphacodes haywardii* Muir (Grilli y Gorla 1993; Laguna y col., 1991; March y col., 1993ab; Ornaghi y Sanchez, 1987; Ornaghi y col., 1993; Ornaghi y col., 1993b; Remes Lenicov y col., 1985, 1987 y 1991a; Teson y col., 1986; Trumper y col., 1991). Estas investigaciones permitieron comprobar para el área endémica que:

* *D. kuschelli* está presente todo el año en la zona de Sampacho.

* Durante el otoño e invierno las formas hibernantes (ninfas V y adultos) viven en avena destinada a pasturas y en menor proporción en malezas circundantes desapareciendo en febrero (lo que coincide con la senescencia de estos cultivos), observándose picos poblacionales en noviembre-diciembre. Es importante tener en cuenta que, en el área endémica de la enfermedad son frecuentes las siembras de avena y avena melilotus en los meses de febrero y marzo para pastoreo directo.

* Se observó *D. kuschelli* sobre el cultivo de maíz durante octubre, noviembre, diciembre y enero, registrándose un pico en los meses de noviembre y diciembre (especialmente desde mediados de noviembre a mediados de diciembre).

* Sobre malezas gramíneas los picos de densidad poblacional se observan en noviembre y diciembre.

* Es mayor el número de ejemplares observados sobre avena que en maíz o malezas, siendo en estas últimas mayor que en maíz.

* Se encontraron elevados porcentajes de ninfas y mayores tasas de incremento poblacional en avena y trigo, lo que indicaría que son hospedantes muy adecuados para el desarrollo de las poblaciones de este vector.

Al norte de la provincia de Córdoba (Dpto. Colón), en el área próxima a Jesús María, se realizaron muestreos sobre cultivos de maíz, avena y sobre sus malezas circundantes (Boito y col., 1993), observándose que la especie más abundante sobre maíz fue *D. kuscheli*, luego *D. haywardii* y *T. propinqua*. Sobre avena todos los individuos recolectados pertenecían a las especies *D. kuscheli* y *T. propinqua* (Muñoz, 1993. Informe PROMARC 1993) y sobre la maleza la especie más frecuente fue *T. propinqua*. Se señala también que los picos poblacionales en esta área se produjeron entre mediados de noviembre y la primera semana de diciembre.

Muñoz y col. (1990, 1991a) observaron al microscopio electrónico partículas de reovirus completas e incompletas en las glándulas salivales de los insectos vectores. Esto aportaría evidencias de que dichas partículas se multiplican en los tejidos de sus vectores.

Cabe señalar que se ha comprobado que del total de individuos que se capturan en el campo sólo del 7,9 al 10,5% son virulíferos (Lenardon, S. comunicación personal) y en infecciones artificiales se registró una eficiencia de transmisión muy baja (0,5% a 5,2%) (Ornaghi y col., 1993). Posteriormente se han optimizado las técnicas de transmisión lográndose mayor eficiencia (Ornaghi, com. per; Truol y col., 1997).

Reservorios

El virus del Mal de Río Cuarto ha sido detectado en varias especies cultivadas y en diferentes especies de malezas. En la actualidad se han registrado 32 especies que actúan como reservorios del virus (Cuadro 1).

En sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) se detectó en la campaña agrícola 1990/91, provocando una sintomatología que consiste

Cuadro 1. Especies cultivadas y malezas reservorios del Mal de Río Cuarto virus

Especies cultivadas cerealeras		Especies forrajeras y malezas	
<i>Avena sativa</i>	Avena	<i>Bromus unioloides</i>	Cebadilla criolla
<i>Triticum aestivum</i>	Trigo	<i>Digitaria sanguinalis</i>	Pata de gallina
<i>Sorghum vulgare</i>	Sorgo	<i>Setaria verticilata</i>	Cola de zorro
<i>Panicum milliaceum</i>	Mijo	<i>Cenchrus echinatus</i>	Cadillo
<i>Setaria italica</i>	Moha de Hungría	<i>Cynodon dactylon</i>	Gramón
<i>Secale cereale</i>	Centeno	<i>Echinocloa colonum</i>	Pasto colorado
<i>Triticum aestivum x Secale cereale</i>	Triticale	<i>Echinocloa crus-galli</i>	Capín arroz
<i>Triticum sp. x Secale sp. x Agropirum sp.</i>	Tricepiro	<i>Eleusine indica</i>	Grama carraspera
<i>Hordeum vulgare</i>	Cebada	<i>Sorghum halepense</i>	Sorgo de alepo
<i>Chloris gayana</i>	Grama rhodes	<i>Cyperus cayenensis</i>	Cebollín
<i>Panicum maximum</i>	Gatton panic	<i>Arundo donax</i>	Caña de castilla
<i>Eragrostis curvula</i>	Pasto llorón	<i>Eragrostis virescens</i>	Pasto volador
<i>Panicum coloratum</i>	Panicum	<i>Cenchrus pauciflorus</i>	Roseta
		<i>Eleusine indica</i>	Pasto cuaresma
		<i>Bromus brevis</i>	Cebadilla criolla
		<i>Setaria cordobensis</i>	Cola de zorro
		<i>Stipa tenuissima</i>	Paja blanca

en arrugamiento de la lámina foliar, frecuentes cortes transversales de los márgenes, marcadas enaciones en el envés de las hojas (Fig. 21), esterilidad en panojas y achaparramiento de las plantas (Giorda y Muñoz, 1993; Muñoz y col., 1991).

En avena (*Avena sativa* L.) se observó la presencia del virus del Mal de Río Cuarto desde 1991 en las localidades de Manfredi, Sampacho, Vicuña Mackenna, Elena (provincia de Córdoba) y Santa Isabel (provincia de Santa Fe) y desde 1994 en el área Norte de la provincia de Córdoba, ocasionando síntomas de aspecto arrosetado y achaparramiento generalizado de las plantas. Los bordes de las hojas aserrados y recortados, nervaduras engrosadas, enaciones en el envés de las hojas y esterilidad de espiguillas (Fig. 22) (Giménez Pecci y col., 1993).

En trigo (*Triticum aestivum* L.) el Mal de Río Cuarto fue detectado en el área endémica de la enfermedad y en algunas áreas de las provincias de Santa Fe, Córdoba y Buenos Aires, con síntomas de deformación de la lámina foliar (enroscamiento, bordes aserrados), acortamiento de entrenudos (Fig. 23), curvamiento de espigas y espiguillas, espigas vanas (Rodríguez Pardina y col., 1994).



Figura 21. Hoja de sorgo. *Sorghum bicolor* L. Moench.

También la virosis se ha detectado en centeno (Rodríguez Pardina y col., 1998), cebada (Giménez Pecci y col., 1997), triticale y cebadilla criolla (*Bromus unioloides* H. B. K.) y tricepiro (Giménez Pecci y col., 1997b; Giménez Pecci y col., 1998) en los que produce síntomas similares a los otros hospedantes ya mencionados.

La avena y el trigo tienen un importante rol en la epidemiología de la virosis ya que son reservorios del virus y sitios preferenciales para el desarrollo de poblaciones de sus vectores.

En mijo común (*Panicum milliaceum* L.) (Lenardón y col., 1987; Marinelli y col., 1988) y en moha de Hungría (*Setaria italica* (L)



Figura 22. Avena sativa: acortamiento de entrenudos, hojas enroscadas *Mal de Río Cuarto virus*.



Figura 23. Trigo, síntomas del MRCV en *Triticum aestivum* L.. Acortamiento de entrenudos, hojas enroscadas y deformadas: *Mal de Río Cuarto virus*.

Beauvois) (Ornaghi y col., 1993d) los síntomas se manifiestan con acortamiento de entrenudos, hojas recortadas, inflorescencias deformadas y menor producción de semillas.

En centeno (*Secale cereale* L.) la virosis se detectó desde 1994 en el área endémica, manifestando las plantas enanismo, hojas enrolladas, deformadas, con aspecto de tirabuzón, deformación de espigas, con esterilidad total o parcial de las mismas (Rodríguez Pardina y col., 1995a). Esta especie

constituye también un reservorio donde se desarrollan colonias de *D. kuscheli* en el invierno (Ornaghi y col., 1993b).

En cebada (*Hordeum vulgare* L.) el Mal de Río Cuarto se registró desde 1996 en el área endémica (sur de la provincia de Córdoba) (Giménez Pecci y col., 1997a) y posteriormente en el área norte (Giménez Pecci y col., 1997b). La manifestación de síntomas es similar a la observada en otros hospedantes. Estudios de frecuencia realizados en el área endémica registraron valores hasta el 37,5 % de incidencia en algunos lotes.

Triticale (*Triticum x Secale*) y cebadilla criolla (*Bromus unioloides* H.B.K.) han sido registrados como hospedantes del virus en 1997, observándose en ellos posturas de *D. kuscheli*. (Giménez Pecci y col., 1997c),

Desde 1983 a la actualidad el virus ha sido detectado en 11 especies de malezas: *Eleusine indica* (L) Gaer, *Cynodon dactylon* (L) Pers, *Cyperus cayennensis* (Lam) Britt, *Eragrostis virescens* Pers., *Digitaria sanguinalis* (L) Scop, *Cenchrus echinatus* L, *Cyperus rotundus* L., *Cenchrus pauciflorus* Benth, *Setaria verticillata* (L.) Beauvois, *Echinocloa colonum* (L) Link, *Echinocloa crusgalli* y *Sorghum halepense* (L) Pers. (Conci y col., 1988; Laguna y col., 1991 Marinelli y col., 1988; Nome y col., 1983; Ornaghi y col., 1993d; Rodríguez Pardina y Laguna, 1993) correspondiendo a la última especie los mayores porcentajes de plantas enfermas y registrándose en ella mayores concentraciones de virus en sus tejidos, lo que estaría indicando que es un importante reservorio de virus por su naturaleza perenne y amplia difusión.

Diagnóstico

Este virus se puede diagnosticar en material vegetal (hojas o raíces) empleando las técnicas serológicas de DAS-ELISA, NC-ELISA, microscopía electrónica, electroforesis y sondas (hibridación molecular) (Conci, L. 1991; Giménez Pecci y col., 1991; Rodriguez Pardina y Conci, 1993). La presencia del virus en los insectos vectores se determina a través de DAS-ELISA y actualmente a través de sondas (Conci, 1997).

Existen en el país laboratorios que realizan este servicio para instituciones oficiales, privadas y productores.

Control

El manejo eficiente de cualquier enfermedad requiere la adopción de un programa integral de control que procure alterar las condiciones favorables al desarrollo de las mismas y disminuya la cantidad de inóculo (fuente de infección) para el inicio de epidemias.

Numerosos investigadores pertenecientes a diversas instituciones del ámbito oficial y privado en el país han trabajado en la búsqueda de diferentes alternativas para disminuir la incidencia de esta importante enfermedad.

Epochas de siembra

Lenardón y col., (1987 a, b, c) en ensayos realizados en el área endémica de la virosis registran una mayor incidencia de la virosis en siembras de fines de octubre a principios de diciembre indicando como adecuado para «escapar» a la infección las siembras muy tempranas: todo el mes de septiembre y primera quincena de octubre.

Esto se debería fundamentalmente a que los picos poblacionales de los vectores se producen entre mediados de noviembre y mediados de diciembre. Se pueden emplear como una alternativa de «escape» las siembras muy tardías (fines de diciembre). March y col. (1997) atribuyen el efecto de las épocas de siembra a varios factores (climáticos, densidad poblacional y evolución de la estructura poblacional del vector, infectividad y eficiencia de los vectores, evolución de los cultivos de avena y trigo). Presello (1991) registró también, para el área de Pergamino (provincia de Buenos Aires), mayores niveles de infección en las épocas de siembra del mes de noviembre.

Si bien pueden existir factores climáticos que dificulten las siembras en el momento adecuado, el empleo de siembras tempranas es el de mayor efectividad hasta el momento.

Manejo cultural

March y col. (1984) ensayaron el empleo de diferentes tipos de labranza para disminuir la

incidencia de la virosis utilizando experimentos de parcelas divididas. Las alternativas empleadas fueron: parcelas principales: con y sin laboreo anticipado, y las subparcelas: labranza convencional, labranza cero sin insecticida, labranza cero con aplicación de insecticida carbofurán a la semilla durante la siembra . El tratamiento sin laboreo anticipado, labranza cero y aplicación de insecticida a la semilla disminuyó la incidencia del Mal de Río Cuarto.

Empleo de insecticidas

March y col. (1985), estudiaron el efecto de diferentes insecticidas sistémicos (aldicarb, carbofurán, disulfoton) en formulaciones granuladas y aplicados junto con la semilla en el momento de la siembra. Los tres insecticidas lograron disminuir la incidencia de la virosis, destacándose el efecto del aldicarb y carbofurán en dosis de 105 g de producto activo cada 1.000 m de surco.

Se realizaron varios ensayos (March, col. 1986, 1987a, 1987b) con insecticidas empleando diferentes formulaciones y tipos de aplicación (tratamientos a la semilla o en el surco de siembra, como formulados líquidos y granulados). Se registraron marcadas disminuciones de incidencia de la enfermedad con aplicación de carbofurán aplicado al surco de siembra. Dada la simplicidad que implican los tratamientos a la semilla y el bajo impacto ambiental, se está experimentando a campo y laboratorio con compuestos de desarrollo más recientes y distintas técnicas de tratamiento. (March y col., 1997).

Control de malezas

Varias especies de malezas constituyen importantes reservorios del virus y un hábitat adecuado para el desarrollo de poblaciones de vectores. Esta doble función las constituye en fuentes directas de infección del virus desde donde los vectores lo transmiten al cultivo de maíz. De allí la necesidad de encontrar un método adecuado para su manejo. Los estudios realizados hasta el momento empleando herbicidas preemergentes, registraron un mayor número de plantas infectadas en las parcelas tratadas con dichos herbicidas, indicándose la posibilidad de que ellos podrían modificar la

fisiología de las plantas predisponiéndolas a la infección viral (Lenardón y col., 1985b, 1987b).

Reservorios invernales:

La detección de la avena, trigo, cebada, centeno, triticale y cebadilla criolla (cultivos invernales frecuentes en el área endémica) como reservorios del virus y hábitat preferenciales para el desarrollo de las colonias de sus vectores demuestra la necesidad de buscar alguna estrategia de manejo de estos cultivos que cumplen un rol fundamental en la epidemiología de la enfermedad.

Resistencia genética

Desde hace aproximadamente 20 años, numerosos investigadores del ámbito oficial y privado trabajan en la obtención de cultivares tolerantes o resistentes a esta importante enfermedad (Lenardón y col., 1983, 1987a, 1987b; Sanguineti, 1987; Marino y col., 1983; Martínez y Botta, 1982; Lorenzo y col., 1993; Presello 1991a, 1991b; Presello y col., 1991; Eyhérabide, 1991; Basso y col., 1995). Varias compañías privadas instalaron campos experimentales en el área endémica para probar la reacción de sus cultivares.

Sin embargo, existe una serie de factores que limitan la eficiencia de los trabajos de mejoramiento. Uno de ellos sería la dificultad de exponer simultáneamente a todas las plantas de los genotipos a probar, a igual nivel de infestación. Esto se concretará de una manera más eficiente si se logran optimizar los métodos de infección artificial. Existen en el país grupos de trabajo que desarrollaron estas metodologías (Ornaghi y col., 1991) pero indudablemente las mismas necesitan incrementar su factibilidad, economía y posibilidad de empleo masivo.

Los estudios destinados a conocer la acción génica responsable de la variabilidad en el comportamiento frente a la enfermedad, de los diferentes genotipos estudiados permiten concluir que éste puede ser descripto por un

modelo de aditividad y dominancia y que el efecto neto de los alelos dominantes contribuye a la tolerancia (Eyhérabide, 1991, 1993). El INTA ha desarrollado varias líneas de maíz con buen comportamiento al MRCV, entre las que se destaca, entre otras, LP116 (Eyhérabide, comunicación personal).

La Estación Experimental Agropecuaria del INTA de Pergamino evalúa la reacción del material disponible en el Banco de Germoplasma de dicha Experimental y anualmente el comportamiento de diferentes cultivares frente a infecciones naturales de la virosis en el área endémica y en el área núcleo (Presello y col., 1997b).

En el período agrícola 1993/1994, Presello y Basso (1994) registraron el comportamiento (a través de observación de síntomas y efecto sobre el rendimiento) de 21 híbridos comerciales y una variedad de polinización libre recomendada para el área endémica de la enfermedad. La mayor parte de estos cultivares presentaron menor grado y porcentaje de ataque que el testigo susceptible, lo que confirmaría que son portadores de resistencia genética a la virosis. No obstante, todos ellos adquirieron la enfermedad, lo que demuestra que si bien se ha avanzado en la obtención de cultivares tolerantes es mucho lo que resta por lograr para garantizar una seguridad de cosecha en años de severas epifitias.

Es interesante señalar que se evaluó el comportamiento de tres especies de Teosintes (*Zea*) al virus con el objetivo de detectar nuevas fuentes de resistencia. Se probaron *Zea luxurians* (Dirier & Ascherson) Berd, *Zea perennis* (Hitchc) Reeves & Mangelsdorf y *Zea diploperennis* (Iltis, Doebley & Guzman) mediante infestaciones inducidas con *Delphacodes kuscheli*. No se infectó ninguna planta de *Zea diploperennis*. Este resultado es interesante ya que esta especie tiene el mismo número de cromosomas que el maíz, con el cual es compatible (March y Ornaghi, 1993).

Se destaca que también se realizaron estudios de identificación y obtención de materiales resistentes en sorgo granífero. En infecciones inducidas con *Delphacodes kuscheli*, los genotipos Mf Exp. 36-6/28 y Mf Exp. 194 no se infectaron con la virosis (Giorda y col., 1993).

Pronóstico

Otra de las estrategias que se pueden utilizar para el manejo de esta enfermedad es el empleo de sistemas de pronóstico. En el país se han desarrollado modelos de pronóstico de presiembra (1° de septiembre) y de siembra (durante todo el período de siembra) para el área endémica de la enfermedad (March y col., 1991; March y col., 1992). Estos modelos se desarrollan sobre la base de fluctuaciones poblacionales del vector y la combinación de variables climáticas (temperatura, precipitaciones y número de heladas). El modelo de presiembra permite pronosticar infecciones moderadas (inferiores o igual a 20%) o severas (superiores al 20%), mientras que el segundo permitiría alcanzar mayor precisión (March y col., 1995).

Enemigos naturales de los vectores

En el país se están desarrollando estudios a fin de detectar insectos que actúen como controladores naturales de las poblaciones de Delphacidae vectores del Mal de Río Cuarto. Hasta el momento se han detectado un Drynidae: Pseudogonatopus chilensis Olmi (parasitoide de ninfas y adultos), un Mymaridae: Anagrus flaveolus Waterhouse (parasitoide de huevos) y un Strepsiptera: Elenchus tenuicornis Kirby (parasitoide de ninfas y adultos) (De Santis y col., 1988; Remes Lenicov y Teson 1990; Remes Lenicov y col., 1991; Virla, 1994).

Manejo integral

Indudablemente, un manejo integral de la enfermedad combinando prácticas culturales (sistemas de labranza, insecticidas, épocas de siembra), cultivares tolerantes o resistentes, sistemas de pronóstico, control biológico del vector, entre otras, resultará en una disminución notable de la incidencia de esta grave enfermedad.

Bibliografía

- Alegre, A; M.A. Delfino Y I.G. Laguna. 1996. Afidofauna en área cultivada con sorgo y su relación con la presencia del Maize Dwarf Mosaic Potyvirus en Manfredi, Córdoba-Argentina. Fitopatología 31(3): 207-216.
- Alegre, A; I.G. Laguna y M.A. Delfino. 1998. Aphid-virus-plant relationships in an agroecosystem. VII International Congress of Plant Pathology. 9-16 agosto, Edimburgo, Escocia.
- Basso, C.M., Presello D., Frutos E. 1995. Caracterización de fuentes de resistencia genética al "Mal de Río Cuarto" (MRCV-RC) en poblaciones de maíz (*Zea mays*) bajo condiciones de infección natural. Memorias de la III Reunión Latinoamericana y XVI Reunión de la Zona Andina de Investigadores en Maíz, Cochabamba, Santa Cruz, Bolivia. p:
- Bockelman, D.L.; L.E.Claflin y J.K. Uyemoto. 1982. Host range and seed-transmission studies of maize chlorotic mottle virus in grasses and corn. Plant Disease 66 (3):216-218.
- Boito, G.T.; J.O. Muñoz; M. Raña y J.O. Muñoz. 1993. Especies de Delfacidos (Homoptera: Delphacidae) presentes en campos de maíz y maleza circundante en Jesús María. Resúmenes del Workshop «Mal de Río Cuarto del Maíz». 21-23 de junio. Córdoba . p. 63-64.
- Bradfute, O.E.; E.E. Teyssandier; E. Marino and J.L. Dodd. 1981. Reolike virus associated with maize Río Cuarto Disease in Argentina. Phytopathology 71:205 Abs.
- Castillo, J. y T.T. Hebert. 1974. New virus disease of maize in Perú. Fitopatología 9:79-84.
- Conci, L.R.; M.B. Valdavia y S.F. Nome. 1889. Prospección de malezas hospedantes del virus del enanismo rugoso del maíz (MRDV, «Mal de Río Cuarto») mediante la técnica de ELISA. Actas de las VII Jornadas Fitosanitarias Argentinas. 5-8 Junio, Salta.
- Conci, L. 1991. Desarrollo de un sistema de diagnóstico para el virus del Mal de Río Cuarto del maíz por medio de técnicas de hibridación molecular. Taller de actualización sobre Mal de Río Cuarto 30-31 de mayo de 1991. Pergamino, p.59-66.
- Conci, L. R., 1997. Caracterización molecular del virus del Mal de Río Cuarto (MRCV) y desarrollo de sistemas de diagnóstico basado en técnicas de hibridación molecular. (Tesis Doctoral). Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. 191 pp.
- Conci, L. R. y C. Marzachi. 1993. Avances en la caracterización molecular del genoma del virus causal del Mal de Río Cuarto. Workshop Mal de Río Cuarto del Maíz 23-25 de junio. Córdoba, p.27-28.
- Delfino, M.A. 1983. Identificación de áfidos (Homoptera:, Aphidoidea) encontrados en cereales de la República Argentina. CIRPON (Rev. Inv.) 1(1):15-29.
- Derengowski, L.; T. Nagata; E. Oliveira; M. P. Giménez; Pecci E I. y G. Laguna. 2001. Comparison of isolates Maize rayado fino virus originated from Brazil and Argentina. Virus Review Research 6(2): 155.
- Docampo, D.M e I.G. Laguna. 1973. Virus del mosaico enanizante del maíz y sorgo (MDMV) en la provincia de Córdoba. IDIA 312:47-54
- Eyhérabide, G.H. 1991. Estudio de la herencia genética al Mal de Río Cuarto mediante el uso de marcadores moleculares. Taller de actualización sobre Mal de Río Cuarto. 30-31 de mayo 1991. Pergamino-Bs.As. p. 51-58.
- Eyhérabide, G.H. 1993. Evaluación de la tolerancia al Mal de Río Cuarto de genotipos de maíz sobre la base de diferentes tipos de progenies. Workshop «Mal de Río Cuarto del Maíz. 23 al 25 de junio de 1993. Córdoba, Argentina

- Fernández Valiela, M.V. 1995. Los virus patógenos de las plantas y su control. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria. 4º Ed. Tomo II. Buenos Aires.
- Ferreyra, L.; G.A. Truol; S.M. Laguzzi y P. Herrera. 1995. Serological detection of Barley Yellow Dwarf Luteovirus (BYDV) in maize crops. Barley Yellow Dwarf Newsletters. CIMMYT, México.
- Ford, R.E.; M. Tasic y D.D. Shukla. 1989. Maize Dwarf Mosaic Virus. CMI/AAB. Descriptions of Plant Viruses N° 341.
- Gimenez Pecci, M.P. y G.A. Truol. 1991. Infección mixta producida por el Maize Rough Dwarf Virus (MRDV) y el Maize Dwarf Mosaic Virus (MDMV-A) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Taller de actualización sobre Mal de Río Cuarto 30-31 de mayo. Pergamino. p.87-95.
- Gimenez Pecci, M.P.; L.R. Conci; B. Valdivia; V.C. Conci; H.E. Hoop; I.G. Laguna y S.F. Nome. 1991. Algunas alternativas de diagnóstico del virus del «Mal de Río Cuarto» (Maize Rough Dwarf Virus, MRDV). Taller de actualización sobre Mal de Río Cuarto. 30-31 de mayo. Pergamino. p. 78-85.
- Gimenez Pecci, M.P.; I.G. Laguna; E. Dagoberto y G. Truol. 1993. *Avena sativa* L. hospedante natural del virus causal del «Mal de Río Cuarto» del maíz. Resúmenes del Workshop «Mal de Río Cuarto del maíz». 23-25 de junio de 1993. Córdoba. p. 59-60.
- Giménez Pecci, M. P.; Laguna I. G.; Dagoberto E.; Truol G.; Rodríguez Pardina P. E.; Conci L. R., Ferrer F. y Ornaghi J. 1997a Cebada (*Hordeum vulgare* L.), un nuevo hospedante natural del virus del Mal de Río Cuarto (MRCV) en la Argentina. VI Congreso Nacional de Maíz. Noviembre. Pergamino, Bs. As., Argentina. Tomo I. Sección II. pp. 32-39.
- Giménez Pecci, M. P.; Murua L.A.; Laguna I. G.; Borgogno C. 1997b. Detección e incidencia del Mal de Río Cuarto en gramíneas de ciclo invierno-primaveral en los Departamentos Colón y Totoral, norte de la provincia de Córdoba, 1997. Revista de la Sociedad Rural de Jesús María N° 104: 23-26.
- Giménez Pecci, M. P.; Laguna I. G.; Dagoberto E. y Rodríguez Pardina P. E.. 1997c. Detección del virus del Mal de Río Cuarto (MRCV) en triticale (*Triticum x Secale*) y en cebadilla criolla (*Bromus unioloides* H.B.K.). Fitopatología 33 (1): 28-29.
- Gimenez Pecci M. P.; I.G. Laguna; C. F. Nome; C. Borgogno. 1998. Detección de tricepiro (*Triticum* sp. x *Secale* sp. x *Agroiprum* sp.) como reservorio del virus del Mal de Río Cuarto. Actas del IV Congreso Nacional de trigo y II Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño-invernal. 11 al 13 de noviembre de 1998. Mar del Plata. Buenos Aires. Pags: 4-28.
- Giménez Pecci, M.P.; E. Oliveira; R. Resende; C. Borgogno; C.F. Nome; E I.G. Laguna. 2000. Occurrence of Maize rayado Fino Virus in Maize in Argentina. Plant Disease. 84(a):1046.
- Giorda, L.M.; J.O. Muñoz. 1993. A new reovirus disease naturally infecting *Sorghum bicolor* (L) Moench in Argentina. Sorghum Newsletter. vol. 34:24.
- Gregory, L.V. y J.E. Ayers. 1982. Effect of inoculation with Maize Dwarf Mosaic Virus at several growth stages on yield of sweet corn. Plant Disease 66:801-804.
- Grilli, M.P. y D.E. Gorla. 1993. Abundancia de Delphacidae en una transecta de 300 km. entre Manfredi y Mercedes. Resúmenes del Workshop «Mal de Río Cuarto del Maíz». p. 53-54.
- Herrera, P.; M.A. Delfino y I.G. Laguna. 1995. Actividad de los áfidos en un área cultivada con maíz en Manfredi (Provincia de Córdoba, Argentina) presentes. AgriScientiae XII: 49-58.
- Ivanovic, D.; Osler R.; Katy, N.; Ivanovic M.; Ignjatovic D. 1995. Principal maize viruses in Mediterranean countries. Agronomie 15: 443-446.
- Jain, X.Q; D.R. Wilkinson and J.A. Berry. 1990. An outbreak of maize chlorotic mottle virus in Haway an possible association with thrips. Phytopathology 80: 1060.
- Jain, R. K.; G.P. Rao y A. Varma. 1998. Present status of Management of Sugarcane Mosaic Virus. In: Hadidi A.; R.K.K. Khetarpal; H. Koganezawa. Plant Virus Disease Control. APS Press, Minnesota, USA. 684 pp.
- Janson, B.F. and C.W. Ellett 1963. A new corn disease in Ohio. Plant Dis. Rep. 47:1107-1108.
- Jensen, S.G.; D.S. Wyson; E.M. Ball and P.M. Higley. 1991. Seed transmission of maize chlorotic mottle virus. Plant Disease 75: 497-498.
- Knoke, J.K.; R.J. Anderson; R. Louie; L.V. Madden; W.R. Findley. 1983. Insects vectors of Maize Dwarf Mosaic Virus and Maize Chlorotic Dwarf Virus. Procedding International Maize Virus Disease. Wooster-Ohio. p. 130-188.
- Laguna, I.G.; L. Conci; B. Valdivia; M. Gimenez Pecci; C. Altamira y E. Trumper. 1991. Epidemiología del Mal de Río Cuarto (Maize Rough Dwarf Virus). Taller de Actualización sobre Mal de Río Cuarto. Pergamino-Bs.As. p. 16-43.
- Laguna, I. G. 1996. Diseases caused by viruses and spiroplasms in Argentina. In: Procedding of Workshop Latino-Americano sobre Manejo de Doen (as de Milho. Sete Lagoas, MG, Brasil.
- Laguna, I. G. y Giménez Pecci, M. P. 1997. El Mal de Río Cuarto. PROMARC: Hoja informativa N°1. 4 pp.
- Laguna, I. G. y Di Fro L. 1997. PROMARC. Reunión Anual del Proyecto. Hoja informativa N° 3. Córdoba 27 de agosto. 4 pp.
- Laguna, I. G.; M .P. Gimenez Pecci; P. Herrera; C. Borgogno; J. Ornaghi & P. Rodriguez Pardina. 2000. Rol de los cereales de invierno y verano en la epidemiología del virus del Mal de Río Cuarto (provincia de Córdoba, Argentina). Fitopatología, 35 (1): págs. 41-49.
- Laguna, I. G.; A. O. Avila; A. M. De Remes Lenicov; E. Virla; M. P. Giménez Pecci; J. Garay; P. Herrera; R. Mariani Y L.D. Ploper. 2001 Virus del Mal de Río Cuarto (MRCV) del maíz, su vector, delfacidos asociados, enemigos naturales y hospedantes alternativos en la Argentina. Hoja Informativa N° 1 Proyecto FONCyT PICT. 99 N° 08-06046. ISBN: 987-521-037-4. . 8 pp.
- Lenardon, S.L.; A. Marinelli y R. Fresa. 1982. Incidencia del mosaico enanizante del maíz (Maize Dwarf Mosaic virus) sobre la producción y calidad de dos híbridos de maíz. Revista de la Universidad Nacional de Río Cuarto. 2:209-212.
- Lenardon, S.L.; G.J. March; J.E. Beviacqua; A. Marinelli y E.M. Astorga. 1983. Incidencia del «Mal de Río Cuarto» en 43 cv. comerciales de maíz (*Zea mays* L) bajo condiciones de severa epifitía. IDIA 117-420:80-85
- Lenardon, S.L.; G.J. March; A. Marinelli y S. Jockes. 1985. Efectos de inoculaciones artificiales del maíz chlorotic mottle virus en distintos estados

- fenológicos del maíz.. IDIA 441-444:41-45.
- Lenardon, S.L.; G.J. March; J.A. Ornaghi y E.J. Beviacqua.1985b. Virosis de maíz en la Argentina. Mal de Río Cuarto. Jornadas de Actualización técnica, Northrup King Semillas S.A. Chacabuco-Bs.As. p. 11.
- Lenardon, S.L.; G.J. March; J.E. Beviacqua; A. Marinelli; J.A. Ornaghi y E.M. Astorga.1987a. Diferentes épocas de siembra y cultivares de maíz como alternativa para disminuir la incidencia del Maize Rough Dwarf Virus (MRDV) agente causal del «Mal de Río Cuarto». IDIA 441:78-83.
- Lenardon, S.L; G.J. March; J.E. Beviacqua; J.A. Ornaghi y A. Marinelli. 1987b. Revisión del «Mal de Río Cuarto»en cultivos de maíz. Actualización técnica AACREA p. 1-15.
- Lenardon, S.L. y G.J. March. 1987c. Epifitilogías del Mal de Río Cuarto y sus posibilidades de aprovechamiento en fitotecnia. Actas XVII Congreso Argentino de Genética. p 71-74.
- Lenardon, S.L.; G.J. March; A. Marinelli y S. Joekes. 1987. Efectos de inoculaciones artificiales de maize chlorotic mottle virus en distintos estadios fenológicos del maíz. IDIA 441-444:41-45.
- Lenardon, S.L.; D.T. Gordon y R.E. Gingery. 1990a. Serological differentiation of Maize Dwarf Mosaic Virus (MDMV) strains A, B, D, E , F and O . Phytopathology 80:986.
- Lenardon, S.L. 1990b. Serological differentiation of Maize Dwarf Mosaic Virus (MDMV) Strains A, B, D, E, F and O. Master Science Thesis. The Ohio State University.
- Lenardon, S.L.; D.T. Gordon y R.E. Gingery. 1993. Serological differentiation of Maize Dwarf Mosaic Potyvirus strains A, D, E and F by electro-blot Inmuno assay. Phytopathology 83:86-91.
- Lenardon, S. L., Giolitti F.J.; Rago A. y Marinelli A. 1996. Evaluación de cultivares de maíz al Maize Dwarf Mosaic Potyvirus. V Congreso Argentino de Virología. II Encuentro de Virologos Latinoamericanos. Tandil, Buenos Aires, Argentina.
- Lenardon, S. L., March, G. J., Nome S.F. y Ornaghi, J. A. 1998. Recent outbreak of «Mal de Río Cuarto» Virus on Corn in Argentina. Plant Disease 82 (4): 448.
- Lenardon, S. L. y F. Giolitti. 1999. Virus del mosaico enanisante del maíz. En Hoja Informativa. enfermedades de los cultivos extensivos e intensivos. Ed. S. Lenardón. IFFIVE-INTA-JICA. Córdoba ISSN:1514-2736.
- Lorenzo, N.; D. Presello; S. Castellano; L.M. Giorda y A. Legasa. 1993. Aptitud combinatoria entre líneas de maíz para resistencia al Mal de Río Cuarto. Resúmenes del Workshop «Mal de Río Cuarto del Maíz» 23-25 de junio de 1993. Córdoba. p. 67.
- Louie, R.; W.R. Findley; J.K. Knoke y M.D. Mc Mullen. 1981. Genetic basis of disease resistance in maize to five maize dwarf mosaic virus strains. Crop. Science 31:14-18.
- March, G.J.; S.L. Lenardon; J.E. Beviacqua y M.A. Principi. 1984. Efectos de diferentes sistemas de labranza y carbofurán en la incidencia del «: Mal de Río Cuarto» en maíz. IDIA 421-424:8-14.
- March, G.J.; S.L. Lenardon; J.A. Ornaghi; J.E. Beviacqua y E.M. Astorga. 1986. Incidencia del Mal de Río Cuarto en maíz de acuerdo con diferentes cultivares y dosis de Aldicarb. Gaceta Agronómica VI (31):244-260.
- March, G.J.; S.L. Lenardon; E.M. Astorga; J.E. Beviacqua y A.B. Lopez. 1987a. Influencia del carbofurán en el comportamiento de dos cultivares de maíz infectados con el «Mal de Río Cuarto». Revista de la Facultad de Ciencias Agropecuarias. Univ.Nac.Córdoba. vol.III:103-120.
- March, G.J.; S.L. Lenardon; J.E. Beviacqua; J.A. Ornaghi y A. Marinelli.1987b. Incidencia del Mal de Río Cuarto según diferentes tratamientos de insecticidas a la semilla de maíz. Gaceta Agronómica 44:342-345.
- March, G.J.; J.A. Ornaghi; J.E .Beviacqua y A. Marinelli. 1992. Intensidad del Mal de Río Cuarto y pérdidas causadas a la producción en las campañas agrícolas 1981/82 a 1990/91. Actas de Resúmenes III. Jornadas Científico-Técnicas de la Facultad de Agronomía y Veterinaria- UN Río Cuarto , 26-27 de marzo de 1992. Río Cuarto-Córdoba.
- March, G.J.; J.A. Ornaghi; J.E. Beviacqua; G. Sanchez y J. Giuggia.1993a. Aportes para el desarrollo de una estrategia de manejo del Mal de Río Cuarto. Resúmenes Workshop «Mal de Río Cuarto del Maíz». 23-25 de junio 1993. p. 47-48.
- March, G.J.; J.A. Ornaghi; J.E. Beviacqua y A. Marinelli. 1993b. Intensidad del Mal de Río Cuarto y pérdidas causadas en la producción de maíz en las campañas agrícolas 1981/82 a 1991/92. Gaceta Agronómica vol. XIII(76):384.
- March, G.J., Ornaghi, J. A., Beviacqua, J. E. y Lenardon, S. L. 1997. Manual Técnico del Mal de Río Cuarto. Ed. Morgan. Buenos Aires. 40 pp.
- Marinelli, A.; J.A. Muñoz; S.L. Lenardon y C.A. Martino. 1988. Detección de un reovirus semejante al causal Mal de Río Cuarto del maíz en sorgo de alepo (*Sorghum halepense* P.) y mijo (*Panicum milliaceum* L.) II Jornadas de Investigación. Univ. Nac. de Córdoba. Res. IV Congreso Nacional de maíz. Actas III:1-10. Pergamino-Bs.As.
- Marino, E.A.; E.E. Teysandier y A. Sanguinetti. 1983. Mal de Río Cuarto: control por resistencia varietal. Posibilidades y realidades. Logros obtenidos. I Congreso Argentino de Virología. Buenos Aires.
- Martinez, C.A. y G.L. Botta. 1982. Observaciones sobre el Mal de Río Cuarto. INTA-EERA Pergamino. Carpeta de Producción Vegetal. Tomo IV Información Nºº42.
- Mc.Gee, D.C. 1994. Maize Diseases. American Phytopathological Society, St.Paul. Minnesota. USA. 150 p.
- Milne, R.G.; G. Boccardo, E. Dal Bo and S.F. Nome. 1983. Association of Maize Rough Dwarf Virus with Mal de Río Cuarto in Argentina. Phytopathology 73:1290-1292.
- Milne, R.G. y G.Boccardo. 1984. Plant Reovirus Group N° 294. Descriptions of Plant Viruses. CMI/ AAB N° 18.
- Muñoz, J.O.; G. Zumelzu; C.A. Martino y G. Calella. 1990. Citopatología inducida por algunos virus en especies de interés económico. III Congreso Argentino de Virología. Res . 80.
- Muñoz, J.; L. Giorda y G. Calella. 1991. Estudios ultraestructurales de tejidos neoplásicos de sorgo afectados por reovirus y Maize Dwarf Mosaic Virus. Taller de Actualización sobre Mal de Río Cuarto.30-31 de mayo de 1991. Pergamino-Bs.As. 100-101.
- Muñoz, J.; J.A. Ornaghi; A. Marinelli; C. Martino y G.T. Boito. 1991b. Detección de partículas de reovirus en glándulas salivales de *Delphacodes kuscheli* Fennah. Taller de Actualización sobre Mal de Río Cuarto. 30-31 de mayo de 1991. Pergamino-Bs.

- As. p. 97-99.
- Murphy, F.A.; C.M. Fauquet; D.H.L. Bishop; S.A. Ghalrial; A.W. Jarvis; G.P. Martelli; M.A. Mayo and M.D. Summers. 1995. Virus Taxonomy. Springer-Verlag Wien. New York. 586 pp.
- Nault, L.R.; D.T. Gordon; R.E. Gingery; O.E. Bradfute y J. Castillo Loayza. 1979. Identification of maize virus and mollicutes and their potential vectors in Peru. *Phytopathology* 69:824-829.
- Nault, L.R.; D.T. Gordon; V.D. Damsteegt y H.H. Iltis. 1982. Response of annual and perennial teosintes (*Zea*) to six maize viruses. *Plant Disease* 66:61-62.
- Niblett, C.L. y L.E. Claflin. 1978. Corn lethal necrosis a new virus disease in Kansas. *Plant Dis. Rep.* 62:15-19.
- Nome, S.F.; S.L. Lenardon; I.G. Laguna; S.K. Lowe; D.M. Docampo and B.C. Raju. 1980. Partículas de virus (reovirus) asociados al «Mal de Río Cuarto» en cultivos de maíz. *Revista de la Fac. de Cs. Agropecuarias. Univ. Nac. de Córdoba. Serie Didáctica N° 3:1-7.*
- Nome, S.F.; E. Dalbo; E. Teyssandier; S.L. Lenardon; V. Yossen y S. Bustos. 1981a. Estudio de frecuencia de algunos virus en maíz en la Argentina. IV Jornadas Fitossanitarias Argentinas. 19 al 21 de agosto 1981. Córdoba. p. 11.
- Nome, S.F.; E. Teyssandier; V. Yossen; D.M. Docampo y E. Dalbo. 1981b. Frecuencias de las Razas A y B del virus del mosaico enanizante del maíz (MDMV) en la Argentina. IV Jornadas Fitossanitarias Argentinas. 19 al 21 de agosto de 1981. Córdoba. p. 17.
- Nome, S.F. y V.E. Yossen. 1981. Necrosis letal del maíz en la Argentina. Resúmenes de las IV Jornadas Fitossanitarias Argentinas. 19-21 de agosto de 1981. Córdoba. p. 31.
- Nome, S.F.; S.L. Lenardon; B.C. Raju; I.G. Laguna; S.K. Lowe y D.M. Docampo. 1981. Association of reovirus like particles with «Enfermedad de Río Cuarto» of maize in Argentina. *Phytopathol. Z.* 101:7-15.
- Nome, S.F.; S.L. Lenardon; J.O. Muñoz y G. Zumelzu. 1983. *Digitaria sanguinalis* (L) Scop y *Setaria verticillata* (L) P. Beauvois reservorios naturales del virus causal del Mal de Río Cuarto del maíz. *RIA* 18:321-328.
- Nome, S.F.; E. Dal Bo; V. Yossen; E. Teyssandier y S. Lenardon. 1984. Frecuencia de algunos virus del maíz en la República Argentina. *RIA XIX(2):257-264.*
- Ornaghi, J.A.; E. M. Astorga y G.J. March. 1985. *Delphacodes kuscheli Fennah* (Homoptera Delphacidae) vector del Maize Rough Dwarf Virus en Río Cuarto. Inédito.
- Ornaghi, J.A. y G. Sanchez 1987. Fluctuación poblacional de *Delphacodes kuscheli Fennah* insecto vector del «Mal de Río Cuarto». II Jornadas Científico-Técnicas de la Facultad de Agronomía y Veterinaria. 3-6 de junio de 1987. Río Cuarto-Córdoba.
- Ornaghi, J.A.; G.J. March; J.E. Beviacqua; G.T. Boito y G. Sanchez. 1991. Desarrollo de técnicas de transmisión del Maize Rough Dwarf Virus-RC con fines de mejoramiento. Taller de actualización sobre Mal de Río Cuarto. 30-31 de mayo. Pergamino-Bs. As. p. 47.
- Ornaghi, J.; G. Boito; G. Sanchez; G. March y J. Beviacqua. 1993a. Studies on the populations of *Delphacodes kuscheli Fennah* in different years and agricultural areas. *J. Genet. & Breed.* 47:277-282.
- Ornaghi, J.A.; G.T. Boito; G. Sanchez; G.J. March. 1993b. Estudio de poblaciones de *Delphacodes kuscheli Fennah* en avena, trigo y centeno. Resúmenes del Workshop «Mal de Río Cuarto del Maíz» 23-25 de junio 1993. p 39-40.
- Ornaghi, J.A.; G.J. March; G.T. Boito; A.D. Marinelli; J.E. Beviacqua y J. Giuggia. 1993c. Eficiencia de transmisión del virus causal del Mal de Río cuarto por *Delphacodes kuscheli Fennah*. Resúmenes del Workshop «Mal de Río Cuarto del Maíz». 23-25 de junio de 1993. Córdoba. p. 45-56
- Ornaghi, J.A.; A.D. Marinelli; G.J. March; G.T. Boito y P. Rodriguez Pardina. 1993d. Transmisión del virus causal del Mal de Río Cuarto por *Delphacodes kuscheli Fennah* a cultivos y malezas. Resúmenes del Workshop «Mal de Río Cuarto del maíz». 23-25 de junio de 1993. p. 41-42.
- Ornaghi, J.A.; J.E. Beviacqua; P. Rodríguez Pardina; D. R. Aguirre Zavala; G.J. March y S. Lenardon. 1999. Detection of Mal de Río Cuarto virus in Uruguay. *Brazilian Phytopathology*. Vol. 24(3): 471.
- Pantaleon, G.E. 1987. Incidencia del virus del Mal de Río Cuarto en distintos genotipos de maíz. Actas de XVII Congreso Argentino de Genética. 21-24 de septiembre de 1987. Buenos Aires. p. 91-98
- Pirone, T.P. 1972. Sugarcane mosaic virus. CMI/AAB. Descriptions of Plant Viruses N° 88.
- Poloni, N.; M. Tordable; A. Vigliocco; E. Lorenzo y G. Abdala. 1993. Estudio histológico y niveles de giberelinas en tallos de maíz (*Zea mays L.*) afectados por el Mal de Río Cuarto. Resúmenes del Workshop «Mal de Río Cuarto del Maíz». 23-25 de junio de 1993. Córdoba. p. 21.
- Presello, D.A. 1991a. Incidencia del Mal de Río Cuarto en Pergamino durante la campaña 1990/91. Taller de actualización sobre Mal de Río Cuarto. 30-31 de mayo de 1991. Pergamino-Bs. As. p. 73-77.
- Presello, D.A. 1991b. Efectos de la infección inducida de Mal de Río Cuarto mediante *Delphacodes kuscheli Fennah* sobre híbridos simples de maíz. Taller de actualización sobre Mal de Río Cuarto. 30-31 de mayo. Pergamino-Bs. As. p. 48-49.
- Presello, D.A.; L. Solari y M. Ferrer. 1991. Identificación de fuentes de resistencia genética al Mal de Río Cuarto. Taller de actualización sobre Mal de Río Cuarto. 30-31 de mayo de 1991. Pergamino-Bs. As. p. 67-72.
- Presello, D.A.; A. Costamagna; L.R. Conci; A.M. Marino De Remes Lenicov; F.A. Guzman y P.S. Herrera. 1997a. Mal de Río Cuarto del maíz. Estudio de la capacidad vectora de las poblaciones de Toya propicia presentes en el área de Pergamino. VI Congreso Nacional de Maíz. Tomo I, Sección II: 1-5.
- Presello, D.A. 1997. Estimación de pérdidas causadas por el Mal de Río Cuarto en el norte de la provincia de Buenos Aires. Ciclo 1996/97. Revista de tecnología Agropecuaria. INTA-Pergamino. Mayo/agosto 1997. pp. 7-10.
- Presello, D.A.; Alvarez M.; Colazo J.C.; Damilano A.; Eyherabide G.; Fernandez A. y Haurquesos M.J. 1997. Comportamiento de cultivares de maíz en el norte de la provincia de Buenos Aires y área endémica del Mal de Río Cuarto, ciclo 1996/97. Revista de Tecnología Agropecuaria. INTA Pergamino, Mayo - Agosto 1997. p. 1-6.
- Remes Lenicov, A.M. De; A. Teson; E. Dagoberto y N. Huguet. 1985. Hallazgo de uno de los vectores del Mal de Río Cuarto en maíz. *Gaceta Agropecuaria*.

- Remes Lenicov, A.M.; A.Teson; E. Dagoberto y S. Paradell. 1987. Fluctuaciones poblacionales de los delfácidos que viven sobre maíz, avena y maleza circundante en la zona de Sampacho (Córdoba) (Homoptera-fulgoroidea). Resúmenes I Congreso Argentino de Entomología.
- Remes Lenicov, A.M. y A. Teson. 1990. Estrepsiteros en Argentina parasitoides de insectos Homopteros fulgoroideos (Insecta-Strepsiptera). An. Soc. Cient. Arg. 220: 1-6.
- Remes Lenicov, A.M.M.; E.G. Virla y E. Dagoberto. 1991. Cambios estacionales en la población del vector del «Mal de Río Cuarto» del maíz (Delphacodes kuscheli Fennah) en cultivos de avena y sus malezas circundantes en Sampacho, Córdoba. Taller de actualización sobre Mal de Río Cuarto. 30-31 de mayo de 1991. Pergamino-Bs. As. p. 116-129.
- Remes Lenicov, A. M. M., Laguna, I. G., Rodríguez Pardina, P., Mariani, R., Virla, E., Herrera, P. y Dagoberto, E. 1997. Monitoreo del virus del Mal de Río Cuarto, su vector Delphacodes kuscheli Fennah y otros delfácidos asociados en cultivos de maíz en la República Argentina. Manejo Integrado de Plagas N° 248.
- Rodríguez Pardina, P. E y I.G. Laguna. 1993. Determinación de hospedantes naturales del virus causal del «Mal de Río Cuarto» en el área endémica de la enfermedad. Resúmenes del Workshop Mal de Río Cuarto del Maíz. 23-25 de junio de 1993. Córdoba. p. 55-56.
- Rodríguez Pardina, P.E.; I.G. Laguna; E. Dagoberto y G.A. Truol. 1994. Trigo (*Triticum aestivum* L.) hospedante natural del virus causal del «Mal de Río Cuarto» en Argentina. III Congreso Nacional de Trigo 26-28 octubre. Bahía Blanca. p. 117-118.
- Rodríguez Pardina, P.E. y L.R.Conci. 1993. Implementación de la técnica de NC-ELISA para la detección serológica del virus causal del «Mal de Río Cuarto». Workshop Mal de Río Cuarto. 21-23 de junio. 1993. Córdoba. p.29-30.
- Rodríguez Pardina, P. E., Truol, G. A., Herrera, P. S., Dagoberto, E. y Laguna I. G. 1995a. Detección del Mal de Río Cuarto en cultivos de centeno (*Secale cereale* L.) del área endémica de la enfermedad. Actas, IX Jornadas Fitosanitarias Argentinas. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza., 1995. Argentina. p. 101.
- Rodríguez Pardina, P.E; Laguna I. G. y Herrera, P. S. 1995b. Correlación entre distintas variables climáticas y niveles de infección del virus del «Mal de Río Cuarto» en maíz, en el área de Manfredi (Córdoba) Argentina. VIII Congreso Latinoamericano de Fitopatología. Mérida, Venezuela. p. 15.
- Sanguinetti, A. 1987. Resistencia al Mal de Río Cuarto. Actas del XVII Congreso Argentino de Genética. 21-24 de septiembre de 1987. Buenos Aires. p. 75-89
- Shukla, D.D.; C.W. Ward; A.A. Brunt 1.994. The Potyviridae. CAB International. Wallingford . 516 p.
- Smith, D.R. y D.G. White. 1988. Diseases of Corn. In G.F. Sprague y J.W. Dudley . Corn and Corn improvement. 3ra. Edición. American Society of Agronomy. Madison-Wisconsin.
- Teson, A.; A.M. Remes Lenicov; E. Dagoberto y S. Paradell. 1986. Estudio de las poblaciones de delfácidos sobre maíz, avena y maleza circundante (Homoptera: Fulgoroidea). Gaceta Agronómica vol.7:507-517.
- Teyssandier, E.E.; S.F. Nome y E. Dalbo. 1983. Maize virus diseases in Argentina. p 93-99. In: Gordon, D.T.; J.K. Knoke; L. R. Nault; R.M. Ritter. ed. Proceedings International Maize Virus Disease Colloquium and Workshop 2-6 August 1982. Wooster, Ohio 266 p.
- Thottapilly, G.; N.A.Bosque Perez y H.W.Rossel 1993. Viruses and virus diseases of maize in tropical Africa. Plant Pathology 42:494-509.
- Tordable M.; G. Boito; E. Lorenzo; G. Abdala. 1993. Estudio morfológico e identificación de giberelinas endógenas en raíces de maíz (*Zea mays* L) afectado por el Mal de Río Cuarto. Resúmenes del Workshop «Mal de Río Cuarto del Maíz». 23-25 de junio de 1993. Córdoba . p. 20-21.
- Trumper, E., E.V.; M.P. Grilli y D.E. Gorla. 1990. Ecología de delfácidos y epidemiología del Mal de Río Cuarto. Taller de Actualización sobre Mal de Río Cuarto. Pergamino-Bs. As. p.5-15.
- Trumper, E.V.; M.P. Grilli y G.E. Gorla. 1991. Ecología de Delfacidos y epidemiología del Mal de Río Cuarto. Taller de actualización sobre Mal de Río Cuarto. 30-31 de mayo de 1991. Pergamino-Bs. As. p. 5-15.
- Truol G.; T. Usugui; K. Shohara e I.G. Laguna. 1997. Obtención, multiplicación y mantenimiento mediante transmisión por vectores de aislamientos del virus del Mal de Río Cuarto (MRCV) provenientes de diferentes áreas de cultivo. Actas del VI Congreso Nacional del Maíz. Noviembre 1997. Tomo I (II):88-94.
- Truol, G. 1999. Barley yellow dwarf virus. En Hoja Informativa: enfermedades de los cultivos extensivos e intensivos. Ed. S. Lenardón. INTA-JICA-IFFIVE. Córdoba. ISSN: 1514-2736.
- Uyemoto, J.K. 1980. Detection of maize chlorotic mottle virus serotypes by enzyme-linked immunosorbent assay. Phytopathology 70:290-292.
- Uyemoto, J.K.; L.E. Clafin; D.L. Wilson y R.J. Raney. 1981. Maize Chlorotic Mottle and Maize Dwarf Mosaic, effect of single and double inoculations en symptomatology and yield. Plant Disease 65:39-41.
- Uyemoto, J.K.; N.J. Phillips y D.L. Wilson. 1981. Control of Maize Chlorotic Mottle Virus by Crop Rotation. Phytopathology 71:91
- Uyemoto, J.K. 1983. Biology and control of maize chlorotic mottle virus. Plant Disease 67:7-10.
- Virla, E; Giménez Pecci, M. P.; Herrera P. S.; Conci L. R. y Laguna I.G. 1998. Presencia del virus del Mal de Río Cuarto en Tafí del Valle, provincia de Tucumán. Avance Agroindustrial N 75 :27-30..
- White, D. G. 1999. Compendium of Corn disease. 3º edición. APS Press, Minesotta, USA. 78 pp.
- Williams, L. E.; L. J. Alexander 1965. Maize Dwarf Mosaic, a new corn disease. Phytopathology 55:802-804.
- Yossen, V.E.; E. Dalbo y S.F. Nome. 1982. Virus del Moteado clorótico del maíz (Maize Chlorotic Mottle Virus MCMV) en Argentina . RIA XVII:147-153.
- Yossen, V. e I.G. Laguna. 1986. Detección de la raza del D del Sugarcane Mosaic Virus en cultivos de maíz en Argentina. VI Jornadas Fitosanitarias Argentinas. Abril 1986. Cinco Saltos-Río Negro.
- Yossen, V.E. 1991. Comportamiento sintomatológico y serológico de aislamientos del Maize Dwarf Mosaic Virus (MDMV) provenientes de diferentes regiones geográficas. AgriScientiae VIII:33-36.

PARTE B. Enfermedades causadas por mollicutes en el maíz

Introducción

Los mollicutes son un grupo de bacterias muy pequeñas que carecen de pared celular, poseen gran plasticidad, son pleomórficas y capaces de atravesar los filtros que impiden el paso de las bacterias comunes y están incluidas en la clase Mollicutes. Se diferencian dos tipos de estos organismos: los que tienen formas helicoidales: espiroplasmas y los no helicoidales: fitoplasmas (Subcommittee on the taxonomy of Mollicutes, 1994).

Estos organismos pueden infectar al hombre, animales superiores, insectos, y plantas. Se han reportado más de 300 enfermedades de plantas causadas por Mollicutes.

En el mundo se han citado enfermedades que causan grandes pérdidas económicas, tales como el declinamiento del peral, la proliferación del manzano, la enfermedad X del enanismo del arroz, la hoja blanca de la caña de azúcar (Avicent y Llacer, 1997).

Los espiroplasmas fueron reconocidas como nuevas entidades microbiales en 1970. Posteriormente se los asoció a dos enfermedades de plantas: Corn Stunt y Citrus Stubborn y se determinaron sus insectos vectores (Lee & Davis, 1992).

En el cultivo de maíz en la Argentina se registró en 1992 la presencia del Corn Stunt Spiroplasma en el noroeste argentino (Lenardón y col., 1992; Lenardón y col., 1993).

En 1996 fue detectado un fitoplasma en cultivo de maíz en lotes de las provincias de Córdoba, Buenos Aires y Santa Fe (Lenardón y col., 1997).

Corn Stunt Spiroplasma

Introducción

Esta enfermedad fue descripta por primera vez, en el Valle Río Grande de Texas en 1945 (Altstatt, 1945), como causado por un virus, y posteriormente se reportó que un espiroplasma era el agente causal (Davis, 1973).

La enfermedad se observó posteriormente en otras áreas de EE.UU., México, El Salvador, Perú, Venezuela (Smith & White, 1988). Es una enfermedad importante en áreas tropicales y subtropicales.

Etiología

Es una bacteria pequeña, helicoidal, móvil, que se denomina *Spiroplasma kunkelii*. Esta ubicado en el Orden Mycoplasmatales, Familia Spiroplasmataceae.

Sintomatología

Fundamentalmente, los síntomas consisten en enanismo de las plantas, clorosis en los márgenes de las hojas, enrojecimiento de las hojas más viejas, proliferación de mazorcas y reducción del sistema radical.

Los espiroplasmas se ubican en el floema, donde aparecen acumulaciones de polisacáridos que tapan parcialmente los conductos impidiendo la circulación normal de la savia.

Transmisión y reservorios

El Corn Stunt Spiroplasma puede infectar naturalmente a varias especies de *Zea* (*Zea mexicana*; *Zea perennis* y *Zea diploperennis* (perennes)) que constituyen importantes reservorios (Nault, 1980).

Se han mencionado diez especies de Cicadélidos como vectores de esta enfermedad: *Dalbulus eliminatus* (Ball), *Exitianus exitiosus* (Uhler), *Stirelus bicolor* (Van Duzce), *Graminella nigrifrons* (Forbes), *Dalbulus tripsacoides*, *Dalbulus gelbus*, *Dalbulus guevarai*, *Dalbulus quinquenotatus*, *Dalbulus tripsaci* y *Dalbulus maidis*, siendo esta última especie la más eficiente (Smith y White, 1988). La transmisión se realiza de manera persistente. No se ha comprobado la transmisión de este patógeno por semilla.

Control

Se señala el desarrollo de cultivares resistentes como la estrategia más adecuada para el control de esta enfermedad.

El Corn Stunt Spiroplasma en la Argentina

En la Argentina se detectó en 1992 la presencia del Corn Stunt Spiroplasma en el noroeste argentino (Lenardón y col., 1992; Lenardón y col., 1993).



Figura 24. Maíz: acortamiento de entrenudos, estrías cloróticas desde las bases de las hojas: *Corn Stunt Spiroplasma*.

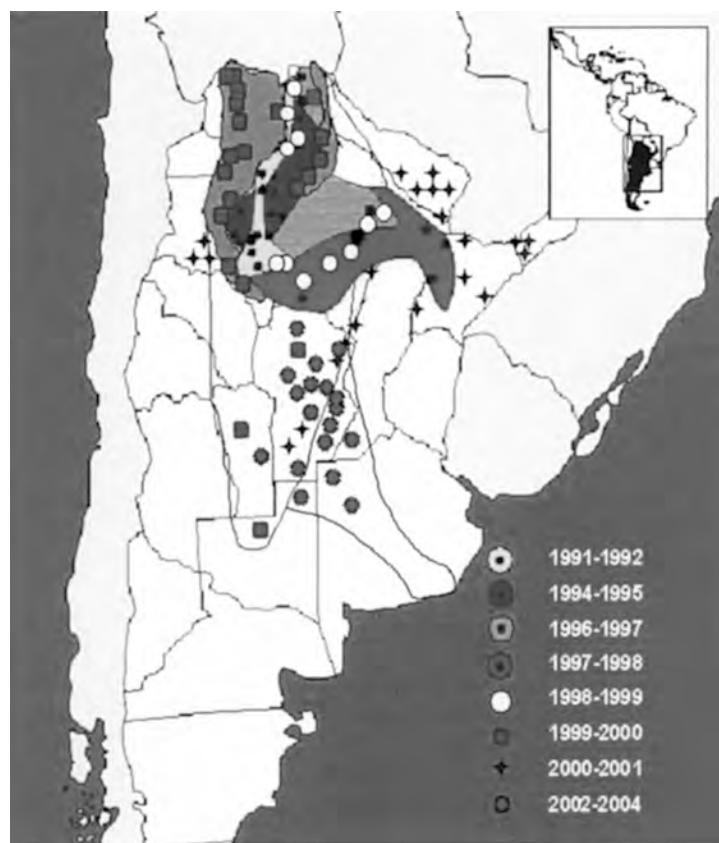
Desde el período agrícola 1990/91 se observó en lotes de producción de maíz de las provincias de Tucumán, Salta, Santiago del Estero y Catamarca (noroeste argentino) esta enfermedad cuya sintomatología consiste en acortamiento de entrenudos, enanismo marcado de las plantas, estrías blancas, amarillas o verde claro que nacen en la base de las hojas (Fig. 24), espigas múltiples, más pequeñas que las normales, con pocos granos o sin ellos. Se observa también deformación de brácteas, estrías cloróticas y engrosamiento de tallos. En

otros casos la sintomatología consistió en bandas cloróticas en las márgenes de las hojas, que posteriormente se tornan castaño rojizo y en una etapa avanzada se necrosa toda la hoja.

En muestreos realizados en diferentes áreas del NO argentino se registró una frecuencia de plantas con síntomas en valores variables que alcanzaron al 7% (Lenardón y col., 1993; Laguna y col., 1996). En el período agrícola 1996/97 se registró la presencia del *Corn Stunt Spiroplasma* en las provincias de Santiago del Estero, Chaco con valores de frecuencia que alcanzaron al 20% (Giménez Pecci y col., 1997). Estos datos muestran un avance de la enfermedad en el norte argentino, lo que debe ser considerado por técnicos y productores de maíz de esa área.

En el período agrícola 2000/01 se registró su presencia en las provincias de Córdoba, San Luis y La Pampa, áreas templadas del país (Giménez Pecci y col., 2001 a y b) Mapa 2.

Si bien no se han realizado estudios de incidencia de esta enfermedad, se ha observado que, en caso de infecciones tempranas, las plantas puede tener una producción nula.



Mapa 2: Difusión 2001 del *Corn stunt spiroplasma* en Argentina.

Aún no se ha determinado en el país otras especies de Cicadélidos involucrados en la transmisión del Corn Stunt Spiroplasma, aunque la especie *Dalbulus maidis* comprobada como vectora de la enfermedad, ha sido detectada en áreas de producción de maíz (Paradell, 1995; Virla y col., 1990).

Cabe advertir también que *Dalbulus maidis* fue detectado sobre maíz y tres especies de teosinte (*Zea mexicana Shrader*, *Zea perennis* Hitchcok y *Zea diploperennis*) (Virla y col., 1990) los que son mencionados en otros países como reservorios del *Spiroplasma kunkelii*.

Diagnóstico

En el país se realiza el diagnóstico de esta enfermedad mediante el empleo de técnicas serológicas (NC-ELISA) y microscopía electrónica.

Control

Se advierte sobre la necesidad de que esta enfermedad sea considerada en los planes de mejoramiento ya que el empleo de cultivares resistentes se presenta como la medida más adecuada para su control.

Fitoplasmas

Introducción

Los primeros reportes de enfermedades causadas por «mollicutes» actualmente descriptos como fitoplasmas, datan desde 1969 (Granados, 1969; Davis y Whitcomb, 1970). Desde ese momento hasta la actualidad se ha citado gran cantidad de este tipo de infecciones (Avicent y Llacer, 1997).

En 1977 Bradfute y Robertson (1977) comprobaron, mediante microscopía óptica, que el achaparramiento del maíz en el área Mesa Central, México (Maramorosch, 1955), era causado por un mollicute. En 1980, Nault estudia especies vectoras, mecanismos de transmisión y síntomas, y denomina la enfermedad con Maize Bushy Stunt Phytoplasma.

El Maize Bushy Stunt Phytoplasma se ha detectado en los EE.UU. en los estados de Texas, Louisiana y Florida, en México, Nicaragua, Colombia, Brasil y Argentina (Lenardón y col., 1997).

Etiología

Los fitoplasmas son organismos pleomórficos, filamentosos a menudo, alineados paralelamente a la longitud de los tubos cribosos; en cortes transversales estos filamentos se observan como pequeñas células esféricas. Su tamaño y desarrollo depende del grado de desarrollo de los tubos cribosos del floema.

Sintomatología

El síntoma más marcado es el enanismo de las plantas, acortamiento de entrenudos, más o menos severo, de acuerdo con el momento de la infección; enrojecimiento de las hojas que puede concluir con el enrojecimiento total de la planta.

La infección de los fitoplasmas produce alteración del metabolismo del nitrógeno, de los hidratos de carbono, y aumenta la concentración de aminoácidos, alterando asimismo los reguladores de crecimiento de las plantas.

Transmisión

El Maize Bushy Stunt Phytoplasma se transmite por Cicadélidos (*Homoptera, Auchenorrhyncha*, familia Cicadellidae). La transmisión es persistente propagativa. El insecto adquiere el patógeno después de alimentarse en plantas enfermas, el agente se multiplica en el insecto, luego llega a las glándulas salivales y desde ese momento el insecto es capaz de transmitirlo, esta capacidad puede durar toda la vida del vector. Se ha mencionado a *Dalbulus maidis* y *Dalbulus eliminatus* como las especies vectoras más eficientes.

No se ha reportado la transmisión por semilla de este patógeno.

Control

Se sugiere el empleo de variedades resistentes.

Los fitoplasmas en Argentina

En el período 1996/97 se observó en plantas de maíz en las provincias de Córdoba (Río Cuarto, Jesús María), Buenos Aires (General Villegas, Tandil), Santa Fe (Zaballa), una sintomatología consistente en un amarillamiento en las márgenes de las hojas, luego un enrojecimiento que se extiende a toda la lámina y posteriormente a la totalidad de la planta (Lenardón y col., 1997).

En la actualidad se lo ha registrado en diversas áreas productoras de maíz, Noroeste, Noreste, Pampa húmeda y zona semiárida (Conci, 2002; Giménez Pecci y col., 2001b).

Mediante microscopia electrónica se observó cuerpos pleomórficos, limitados por una membrana compuesta por tres capas.

Empleando un antisuero polyclonal que permite el diagnóstico de otros fitoplasmas (Gómez y col., 1996; Conci y col., 1994), se registró en estos materiales la presencia de fitoplasmas.

La amplificación por PCR confirmó los resultados obtenidos por microscopia electrónica, permitiendo ubicar, mediante esta metodología y RFLP, a este fitoplasma dentro del grupo I, incluido en el grupo Aster yellow, de la misma manera que MBSP, localizado en EE.UU. y México (Conci comunicación personal).

Aún no se ha determinado en el país el o los vectores que transmiten la enfermedad.

Según Lenardón y col. (1997) éste sería el primer registro de este tipo de patógenos fuera de áreas tropicales y subtropicales, lo que podría estar indicando una evolución de los mismos.

Bibliografía

- Alstatt, G.E.1945. A new corn disease in the Rio Grande Valley. Plant Disease Reporter 29:533-534.
- Avicent, L. y G. Llacer. 1997. Fitoplasmas y espiroplasmas fitopatógenos. In: Patología Vegetal. Tomo I. Llacer, G.; M.M. López; A. Trapero; A. Bello. Phytonoma. España S.L. Madrid. 695 pp.
- Bradfute, O.E.; D.C. Robertson. 1977. Electron microscopy as a means for discovery a new maize viruses and virus - like pathogens. In: Proceedings Maize Dis. Colloq. And Workshop. Williams, L.E. y D.T. Gordon; L.R. Nault Edit. 16- 17 Aug. 1976. Wooster, USA. 145 pp.
- Conci, L.R.; S.F. Nome; G.G. Gomez. 1994. Relaciones serológicas entre diferentes MLO'S establecidos por NC-ELISA. Actas del XVII Congreso Argentino y VI Congreso Latinoamericano de Horticultura. Sep. 1994, Huerta Grande, Córdoba, Argentina.
- Conci, L.R. Enfermedades causadas por fitoplasmas. En I Curso de diagnóstico y manejo de enfermedades de maíz. 17-18 de octubre de 2002. Pergamino.
- Davis, R.E. 1973. Occurrence of a spiroplasma in a corn stunt disease in México. Plant Disease Reporter 57:333-337.
- Davis, R.E.; R.F. Whitcomb. 1970. Evidence on possible mycoplasma etiology of aster yellows disease I. Suppression of symptom development in plants by antibiotics. Infect. Immun. 2: 201-108.
- Gomez, G.G.; L.R. Conci; D. Ducasse; S.F. Nome. 1996. Purification of phytoplasma associated with the china tree decline and de production of a polyclonal antiserum for its detection. Journal of Phytopathology 144: 473-478.
- Gimenez Pecci M. P.; I.G. Laguna; L.D. Ploper; A.M.M. De Remes Lenicov; S. Paradell; E. Virla. 1997. Avance del "Corn Stunt" del maíz en el norte argentino. Revista Avance Agro Industrial. Vol. 18 (71): 31-33.
- Giménez Pecci, M.P.; I. G. Laguna; A. O. Avila; A. M. De Remes Lenicov; E. Virla; P. Carpane; C. F. Nome; y S. Paradell. 2001a. Achaparramiento del maíz» (Corn stunt spiroplasma) y su vector (*Dalbulus maidis*) en la Argentina. Fitopatología Brasileira, Vol (26) Suplemento. Resumen Nº 139.
- Oliveira, E.; R. O. Resende; I. G. Laguna; L. R. Conci; A. Avila; P. Herrera; E. Galdeano; E. Virla y C. F. Nome. 2001. Occurrence of Corn Stunt Diseases and maize viruses in the provinces of Tucumán and Córdoba in Argentina. Virus Reviews & Research Vol 6 (Nº2) Suplemento 1. Pág. 156.
- Granados, R.R. 1969. Electron microscopy of plant and insect vectors infected with de corn stunt disease agent. Contrib. Boyce Thompson Inst. 24: 173-187.
- Laguna, I.G.; L.D. Ploper; S.M. Laguzzi. 1996. Achaparramiento del maíz en el noroeste argentino. Avance Agroindustrial 17 (67): 15-17.
- Lee, I.M.; R.E.Davis. 1992. Mycoplasmas which infect plants and insects . p. 379-390. In Mycoplasmas: Molecular biology and Pathogenesis. Ed. J. Maniloff; R.N. Mc Elhaney, LL.R. Finch, J.B. Baseman. American Society for Microbiology.Washington.
- Lenardon, S.L.; I.G. Laguna; G.A. Truol; D.T. Gordon; O.E. Bradfute y G. Gomez. 1992. Corn Stunt Spiroplasma en el cultivo de maíz en el NO argentino. Actas del V Congreso Nacional de maíz y II Reunión Sudamericana de maiceros. 11-13 de noviembre. Pergamino. Cap. IV p. 10-20
- Lenardon, S.L.; I.G. Laguna; G.A. Truol; D.T. Gordon; O.E. Bradfute; y G. Gomez. 1993. Identification of Corn Stunt Spiroplasma in maize from Argentine. Plant Disease 77(1):100.
- Lenardon, S.L.; L.R. Conci; G.G. Gomez; C.F. Nome; M. Gonzalez; S.F. Nome. 1997. Fitoplasma asociado al enrojecimiento del maíz. VI Congreso Nacional del maíz. Noviembre 1997. Pergamino. Tomo I (II): 10-16.
- Maramorosch K.E. 1955. The occurrence of two strains of corn stunt in Mexico. Plant Disease Report 39: 896-898.
- Nault, L.R. 1980. Maize bushy stunt and corn stunt: A comparison of disease symptoms, pathogen host ranges and vectors. Phytopathology 70:659-662.
- Paradell, S.L. 1995. Especies argentinas de Homopteros Cicadelidos asociados al cultivos de maíz. Actas del III Congreso Argentino de Entomología. 2-7 de abril. Mendoza. p. 34.
- Smith, D.R. y D.G.White. 1988. Disease in corn. In : Corn and corn improvement. Sprague G.F. y J.W. Dudley. Ed. American Society of Agronomy. Madison.
- Subcommittee on the taxonomy of Mollicutes. 1994. Meeting in the 10 th International Congress of the I.O.M. Bordeaux July 1994.
- Virla, E.; A.M.M. De Remes Lenicov; S. Paradell. 1990. Presencia de *Dalbulus maidis* (Insecta, Homoptera, Cicadellidae) sobre el maíz y teosinte en la Argentina. Revista de la Facultad de Agronomía. Tomo 66-67:23-30.

8. BIOECOLOGIA Y CONTROL DE PLAGAS EN EL CULTIVO DE MAIZ

Autores: Nicolás Iannone y Pedro Daniel Leiva

Estación Experimental Agropecuaria INTA
Pergamino

Fotografía: *Esteban Danel Saini,*
IMYZA, INTA Castelar.

Índice

Plagas más importantes del cultivo	179
Insectos del suelo	179
Gusanos blancos	179
Identificación del problema	179
Bicho torito <i>Diloboderus abderus</i> Sturm	179
Bioecología y daños	179
Nivel de decisión para el tratamiento de control	179
Control químico	180
Orugas cortadoras	181
Bioecología y daños	181
Estaciones de monitoreo y toma de decisión ..	181
Estrategias de control	181
Trips	183
Antecedentes del problema	183
Bioecología y daños	184
Control químico	184
Barrenador del tallo <i>Diatraea saccharalis</i> Fab.	184
Bioecología de la plaga	184
Daños y pérdidas de rendimiento	185
Control cultural	187
Control químico	188
Momento de aplicación	188

Monitoreo	189
Toma de decisión	189
Sistema de aplicación	190
Siembra de «refugios»	190
Isoca militar tardía <i>Spodoptera frugiperda</i> Smith	191
Bioecología y daños	192
Niveles de decisión sobre medidas de control químico	192
Pautas de control	193
Isoca de la espiga <i>Heliothis zea</i>	193
Bioecología y daños	193
Control químico	194
Plagas secundarias	194
Gusano alambre <i>Conoderus</i> spp, <i>Agriotes</i> spp, <i>Monocrepidius</i> spp.	194
Bioecología y daños	194
Control químico	194
Mosca de la semilla <i>Hylemia</i> spp	194
Bioecología y daños	194
Control químico	195
Gorgojo de la corona <i>Listronotus bonariensis</i>	195
Bioecología y daños	195
Control químico	196
Gorgojo del maíz. <i>Sphenoporus brunneipennis</i>	197
Bioecología y daños	197
Vaquita de San Antonio <i>Diabrotica speciosa</i>	197
Bioecología y daños	197
Nivel de decisión y control químico	198
Barrenador menor del maíz <i>Elasmopalpus lignosellus</i> Zeller	198
Bioecología y daños	198
Nivel de decisión	198
Control químico	198
Pulguilla del tabaco <i>Epitrix argentinensis</i> Bryant	198
Bioecología y daños	198
Nivel de daño económico	198
Control químico	198
Chinche verde <i>Nezara viridula</i> L.	200
Bioecología y daños	200
Niveles de decisión	200
Control químico	201
Pulgón del maíz <i>Rhopalosiphum maydis</i> Fitch	201
Bioecología y daños	201
Referencias bibliográficas	201
.....	

Plagas más importantes del cultivo

Insectos del suelo

Gusanos blancos

Los gusanos blancos corresponden a un grupo de coleópteros de la familia *Scarabaeidae*, los cuales habitan en la tierra al estado larval produciendo daños durante este período, y toman la forma de escarabajos en su estado adulto. A este grupo de gusanos se lo considera entre los más importantes insectos del suelo de la región pampeana.

La presencia y abundancia de las distintas especies que componen el complejo de gusanos blancos puede variar significativamente según antecesores, sistemas de siembra, etc. Así por ejemplo, en siembra directa (SD) continua se ha observado un incremento de la población de gusanos blancos, registrándose daños por reducción del número de plantas y del sistema radicular en maíz. Estudios realizados por el INTA Pergamino en el norte de la Pcia. de Bs. As. (Iannone, 1997b), permitieron determinar que la cantidad de gusanos blancos (gb) se va incrementando en una relación aproximada de 3 a 4 veces al pasar del sistema de labranza convencional a la SD, y de ésta a las pasturas ($3 \text{ a } 5 \text{ gb/m}^2$, 14 gb/m^2 y 50 gb/m^2 respectivamente).

El complejo de gusanos blancos está constituido por alrededor de una decena de especies. La especie predominante en pasturas resultó ser *Diloboderus abderus* (bicho torito), y *Philochloenia bonariensis* es la segunda en importancia. En cambio, por efecto de la SD la predominancia de ambas especies se invierte. Resulta importante señalar que según las rotaciones de cultivos en SD, la población de gusanos blancos disminuyó un 33% cuando el antecesor fue soja en comparación al antecesor maíz (11 gb/m^2 y 16.3 gb/m^2 respectivamente; Iannone, 1997b).

Identificación del problema

Una forma empírica, pero práctica y que no requiere esfuerzo como para tener una idea *a priori* de la posible existencia del problema

de bichos torito, consiste en observar en la superficie del terreno la presencia de pequeños cúmulos de tierra removida, producto de la construcción de galerías por parte de las larvas. Con abundante rastrojo en superficie, en los casos de SD, la observación de los agujeros se facilita con la ayuda de una pala ancha pasándola en forma rasante al terreno.

Si se observan frecuentes montículos o agujeros en la superficie del lote, se recomienda tomar muestras de suelo a fin de encontrar las larvas, identificar al menos las que correspondan al bicho torito, y cuantificar su presencia por metro cuadrado. Una forma fácil y práctica de identificar a campo las larvas del bicho torito consiste en observar la cabeza de la larva. Esta especie es la única que tiene la cabeza de color castaño rojizo y de un ancho similar al cuerpo. En el resto de las especies la cabeza es notoriamente más angosta y el color castaño claro.

Las muestras de suelo tomadas sobre una superficie de $1/8 \text{ de m}^2$ ($25 \times 50 \text{ cm}$ y 30 cm de profundidad), se deben realizar mediante el uso de una pala de punta, desterronando para la visualización y registro de los gusanos. En cuanto a la cantidad de muestras a tomar, ésta dependerá del nivel de infestación. Especialistas del INTA Rafaela (Frana e Imwinkelried, 1996) señalan que un muestreo ideal sería excesivamente gravoso de implementar. Se sugiere un mínimo de 5 muestras por lote de una superficie de alrededor de 25 ha para el caso de infestaciones muy bajas o altas. Con niveles intermedios de plaga (entre 4 y 10 larvas/ m^2), el número mínimo de muestras a realizar es 8 a 10. Los muestreos deben aleatorizarse en el lote, resultando conveniente una disposición en «zig-zag» o en forma de «M»

BICHO TORITO *Diloboderus abderus*

Sturm.; (Coleoptera : Scarabaeidae)

Bioecología y daños

Dentro del grupo de gusanos blancos el bicho torito es la especie de mayor importancia económica. Las larvas tienen el cuerpo en forma de «C», su tegumento es translúcido y poseen numerosas cerdas de color castaño rojizo claro. El color general es blanco, salvo los órganos que



Fig. 1 *Diloboderus abderus*

se ven por transparencia. La cabeza es de color marrón rojizo, globosa y casi tan ancha como el tórax. En el tórax tiene tres pares de patas. La fase de prepupa se caracteriza por perder su conformación en forma de «C» y adoptar otra casi recta. En este estado es poco móvil y se torna de color amarillento (Alvarado, 1980). En la fase de prepupa y en el estado de pupa, no causa daños ya que no se alimenta.

En la provincia de Buenos Aires los adultos (Fig. 1) hacen su aparición e inician la actividad reproductiva en el mes de diciembre. Las hembras prefieren suelos compactos antes que los roturados para colocar sus huevos; por lo tanto, lotes de varios años de pasturas o de SD concentran esta plaga (Torres et al., 1979). Cuando se destinan praderas infestadas para sembrar maíz en fecha temprana, es de esperar que las pérdidas sean importantes en el primer año. A medida que se suceden los años bajo agricultura con remoción de suelo, la población de esta especie disminuye.

El ciclo de vida se cumple en el término de un año (Alvarado, 1980). Las larvas son más voraces en el tercer estadío, el cual por lo general se presenta en el norte de la Provincia de Buenos Aires desde la segunda quincena de

marzo hasta mediados de octubre cuando entra en estado de prepupa. Con relación al ciclo de la plaga, se infiere que siembras tempranas están más expuestas al ataque. En cambio, al postergarse la fecha de siembra disminuirán los daños por bichos torito, pero se expone el cultivo al daño de otras plagas (p.e., barrenador del tallo e isoca de la espiga) y enfermedades.

Los daños más graves y evidentes son los que ocurren durante las primeras etapas de desarrollo del cultivo. Las larvas pueden dañar semillas tanto intactas como recién germinadas (Alvarado, 1985). Al iniciarse el período vegetativo consumen la planta comenzando desde la raíz. Con plantas más desarrolladas se alimentan exclusivamente de raíces, aunque en este estado las plantas toleran el daño de estos insectos. Existen antecedentes de estimaciones de pérdidas debido a estos insectos. Diversos autores señalan que las mismas pueden llegar a 1200 - 2600 Kg/ha en casos extremos (Galarza, 1972; Conti y Giordani, 1971). La densidad de la plaga está muy ligada a los niveles de fertilidad del lote, y fundamentalmente asociada a pasturas equilibradas o no degradadas, así como a lotes de varios años en SD.

Niveles de decisión

Se considera que cuatro larvas por metro cuadrado representan el nivel de daño económico para esta plaga según cita la bibliografía (Damilano y Brugnoni, 1980; Alvarado, 1980 y 1985).

Control químico

A. Siembra convencional

En siembra convencional los tratamientos de cobertura con posterior incorporación mecánica al suelo, se deben realizar preferentemente entre 10 y 15 días antes de la siembra. Se recomienda utilizar un caudal de agua no inferior a 150 lt/ha e incorporar inmediatamente a 8-10 cm de profundidad con una pasada de disco de doble acción.

B. Siembra directa

Para cultivo de siembra directa se dispone la tecnología de tratamiento de semilla (TS) utilizando productos de última generación a las dosis adecuadas.

Las dosis de control de bicho torito son las más altas en relación al control de la mayoría de insectos del suelo (ej.: gusanos alambre, mosca de semilla, etc.).

Se ha demostrado la efectividad de otro método de control consistente en la aplicación de soluciones insecticidas dentro del pequeño surco de remoción y por detrás del tubo de descarga de la semilla, utilizándose el equipo de aplicación de fertilizantes líquidos. Este método es igual de eficiente que el método de tratamiento de semillas (Iannone, 1997b), con la ventaja de que resulta generalmente más económico. La desventaja radica en la disponibilidad del equipo.

ORUGAS CORTADORAS (*Lepidoptera Noctuidae*)

Bioecología y daños

Las especies de cortadoras más importantes de la región pampeana son: gusano grasiendo *Agrotis ipsilon* (Hufnagel) (Fig.2), gusano variado *Peridroma saucia* (Hubner), gusano pardo *Porosagrotis gypaetina* (Guenée) y gusano áspido *Agrotis malefida* (Guenée) (Fig.3). Estas dos últimas especies son las principales cortadoras que afectan al cultivo de maíz.

Las cortadoras se caracterizan por la rapidez y voracidad con que comen el cuello de las plantas hospederas hasta provocar su corte y caída. Estas especies producen cortes en plántulas pequeñas al ras del suelo o debajo de la superficie, provocando normalmente la muerte de las mismas y obligando en muchos casos a reseñar el lote.

Las larvas tienen por lo general colores grises o pardos, se alimentan por la noche y de día permanecen ocultas a pocos centímetros debajo de la superficie del suelo. Debido a este hábito se recomienda, para aquellos casos que requieran del control químico, realizar el tratamiento durante la noche o al atardecer. Las hembras adultas depositan sus huevos en lugares protegidos, preferentemente en lotes sucios, enmalezados o con abundante rastrojo en superficie. En relación a la preferencia por este tipo de habitat, los cultivos en siembra directa son en general más predisponentes al daño de cortadoras. Por lo tanto, el

mantenimiento de un barbecho libre de malezas en siembra convencional y barbecho químico en siembra directa son alternativas culturales recomendadas para minimizar el impacto de esta plaga. Las principales especies de cortadoras mencionadas en maíz, *A. malefida* y *P. gypaetina*, están presentes al estado larval durante el invierno y con un desarrollo avanzado al momento de la siembra. *A. malefida* presenta un ciclo de 120-150 días y *P. gypaetina* de 90 a 105 días. Las hembras oviponen de 1000 a 2000 huevos y presentan una sola generación al año (Aragón et al., 1997).

En razón de que la plaga se encuentra en el lote antes de la siembra del cultivo, es posible y altamente conveniente realizar monitoreos previos a la misma para detectar el problema y conocer el grado de infestación del lote.

Estaciones de monitoreo y toma de decisión

Es necesario implementar estaciones de monitoreo una semana previa a la siembra (Alvarado, 1985). La estación de monitoreo es una parcela de 9 m² (3 x 3 m), cubierta con polietileno y marcada convenientemente (con estaca y bolsa invertida o bandera para su fácil identificación). Deben distribuirse 50-60 g de cebo tóxico por estación, preferentemente al atardecer. Durante los dos días subsiguientes se contará el número de orugas muertas. Cuando se registre un promedio de 3 o más orugas muertas (mayores de 1,5 cm de largo) por parcela o estación, se recomienda el control con un cebo sólido (Aragón, 1985).

Estrategias de control

Los tratamientos químicos pueden realizarse utilizando más de un criterio. De acuerdo al momento u oportunidad del tratamiento, éste puede ser preventivo o curativo.

A. Tratamiento preventivo (en siembra o pre-emergencia)

Una vez detectadas las cortadoras a través del monitoreo previo a la siembra, o en el caso de zonas con aparición sistemática de la plaga, será conveniente realizar un tratamiento preventivo con **cebo sólido** al momento de la siembra (cajón fertilizador) o inmediatamente

Fig. 2



Agrotis ipsilon



Fig. 3



Agrotis malefida



posterior a la misma (máquina fertilizadora o distribuidora de cebo tipo «Maracó»). El cebo se deberá preparar y aplicar según se describe a continuación:

A1. Constituyentes y preparación del cebo sólido (Iannone y Leiva, 1993a):

* Grano de trigo partido (o cualquier otro grano)	10 Kg
*Azúcar negra o melaza	0,5 Kg
*Agua	1,5 Lt
*Insecticidas:	uno a elección

1) Disolver la cantidad de producto recomendado en 1,5 litros de agua con 0,5 kilos de azúcar.

2) Asperjar sobre los granos y remover para homogeneizar la distribución del producto y evitar la formación de grumos.

3) Aplicar el cebo a razón de 10 kg/ha, o 20 kg/ha en caso de suelos secos, sueltos y/o con abundantes cascotes.

B. Tratamientos curativos (en post-emergencia)

En cortadoras, los tratamientos curativos se refieren a aquellas acciones de control de las isocas presentes sobre un cultivo en emergencia o recientemente emergido, o sea en su estado más crítico frente a la plaga. El tipo de tratamiento curativo a seleccionar dependerá fundamentalmente de la cantidad de plaga presente, comparado al **Nivel de Daño Económico** (NDE) para la misma.

El NDE para cortadoras en cultivos de maíz en estadios tempranos es de 1 oruga (mayor de 1,5 cm) y 3 plántulas cortadas cada 12 metros de surco.

B1. Infestaciones severas

Para los casos en que la cantidad promedio de plántulas cortadas y presencia de isocas en el cultivo sea muy cercana o superior al NDE se recomienda utilizar el **cebo líquido**. Este tipo de cebo consiste en una aspersión química convencional, a excepción del agregado de un atractivo o fagoestimulante. Los atractivos más eficaces son el azúcar negra o melaza, los

cuáles deben diluirse en el tanque pulverizador a razón de 1 kg cada 100 litros de agua.

Se recomienda efectuar los tratamientos al atardecer o de noche, cuando se registra la mayor actividad de las isocas y por ende están más expuestas, para favorecer la acción de contacto del insecticida, y lograr así un alto nivel de control en corto tiempo. Los volúmenes mínimos para equipos aéreos son de 12-15 litros por hectárea, y para terrestres convencionales de 60-70 litros/ha, dispersados con picos de cono hueco y a una presión de 40-60 lb/pg². Las aplicaciones terrestres pueden ser realizadas en cobertura total o en bandas sobre la línea de siembra. Es recomendable revisar a las 24-48 horas para constatar la eficiencia de los tratamientos.

B2. Infestaciones leves a moderadas

En un cultivo ya emergido que presenta infestaciones inferiores al NDE y con daños todavía escasos o nulos, puede optarse por la utilización del cebo sólido como tratamiento de control. Dicho cebo es el mismo en cuanto a constituyentes y dosis que el previamente detallado para el tratamiento preventivo.

TRIPS (*Thysanoptera: Thripidae*)

Antecedentes del problema

Los trips son pequeños insectos tisanópteros que han incrementado su preponderancia muy recientemente en cultivos extensivos del área pampeana, sobre todo en maíz y trigo. Se registraron los primeros ataques significativos en maíz durante la primavera de 1995 en distintas zonas del área de influencia de la Estación Experimental Pergamino (INTA).

Al año siguiente esta plaga se presentó en cultivos de trigo, con una incidencia relativamente generalizada y niveles variables de infestación. El momento de aparición fue especialmente en los estados de encañazón y de espiga embuchada, produciendo retención y deformación de espigas. Sin embargo, en muchos casos estos síntomas fueron confundidos con efectos de herbicidas hormonales. Esta plaga también produjo un «escaldado» o grandes canchas de coloración

plateada fundamentalmente en la hoja bandera, producto de las laceraciones del insecto, así como retorcimiento y acartuchado de la misma.

A principios de noviembre de 1996 también se iniciaron los ataques de trips en cultivos de maíz en las zonas más afectadas por estrés hídrico como en el sur de Santa Fe y en menor medida en el norte de la provincia de Buenos Aires. El INTA Pergamino efectuó relevamientos de la gravedad de la situación en algunas de estas zonas, con epicentro en localidad de Santa Fe como Carreras, Alcorta y Wheelwright, encontrándose que la gran mayoría de los lotes de maíz estaban afectados.

Bioecología y daños

Los trips son insectos de gran movilidad y de un tamaño que varía entre 0,8 y 1,4 mm de longitud. Tienen un color amarillo ocráceo o anaranjado parduzco. Los adultos presentan cuatro alas finas que se destacan, al ser observadas por medio de una lupa, por la presencia de pelos largos tipo flecos. Colocan entre 20 y 100 huevos en forma individual encastados en el tejido epitelial de la planta, y el período embrionario varía entre 5 y 15 días.

Se caracterizan por poseer una metamorfosis intermedia entre simple y completa, presentan dos estados larvales y luego abandonan la planta dirigiéndose al suelo para enterrarse superficialmente y pasar así los estadios inactivos de prepupa y pupa.

El daño lo produce al estado larval y adulto. Roen los tejidos al ser raspados longitudinalmente con los estiletes de su aparato bucal, para luego absorber los líquidos exudados fundamentalmente clorofila. Como resultado de una gran cantidad de laceraciones la hoja presenta un aspecto plateado, lo cual reduce el área fotosintéticamente activa, fundamentalmente en el envés de las hojas inferiores, en el haz de las hojas superiores, y en casos graves se traduce en un quemado bien definido en los extremos de estas últimas. Además, como efecto secundario las hojas se enroscan y según la intensidad del ataque se pueden producir deformaciones, achaparramiento de la planta, e incluso aparición de macolllos.

Con condiciones de déficit hídrico son más frecuentes los ataques severos de esta plaga, registrándose en general varias decenas de individuos en las hojas principales de cada planta, haciendo notables los daños de mayor intensidad en grandes manchones dentro del lote. Asimismo, el cultivo queda limitado en su crecimiento. El aspecto de un cultivo atacado es un plateado general del mismo y un «acigarrado» o «acartuchamiento» de las hojas mucho más intenso que el efecto de sequía. También se puede observar diferencias de susceptibilidad entre cultivares. Los tratamientos químicos resultan eficientes cuando éstos se realizan en forma adecuada (ver recomendaciones para el control químico).

Control químico

Para lograr el éxito en el control químico de esta plaga, además de la elección del producto y dosis adecuadas a utilizar, se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- a) En todos los casos agregar tensioactivo al caldo insecticida.
- b) Aplicar a la mañana temprano o al atardecer, a fin de no hacer coincidir la aplicación con las hojas acartuchadas.
- c) Se logra una mayor eficacia con aplicaciones terrestres, utilizando picos de cono hueco y alta presión.
- d) En caso de tener previsto la aplicación de herbicidas a base de la droga Nicosulfurón, considerar su incompatibilidad con insecticidas fosforados.

BARRENADOR DEL TALLO *Diatraea saccharalis* Fab. (Lepidoptera : Pyralidae)

Bioecología de la plaga

Diatraea saccharalis Fab. es un insecto lepidóptero (Pyralidae), que tiene como hospederas a plantas gramíneas, cultivadas y silvestres, como son el maíz, sorgo granífero, caña de azúcar, trigo, arroz, sorgo de Alepo y otras gramíneas forrajeras como *Phalaris* sp. y *Penisetum* sp. (Parisi y Dagoberto, 1979).

Las mariposas (Fig. 6) aparecen en primavera e inician la primera generación colocando oviposiciones en maíz y sorgo alrededor de la primera quincena de noviembre y preferentemente en el envés de las hojas (Iannone y Leiva, 1993b). La segunda generación lo hace con mayor frecuencia entre fines de diciembre y la primera quincena de enero, y la tercera generación normalmente desde principios de febrero en cultivos tardíos. Cada oviposición (Fig. 4) es una masa de 10-50 huevos con apariencia escamosa y de coloración blanca cuando están recién colocados, tornando al amarillento y finalmente al anaranjado cuando están próximos a eclosionar. El período de huevos puede durar entre 6 y 10 días según un amplio rango de temperaturas, aunque generalmente se cumple entre 7 y 9 días. Estudios realizados en INTA Pergamino indican que la gran mayoría de las oviposiciones son colocadas en el tercio medio e inferior de la planta de maíz, registrándose entre el 50 y 60% del total en el tercio medio (Iannone, 2001). Esta información tiene particular importancia al momento de aplicar la solución insecticida.

Las larvas al nacer se dirigen hacia la axila, entre el tallo y las vainas de las hojas. Después de 2 o 3 días atraviesan las vainas que envuelven el tallo, permaneciendo en el medio acuoso entre éste y la vaina de la hoja. A la semana de nacidas comienzan a introducirse en el mismo donde desarrollan casi toda su vida larval produciendo galerías (Fig. 5). Presentan 5 estadíos larvales comprendidos en un período de alrededor de 25 días. Hiberna como larva en raíces y base del tallo de plantas hospedantes, y fundamentalmente en los tocones de rastrojos de maíz y sorgo (Leiva y Iannone, 1994).

Daño y pérdida de rendimiento

La primera generación puede afectar al maíz en estado vegetativo, normalmente con 5 a 8 hojas. En este caso, las larvas atraviesan el conjunto de hojas enrolladas para dirigirse al cogollo de la planta. Debido al crecimiento las hojas se desenrollan y las que fueron perforadas muestran una serie de pequeños agujeros siguiendo una dirección transversal en la hoja.

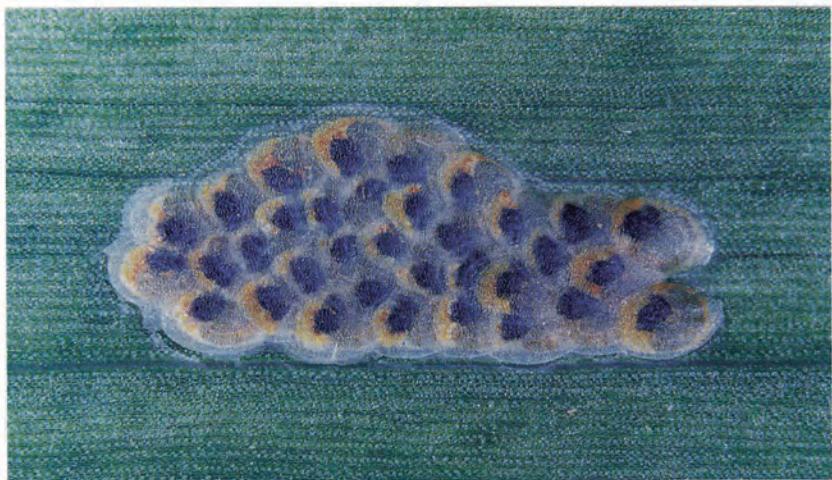
Si las larvas afectan al meristema apical en desarrollo, que posteriormente deberían dar origen a la caña, pueden provocar la muerte de la

planta joven, reduciendo la densidad de plantas en el lote. Los ataques de la segunda y tercera generación encuentran a plantas de maíz más desarrolladas (encañadas). Las larvas perforan el tallo y efectúan galerías longitudinales en su interior. Una misma larva barrena dos o tres entrenudos, y pueden hallarse varias larvas por planta. Este daño afecta la fisiología de la planta, y en consecuencia el potencial de producción del cultivo, por lo cual es llamado **daño directo** (Leiva y Iannone, 1994). A su vez, las perforaciones y barrenado producen daños que tienen repercusión indirecta sobre la producción cosechada. El más importante de los **daños indirectos** es la pérdida de cosecha, producto del barrenado del pedúnculo y base de la espiga, lo cual debilita su inserción en la planta, provocando así la caída y pérdida de la espiga al momento de la cosecha. Otros daños indirectos son el quebrado de las plantas y la podredumbre del tallo, enfermedad asociada y favorecida por la vía de entrada de hongos patógenos a través de las perforaciones.

En maíces con tecnología de alta producción, pero sin control del «barrenador del tallo», las evaluaciones realizadas por el INTA Pergamino permitieron determinar que esta plaga produce pérdidas económicas de mucha importancia todos los años. Ello se traduce a nivel país en una pérdida anual promedio de 170 millones de dólares (Iannone, 1999a), la cual puede oscilar entre 150 y 300 millones de dólares (ASA 2000). Independientemente de las variaciones anuales, las pérdidas de rendimiento son mayores a medida que se atrasa la siembra del cultivo. Específicamente, lotes atacados en siembras tempranas de setiembre presentan pérdidas promedio cercanas al **10%** de la producción. Las pérdidas registradas en maíces tardíos de octubre son de alrededor del **20%**, y en maíces de segunda éstas pueden llegar al **50%** de la producción (Iannone, 1997a y 1997c), en referencia a lotes atacados.

D. saccharalis presenta en la región pampeana tres generaciones anuales y muy

Fig. 4



Huevo de *Diatraea saccharalis*

Fig. 5



Larva de *Diatraea saccharalis*

Fig. 6



Adulto de *Diatraea saccharalis*

esporádicamente cuatro. El ataque de la primera generación generalmente no es importante, con la excepción de las campañas agrícolas 2001/2002 y 2002/2003. Lo normal es que la segunda generación sea mucho más intensa, y la tercera generación de la plaga es la que siempre presenta picos poblacionales muy elevados.

El impacto de *Diatraea* está en relación con la fecha de siembra (Cuadro 1). En siembras tempranas, el maíz está expuesto a la primera y segunda generación del insecto. El ataque de la primera coincidirá con el maíz al estado vegetativo. En cambio, la segunda generación encontrará a un maíz encañado, con su biomasa desarrollada y al estado reproductivo.

Esta segunda generación producirá daños directos (barrenado del tallo) de una magnitud que estará en relación a la mayor o menor cantidad de individuos adultos presentes. Dicha magnitud también dependerá del momento de ocurrencia de esta generación. Se menciona como ejemplo que si la segunda generación de *Diatraea* en lugar de estar oviponiendo el 10 de enero lo hiciera el 25 de diciembre con igual ataque o infestación, en este último caso habría un mayor impacto en la producción por afectar

al maíz durante un estado más sensible (planta más joven). Esta es la razón por la cual la segunda generación de *Diatraea* impacta más en los maíces de octubre (alto impacto, Cuadro 1) que en los de setiembre (impacto moderado).

En síntesis, más tarde se siembra, mayor es el daño. Concordando con dicha premisa, los maíces de segunda sufren el impacto más alto de *Diatraea* en la producción, debido a que las siembras de diciembre son atacadas por la tercera generación de la plaga, la cual presenta un nivel poblacional muy superior a la segunda.

Control cultural

Para lograr reducir la incidencia del barrenador del tallo a través de alternativas culturales, deberá tenerse en cuenta lo siguiente:

a) Rotación de cultivos

En este sentido no se debe sembrar maíz sobre maíz ni sobre sorgo granífero. Además, conviene reducir al mínimo la presencia de sorgo de Alepo en las rotaciones.

b) Fechas de siembra

La importancia de la fecha de siembra queda claramente de manifiesto si se tiene en cuenta

Cuadro 1. Generaciones de *Diatraea* posibles de aparecer según fechas de siembra de maíz.

EPOCA DE SIEMBRA	GENERACION DE LA PLAGA	ESTADO DEL MAIZ (afectado por el daño)	IMPACTO DEL DAÑO (en ausencia de control)
NORMAL (Hasta ppió, de Octubre)	Primerá	Vegetativo	VARIABLE
	Segunda	Reproduct. Avanzado	MODERADO
TARDÍA (Oct. a ppió. de Noviembre)	Segunda	Encañazón / Panojado	ALTO
	Tercera	Reproductivo muy avanzado	LEVE
MAÍZ DE SEGUNDA (Mediados de diciembre)		Encañazón y Reproductivo	MUY ALTO

el incremento de las pérdidas de rendimiento a medida que se atrasa la misma ya referido previamente. Por tal motivo, se desprende que la siembra temprana es la alternativa cultural más efectiva para reducir el impacto de la plaga debido a que de esta manera se evita o minimiza la incidencia de la tercera generación, de picos poblacionales generalmente elevados.

c) *Momento de cosecha oportuno o cosecha anticipada*

La cosecha anticipada permite disminuir sustancialmente las pérdidas por los daños indirectos. A fin de adoptar una correcta toma de decisión al respecto, se recomienda un adecuado y oportuno monitoreo de daños. Para ello es conveniente revisar el cultivo cuando el grano de maíz tiene de 25 a 30% de humedad. Si en este momento se registran 2 o más entrenudos por planta con perforaciones o más de un 5% de espigas con su pedúnculo o base dañada, se aconseja considerar la cosecha anticipada.

d) *Manejo del rastrojo*

Se comprobó que el picado del rastrojo e incorporación del mismo después de la cosecha, resultó el manejo más efectivo para disminuir la población de larvas hibernantes del barrenador (Dagoberto, 1982). Como alternativa, puede efectuarse un pastoreo corto del rastrojo previo al enterrado. Es conveniente aclarar que esta medida cultural, debiera tener un grado importante de adopción para que tenga real impacto en la población de la plaga de la siguiente campaña.

e) *Empleo de cultivares resistentes*

Existen en el mercado cultivares híbridos resistentes a *Diatraea* debido a que poseen el transgen Bt, que codifica la síntesis de la toxina producida por *Bacillus thuringiensis*. La planta de maíz Bt no evita que los adultos de *Diatraea* coloquen normalmente los huevos en sus hojas. Las larvas después de nacidas y al comenzar a consumir parte de los tejidos mueren debido a la ingesta de la toxina.

Si bien hay diferencias de comportamiento entre híbridos de maíz según sea el evento Bt que contengan, existen varios eventos liberados al mercado. El más difundido actualmente es de tan alto poder tóxico para el insecto que la sobrevivencia de larvas es estimativamente

de sólo 1 en 1 millón. Por lo tanto, la larva que sobrevive al Bt tiene probabilidad de ser resistente a la toxina. En consecuencia, si un lote fue sembrado exclusivamente con maíz Bt, las pocas larvas sobrevivientes o resistentes al transformarse en adultos sólo tendrán la posibilidad de cruzarse entre sí, lo cual generaría rápidamente una descendencia de *Diatraea* resistente al Bt. Para evitar la aparición de resistencia de la plaga al Bt, se requiere el correcto uso de «refugios», los que serán considerados más adelante.

Control químico

El control químico de *Diatraea* debe realizarse antes de que las larvas penetren en el tallo de maíz, ya que cuando están dentro del mismo resultará inútil cualquier medida de control. Esto no significa que el tiempo disponible para realizar las aplicaciones de insecticidas sea muy breve. Todo lo contrario, la tecnología de control químico de *Diatraea* permite disponer para la toma de decisión de un tiempo mayor que el que se tiene para la mayoría de las plagas de cultivos extensivos según se analizará más adelante. Otra característica distintiva del control de *Diatraea* es que la toma de decisión se basa en el monitoreo de huevos (oviposiciones) mientras que el manejo clásico adoptado para el control de otras plagas de cultivos granarios propone el monitoreo de larvas como en el caso de lepidópteros o de ninfas y adultos hemípteros, por citar los grupos de insectos más comunes de la soja. Otro aspecto diferencial y relevante a destacar consiste en que para el control de la mayoría de las plagas se pone el mayor énfasis en el producto y dosis a utilizar, mientras que para el control de *Diatraea* tanto o más importantes son el momento y el sistema de aplicación.

Momento de aplicación

Las generaciones de la plaga no están definidas en un tiempo preciso, sino que sus apariciones varían por influencia de un complejo de factores bióticos y abióticos. Los períodos más probables de aparición de los adultos en cada una de las generaciones son, en maíces de la región pampeana, desde la segunda quincena de octubre a la primera quincena de noviembre para la primera generación, la

segunda quincena de diciembre a principios de enero para la segunda, y fines de enero y febrero para la tercera generación. La aparición de los adultos de *Diatraea* es detectada a través de sus capturas en trampas de luz. Sin embargo, el uso de trampa de luz por parte del productor no es condición necesaria para aplicar la tecnología de control químico de *Diatraea* en maíz. Será suficiente con estar atento a los «Alertas regionales» sobre la presencia de *Diatraea*, los cuales son ampliamente difundidos a través de medios masivos por el INTA y otras entidades. El alerta sobre la presencia de la plaga y la posible postura de huevos, en un relativo corto plazo según condiciones climáticas y estado del cultivo, tiene la función de indicar el momento de inicio del monitoreo de oviposiciones en el lote. Su utilidad radica en que nos permitirá ahorrar el trabajo de monitoreo durante gran parte del ciclo del cultivo de maíz. En suma, el monitoreo estará circunscripto a sólo un par de semanas posteriores a la emisión del alerta. Esta es otra característica diferencial del manejo en *Diatraea* respecto a la mayoría de las plagas de cultivos extensivos. Así por ejemplo, para el barrenador y defoliadoras en soja existe la necesidad de efectuar monitoreos durante todo el ciclo, mientras que para *Diatraea* sólo será necesario el monitoreo del lote cuando el «sistema de alerta» lo indique. Desde la aparición de una determinada generación de *Diatraea* detectada por la captura de adultos en trampa de luz hasta la postura de las oviposiciones en un lote, transcurre un período que puede variar desde unos pocos días a un par de semanas. La actividad de los adultos para la migración, cópula, y oviposición está muy influenciada por las condiciones climáticas imperantes principalmente desde las 20 hs a las 02 hs. A su vez, después de colocada la oviposición deben transcurrir entre 7 y 9 días para el nacimiento de las larvas, momento a partir del cual debe realizarse el control. El momento de captura de adultos en trampa de luz suele quedar muy alejada en tiempo del momento de control, por lo cual no constituye una herramienta eficaz para la toma de decisiones. Por esta razón, el momento oportuno para decidir el control deberá determinarse directamente a través del monitoreo de huevos en el lote.

Monitoreo

El monitoreo tiene por objeto hacer el seguimiento de la densidad de la plaga a fin de tomar o no la decisión de controlar según el nivel de daño económico conocido. Simplificando, el monitoreo es una herramienta fundamentalmente útil para decidir el control. En el caso de *Diatraea*, el monitoreo tiene mayor relevancia aún porque adicionalmente cumple un rol excluyente en la determinación del momento oportuno para hacer la aplicación.

El monitoreo de esta plaga consiste en registrar la presencia de oviposiciones en el lote. Para ello se tomarán al azar 10 plantas por zona, evaluándose entre 4 y 6 zonas por lote siguiendo una distribución que resulte representativa del lote.

Toma de decisión

La oviposición de *Diatraea* consta de una cantidad variable de huevos, generalmente entre 10 y 50, aunque en algunos casos puede tener mayor cantidad. Debido a una competencia intraespecífica y al contacto del follaje entre plantas, las larvas eclosionadas de una misma oviposición afectan a más de una planta.

Según estudios desarrollados por el INTA Pergamino, la toma de decisión para el control químico de *Diatraea* se deberá adoptar cuando se registre una oviposición cada diez plantas, o sea el 10 % de plantas con oviposiciones.

Las oviposiciones son blancas cuando están recién colocadas, luego van tornando al amarillento, y finalmente son de color anaranjado durante los dos días previos al nacimiento de las pequeñas larvas. El período de huevos se cumple entre siete y nueve días. La coloración de las oviposiciones es de gran importancia para elegir el momento más oportuno de aplicación. Por ejemplo, si al realizar el monitoreo se registra que las oviposiciones son blancas, se sabrá que deberá pasar más de una semana para realizar la aplicación. Si la mayoría de las oviposiciones son anaranjadas, se infiere que el grueso de las larvas comenzará a nacer entre las 24 y 48 horas siguientes. Considerando que las larvas comienzan a penetrar en el tallo después de los cinco a seis días de su nacimiento, el momento oportuno de control estará entre los cinco y seis días posteriores a la detección de oviposiciones en su mayoría anaranjadas. Por

lo tanto, el usuario podrá optar por el servicio de aplicación con la tranquilidad de un amplio tiempo disponible.

Sistema de aplicación

Para lograr el éxito en el control químico, este es un punto tan crítico como el del momento de aplicación. Esta plaga requiere asegurar la llegada del insecticida fundamentalmente a las hojas del tercio medio e inferior de un maíz desarrollado. En una biomasa de maíz tan densa como alta, más de 2 m de altura, la adecuada llegada del insecticida a dichos destinos resulta imprescindible ya que éstos coinciden con la ubicación preferida por *Diatraea* para colocar las oviposiciones.

La EEA INTA Pergamino demostró que se puede lograr una buena calidad de aplicación y alta eficiencia en el control de esta plaga tanto con equipos terrestres como aéreos. Para el control de las segunda y tercera generación de *Diatraea* en maíz, los equipos terrestres deben ser de alto despegue (Tipo Golondrín). Se recomienda utilizar un caudal de alrededor de 150 litros por hectárea y una presión de trabajo de 70 lb/pg². También se consiguen excelentes resultados con la aplicación aérea. El caudal a utilizar en las aplicaciones aéreas tiene una importancia extrema para la llegada del insecticida al destino correcto. En el caso de utilizar sólo agua como vehículo, se recomienda usar 20 litros/ha. Se puede reducir el volumen de agua a 10 litros/ha, pero con el agregado de aceite emulsionable a razón de 2 litros/ha. El uso de aceite o antievaporante resulta fundamental cuando la humedad ambiente es inferior al 60% al momento de aplicar.

Ya que el uso de alto volumen en la aplicación aérea resulta clave y decisivo para el logro de un eficiente control, el usuario no debe mostrarse renuente al pago de un plus por el servicio de aplicación con volúmenes superiores a los tradicionalmente usados para otras plagas y/o cultivos. Una aplicación deficiente para el control de otras plagas puede verificarse muy rápidamente porque el remanente de isocas, chinches, pulgones, etc se puede observar sobre el cultivo, salvándose el error con una aplicación de repaso. El control de *Diatraea*

también es diferencial en este sentido, ya que la detección de la plaga es prácticamente imposible o al menos extremadamente dificultosa. Por lo tanto, las aplicaciones deficientes sólo se podrán corroborar en precosecha mediante la observación de perforaciones en la caña, o sea muy tarde para remediarlas.

El uso de tarjetas sensibles es la manera, muy sencilla y práctica, de conocer casi instantáneamente la calidad de la aplicación para el control de *Diatraea*. En ellas quedan marcadas las gotas que han llegado a destino después de la aplicación, pudiéndose cuantificar el número de impactos por centímetro cuadrado. Bastará con colocar a la altura de las espigas unas pocas tarjetas sensibles, separadas a más de 30 m entre sí a fin de controlar diferentes pasadas del avión. Estas tarjetas, de muy bajo costo, sin dudas constituirán un veredicto irrefutable sobre la calidad de la aplicación.

La utilización de refugios en lotes de maíz Bt

Cuando se decide sembrar maíz transgénico Bt, conviene enfatizar la importancia de los «refugios», a fin de evitar o retardar la aparición de resistencia de la plaga a la toxina Bt (*Bacillus thuringiensis*) que producen los maíces transgénicos resistentes a *Diatraea saccharalis*.

En caso de sembrarse un lote con un híbrido de maíz Bt, una fracción del mismo debe sembrarse con un híbrido de maíz normal o no Bt. Esta superficie sembrada con maíz no genéticamente modificado (10 % de la superficie total), constituye lo que se llama refugio. La finalidad del refugio es la de permitir que los escasos pero potencialmente peligrosos individuos de *Diatraea* resistentes o sobrevivientes del lote Bt convivan con una mucha mayor cantidad de individuos susceptibles proporcionados por el área refugio. De esta manera, será altamente probable que cada individuo resistente se cruce con uno susceptible, dando origen a una descendencia de *Diatraea* nuevamente susceptible (resistente x susceptible = susceptible), y prácticamente nula probabilidad de que se produzcan apareamientos entre individuos resistentes que generarían descendencia resistente. Contrariamente, si no existiera un refugio cercano, machos y hembras de *Diatraea*

resistentes copularían entre sí dando origen a una población de plaga resistente.

Resulta imprescindible que el productor tome real conciencia del riesgo que significaría no implantar refugios con maíces «normales» o no modificados (no Bt). La Asociación de Semilleros Argentinos (ASA) a través de su programa de manejo de la resistencia del insecto (IRM) a los Bt, realiza una importante labor de difusión junto al INTA y otras instituciones oficiales y privadas tendientes a evitar la aparición de resistencia mediante un correcto manejo de la tecnología Bt.

Consideraciones sobre el control de *Diatraea*

Cabe la siguiente reflexión general con respecto a cómo enfrentar la problemática de *Diatraea* en maíz. En primer lugar, hasta hace unos años atrás no existían alternativas eficientes para su solución. Hoy el productor maicero cuenta con dos tecnologías disponibles, tan eficientes como económicamente rentables: la tecnología Bt y la tecnología de control

químico. Lo recomendable es adoptar una de ellas o las dos según fechas de siembra y características de cada establecimiento. Lo que no se debe hacer es adoptar la postura pasiva y económicamente negativa de ignorar el problema.

Por otro lado, y específicamente en relación a la tecnología Bt, el productor debe tomar conciencia que para que la tecnología continúe siendo eficiente y perdurable en el tiempo, es condición necesaria que en todos los lotes sembrados con híbridos Bt se reserve un área para refugio.

ISOCA MILITAR TARDIA *Spodoptera frugiperda* Smith. (Lepidoptera: Noctuidae)

La «isoca cogollera» o «isoca militar tardía», *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Fig. 7) es un lepidóptero de amplia distribución en todo el continente americano. Esta plaga si bien es polífaga muestra una marcada preferencia

Fig. 7



Spodoptera frugiperda



por gramíneas, y entre las especies cultivadas produce los mayores daños en maíz, sorgo, moha y mijo. Así por ejemplo, en los últimos años esta plaga ha mostrado una creciente incidencia en los cultivos de maíz de la región pampeana, y especialmente en la región maicera subtropical de la Argentina. Además de los cultivos gramíneas mencionados, también afecta a los cultivos de soja, alfalfa, varias especies hortícolas, y malezas gramíneas como sorgo de Alepo.

Bioecología y daños

Las larvas tienen un color verde claro en sus primeros estadios, y a partir del cuarto estadio tonalidades más oscuras con líneas longitudinales amarillentas y pardo oscuras. Pueden presentar una gran diversidad de colores, por lo cual este carácter no es útil para su identificación. A partir del 5º estadio presenta en la cabeza una figura en forma de «Y» invertida de color blanco (sutura cefálica). La máxima longitud de la isoca es de 35-40 mm al completar sus 6 estadios larvales. La transición al estado de pupa transcurre en el suelo durante una semana, e hiberna en dicho estado. El adulto es una mariposa de hábitos nocturnos y la hembra coloca numerosos huevos en grupos sobre el haz de hojas jóvenes, a los que cubre con escamas de su abdomen confiriéndole un aspecto terroso. El período de huevo se cumple en tres días, y el ciclo total en alrededor de 25 días.

A esta plaga se la conoce comúnmente en cultivos de maíz como «isoca cogollera», debido a que el daño más típico lo produce en los casos en que la larva actúa a nivel del «cogollo» de la planta joven de maíz o espacio central superior conformado por las hojas todavía enrolladas. Cuando el ataque en el cogollo es previo al desarrollo del primordio apical (hasta 4 hojas), la isoca se alimenta de las hojas, produciendo daños intensos, aunque normalmente sin llegar a matar la planta (Iannone,N; 1996b). En cambio, con la aparición del primordio apical (normalmente entre la 4^a. y la 6^a. hoja) la isoca se alimenta del mismo, pudiendo producir la muerte de la planta. En años de altas infestaciones tardías como la campaña agrícola 2002-2003, puede dañar a la espiga en cualquier lugar de la misma. También

suele actuar como cortadora cuando previo a la siembra del maíz se producen oviposiciones sobre terrenos enmalezados. En estos casos las plántulas dañadas generalmente se recuperan pero sufren un considerable retraso.

Los daños de la plaga ocurren más frecuentemente a partir de noviembre, presentando dos a tres generaciones en la región pampeana, mientras que en provincias del norte argentino las generaciones son superpuestas y más numerosas. Los maíces cultivados en zonas del norte del país, así como los maíces tardíos de la región pampeana son severamente afectados por la «isoca cogollera» casi todos los años.

Entre sus enemigos naturales más importantes se destaca la «Juanita» o «Boticario» (*Calosoma* sp.). El control cultural posible de realizar para minimizar el impacto de la plaga en maíz se basa en la implantación temprana del cultivo sobre un rastrojo limpio, libre de malezas. Asimismo, existen referencias sobre una menor incidencia de la plaga en condiciones de siembra directa.

Niveles de decisión sobre medidas de control químico

Para una toma de decisión racional resulta imprescindible disponer y cotejar dos informaciones, el **nivel de infestación** o de ataque de la plaga y el **nivel de decisión** (nivel de ataque cuyos daños comienzan a producir una pérdida económica). Sobre la base del monitoreo de las plantas de maíz, mediante la observación de los daños y la presencia de la isoca o de sus excrementos frescos en el «cogollo», se obtendrá el promedio de infestación de la plaga. Ello como resultante del porcentaje de plantas atacadas en 20 plantas por zona, tomando 4 a 6 zonas dentro del lote.

Vale remarcar, entonces, que en la toma de decisión para el control eficiente y económico de la plaga, es importante tanto el nivel de plaga presente (grado de ataque) como también el momento del tratamiento químico. El momento más oportuno es cuando se observan ligeros daños en hojas, con pequeños círculos de parénquima comidos sin atravesar la lámina de la hoja, o bien cuando se registran los primeros

orificios en la misma. Estos síntomas iniciales son indicadores de la presencia de isocas todavía pequeñas y en su mayoría expuestas al contacto con la aplicación insecticida.

Pautas de control

El control químico de la isoca cogollera resulta muchas veces poco eficiente debido fundamentalmente a que, por el hábito que tiene la plaga de estar en el cogollo, se dificulta el contacto y/o la acción del insecticida sobre la isoca. A fin de maximizar los resultados en los tratamientos químicos de esta plaga, se recomienda seguir las siguientes pautas de control (Iannone,N; 1996b):

1- No aplicar durante la mañana, fundamentalmente debido al rocío nocturno. Es muy importante enfatizar este aspecto porque es causa de frecuentes fracasos en el control de la cogollera. El agua de rocío chorrea sobre las pequeñas hojas, y a través de un «efecto embudo» va cayendo y acumulándose en el cogollo de la planta. El agua acumulada produce dos consecuencias no deseables para el control de la plaga: a) las escasas microgotas de solución insecticida que alcanzan a llegar a un cogollo conteniendo agua sufren una dilución muy grande, lo cual reduce enormemente la concentración de la solución y por ende las posibilidades de control; b) la presencia de agua acumulada en el cogollo obliga a la isoca a introducirse más para protegerse y a frenar su actividad, con lo cual se reduce marcadamente la posible acción del insecticida.

2- Aplicar preferentemente con equipo terrestre

3- Usar una presión de trabajo de 70 lb/ pg2, a fin de que por alta presión se obtenga un «efecto rebote» de las gotas, y así, una mayor llegada de las mismas al interior del cogollo.

4- Aplicar un volumen no inferior a 10 l/ha, en caso de utilizar equipo aéreo.

5- Utilizar tensioactivo, a razón de 100 a 200 cc/ha.

6- Observar la ubicación de la isoca, y en el caso de que se encuentre trabajando muy profundo en el cogollo, no utilizar insecticida piretroido.

ISOMA DE LA ESPIGA *Heliothis zea* (*Boddie*) (*Lepidoptera : Noctuidae*)

Bioecología y daños

Las larvas tienen una coloración general que varía desde verdosa, rosada a verde parduzca, según el tipo de alimento que consuman. Presenta una franja ancha blanco-amarillenta a cada costado. Los segmentos son bien marcados, encontrándose en éstos pequeñas verrugas con pelos cortos, dándole un aspecto rugoso (Quintanilla, 1946). La larva en su último estadio alcanza a medir 35 a 40 mm, presenta una apariencia general robusta, y el último segmento abdominal termina bruscamente en forma recta. Tiene el hábito de arrojarse al suelo cuando se la molesta y arrollarse en forma de espiral. El período larval se completa entre 12 y 20 días. Empupa en el suelo enterrada unos 5-8 cm. La última generación del año hiberna en este estado (Margueritis y Rizzo, 1965).

Las mariposas, de hábitos crepusculares, depositan los huevos en forma aislada sobre los estigmas, los que serán el primer alimento de las larvas. Los huevos de color blanco perlados se pueden ver a simple vista, tienen cerca de 1 mm de diámetro, son redondeados y con estrías longitudinales convergentes hacia los polos, que son achatados. El período de huevo, bajo condiciones de cultivo, es de 3 a 5 días (Metcalf y Flint, 1972).

Al nacer las pequeñas larvas, ingieren los estigmas produciendo en casos extremos el «corrimiento de granos» por falta de polinización de óvulos. Luego penetran en la espiga y se alimentan de los granos y del marlo tierno (Alvarado, 1985). Las siembras tardías son las más afectadas. Los daños adquieren mayor importancia en maíz dulce para choclo y pisingallo. En este último caso, por tratarse de espigas pequeñas, el porcentaje de daño resulta elevado.

El control químico es difícil debido a los hábitos de alimentación de la isoca, ya que cuando la misma ha penetrado en la espiga la protección física de las chalas constituye un serio obstáculo para la llegada o contacto de la aspersión química con la plaga (Alvarado, 1985). Para la toma de

decisión sobre el control de *Heliothis* en maíz, es de suma importancia revisar el lote en el momento de aparición de estigmas y mientras éstos estén verdes (8:1, escala de Hanway, 1971), cuando la hembra adulta realiza las oviposiciones. Sobre la base del escaso control biológico de esta plaga en maíz, y como nivel aproximado de acción resultante de experiencias preliminares (Iannone, trabajo no publicado), se recomienda realizar el control a los 2 o 3 días de la detección de huevos sobre los estigmas en al menos 1 de cada 3 plantas del cultivo.

Control químico

En el caso de maíz para choclo en siembras a partir de octubre y de maíz para producción de granos en siembra de segunda, *Heliothis zea* tiene una ocurrencia casi segura. Por ello es aconsejable realizar dos aplicaciones a las dosis recomendadas en dos momentos: principio de emergencia de estigmas y una semana después (Bimboni, 1976).

Para maíces de producción extensiva, en el caso de tratamientos terrestres se deberá disponer de una pulverizadora automotriz de alto despegue (tipo «Golondrin»). Es conveniente la utilización de caños de bajada con picos direccionales de cono hueco asperjando hacia los costados de la hilera y a una presión de trabajo de 70 lb/pg². En el caso de tratamientos aéreos debe utilizarse un volumen no inferior a 15 litros por hectárea, siempre con agregado del tensioactivo.

Empleo de cultivares existentes

Ciertos eventos transgénicos Bt muestran efectividad en el control de *Spodoptera frugiperda*, constituyendo otra alternativa de control.

Plagas Secundarias

GUSANO ALAMBRE *Conoderus spp., Agriotes sp., Monocrepidius spp.* (Coleóptero : Elateridae)

Bioecología y daños

Esta plaga es un coleóptero de la familia Elateridae, conocida como «saltaperico»

al estado adulto (Fig. 9). Las larvas (Fig.8) maduras oscilan entre 1,5 y 3,5 cm de longitud. Según la especie, el cuerpo puede ser cilíndrico y de color pardo anaranjado, o aplano dorsoventralmente y con coloración blanco-amarillenta. Su presencia es tan frecuente en pasturas como en lotes laboreados. El ciclo de vida de esta plaga es muy variable aunque normalmente los períodos de huevo, pupa y larva varían de 10 a 20 días, 10 a 15 días y 2 a 3 meses respectivamente.

Con relación a los daños, las larvas se alimentan de raíces, tallos subterráneos y fundamentalmente de semillas gramíneas cultivadas. Se caracterizan por ingerir prácticamente toda la semilla, dejando sólo el tegumento, con las consecuentes fallas en el stand de plantas. No hay tratamientos curativos una vez implantado el cultivo, por lo tanto resulta esencial monitorear antes de la siembra.

Control químico

El control químico de esta plaga se basa en el tratamiento de semillas (TS) o del suelo en el caso de siembra convencional, aunque estos últimos son más onerosos y de alto impacto ambiental cuando se los realiza en cobertura total. El control a través del TS debe ser considerado como un «seguro» de bajo costo relativo para el control de estas plagas, muy poco contaminante y preventivo ante condiciones no siempre previsibles. En estos casos, también puede resultar conveniente que el curasemillas incluya un fungicida.

MOSCA DE LA SEMILLA *Hylemya spp.* (Diptera : Anthomyiidae)

Bioecología y daños

Los adultos se asemejan a la mosca doméstica, aunque con cuerpo más alargado y patas largas. Se observan en abundancia en tierra recién removida y labrada. Las moscas depositan sus huevos en la tierra. Al nacer las larvas de color blanco-amarillentas penetran en la semilla por la zona del germen, terminando normalmente por destruir o al menos deteriorar al embrión. En el último caso emerge una plántula deforme (Alvarado, 1985). La mosca de la semilla también puede afectar raicillas y cotiledones.

Fig. 8



Larva de *Conoderus sp.*

Fig. 9



Conoderus sp.

Los suelos con alto contenido de materia orgánica son los preferidos por la plaga para oviponer. Primaveras frías y húmedas, especialmente cuando estas condiciones ocurren también después de la siembra, son predisponentes al ataque de la plaga, ya que las semillas permanecen expuestas a la misma por un mayor tiempo debido al más lento proceso de germinación.

Control químico

Se recomiendan las mismas prácticas que las expuestas para el control del gusano alambre.

GORGOJO DE LA CORONA *Listronotus bonariensis* (Kuschel) (Coleoptera : Curculionidae)

El gorgojo de la corona es una plaga que puede afectar la implantación y producción del maíz cuando se registran condiciones favorables para su desarrollo.

En el caso de condiciones climáticas de tiempo relativamente seco posterior a la siembra del maíz, es posible esperar el impacto de esta plaga identificada como *Listronotus bonariensis*, la misma especie que suele afectar lotes de trigo (en este caso se la conoce como «gorgojo del macollo»). En Argentina la primera referencia sobre el ataque de este gorgojo en el cultivo de maíz («gorgojo de la corona») data de la campaña 1995, cuando el INTA lo detectó en algunos lotes del partido Pergamino produciendo severos daños, los cuales se tradujeron en una reducción de la densidad del cultivo por muerte de plántulas, así como deformaciones y quebrado en plantas dañadas en estados vegetativos más avanzados.

Bioecología y daños

Listronotus bonariensis se presenta en distintas gramíneas, mencionándose como principales hospederas al maíz, trigo, raigrás, cebadilla, centeno, avena y cebada. El adulto

de este gorgojo es pequeño, presentando alrededor de 3 mm de largo, con un cuerpo de color grisáceo y cubierto por una capa cerosa con adherencia de partículas de tierra, lo cual no permite distinguirlo respecto del color del suelo. Esta capacidad de alto mimetismo, su pequeño tamaño y la actitud de permanecer inmóvil y escondido entre los pequeños terrones de suelo, hacen prácticamente imposible su detección.

Tampoco los huevos son fáciles de visualizar, ya que la hembra los coloca encastrados en la lámina de las pequeñas vainas, cerca de la base de las mismas y de la corona de la plántula. Los huevos son de aproximadamente 1 mm de largo, de color verde transparente cuando son recientemente colocados, tornando a un color oscuro casi negro cuando están próximos a eclosionar. En este momento es posible verlos más fácilmente, sobre todo con la ayuda de una lupa de mano.

Las larvas son pequeñas, de color cremoso y cabeza color caramelo. Según bibliografía extranjera, se señala que el período de incubación de los huevos es de 7 a 15 días, el período larval transcurre en 30 días y el de pupa en alrededor de 13 días.

Para constatar la presencia del gorgojo de la corona del maíz, se recomienda realizar las siguientes observaciones:

1-Recorrer el lote de maíz en diagonal o en zig-zag y extraer 20 plántulas al azar en varias zonas del mismo.

2-Observar en las hojas la presencia de pequeños **orificios circulares desuniformes**, los cuales indican la presencia de los **gorgojos adultos**.

3-Examinar la base de las plántulas en la parte interior de las vainas, a fin de detectar la presencia de **huevos encastrados**, observándose como **pequeños puntos oscuros**. Con la ayuda de una lupa de mano éstos se verán alargados, y con frecuencia dos o tres huevos medianamente agrupados.

4-Observar en la corona de las plántulas la presencia de **daños** evidentes como **perforaciones y manchas herrumbrosas** en el interior. Estos daños ubicados a la altura de la superficie del suelo son producidos por las larvas de cuerpo blanco cremoso y cabeza color caramelo.

Las larvas del gorgojo se desarrollan completamente en el interior de la base de las plántulas de maíz, produciendo daños intensos en la corona. Sólo abandonan el interior de la plántula en el caso de que ésta se seque antes de que estén en condiciones de transformarse en pupas, estando obligadas de esta manera a pasarse a otras plántulas vecinas.

Como resultado del ataque de esta plaga en plántulas de maíz de 7 a 15 cm, éstas terminan por secarse totalmente debido a que los daños en este estado destruyen la corona evitando todo tipo de recuperación y afectando significativamente el stand de plantas del cultivo. Este tipo de daño es el más frecuente, aunque también el mismo se presenta sobre plántulas de mayor tamaño. Cuando el ataque se da sobre plántulas mayores de 20 cm, éstas pueden no llegar a morir, pero quedan muy debilitadas. En estos casos, los daños en la corona producen inicialmente deformaciones, retorcimiento y aparición de macolllos. Estas plantas, al alcanzar mayor desarrollo, en la mayoría de los casos se terminan quebrando o bien resultan con una marcada menor producción.

En Pergamino se registraron daños intensos, entre un 20 y 25% de plántulas muertas, en maíces sembrados a fines de setiembre de 1995. Sin embargo, los mismos híbridos con idéntica fecha de siembra pero bajo riego sólo presentaron daños ínfimos, lo cual permite suponer que la importancia de esta plaga es reducida cuando el cultivo se desarrolla con buena disponibilidad hídrica.

Control químico

Para el control de larvas del gorgojo en el cultivo de trigo, no se alcanzaron resultados satisfactorios mediante aplicaciones de insecticidas con equipos terrestres en experiencias realizadas en Totoras (Santa Fe) en julio de 1996, tanto con productos de contacto como sistémicos a dosis altas y con coadyuvantes. En maíz, también resultó negativo el control de larvas de esta plaga, según experiencias realizadas en el Brasil, así como en Pergamino durante la campaña 1995.

Estos antecedentes demuestran que la alternativa química mediante aspersiones sobre cultivos con ataques avanzados del gorgojo no brinda buena eficiencia de control. Sólo se ha logrado alguna experiencia medianamente satisfactoria mediante la aplicación de Clorpirifós 48 E a razón de 1 litro/ha con el agregado de tensioactivo, con tratamientos realizados al momento del inicio de los daños.

Dada la dificultad en la detección oportuna del gorgojo sumado a la información existente en Nueva Zelandia sobre los magros resultados obtenidos en el control de los adultos en cultivos de raigrás y la baja eficiencia que generalmente se alcanza con el control químico de las larvas, se estima que la alternativa del tratamiento de semilla con productos sistémicos constituye la herramienta más adecuada a fin de minimizar los riesgos de esta plaga.

GORGEOJO DEL MAÍZ *Sphenophorus brunnipennis* (Coleoptera: Curculionidae)

Bioecología y daños

Esta especie ha sido hallada atacando tanto maíz como a gramíneas silvestres y forrajerías (Alvarado, 1990a). Las larvas son de color blanco, ligeramente curvadas en forma de «C», ápodas (sin patas) y de longitud máxima de 9 mm. La cabeza es diferenciada del resto del cuerpo y de color rojizo.

El gorgojo adulto tiene un tamaño aproximado de 10 mm de largo. Una característica para su reconocimiento la constituye su rostro delgado, largo y ligeramente curvo. El protórax es totalmente negro o con cuatro franjas anteroposteriores color pardo claras en el tercio trasero. Los élitros son rayados con franjas que varían en color, de negro a pardo (Alvarado, 1990a).

Esta plaga causa daños importantes en maíz al estado de plántula, y perjuicios leves en plantas desarrolladas horadando la base del tallo. El gorgojo del maíz es una plaga ocasional, pero cuando se presenta suele producir importantes daños.

VAQUITA DE SAN ANTONIO *Diabrotica speciosa* Fab. (Coleoptera: Chrysomelidae)

Bioecología y daños

Si bien esta plaga provoca daños tanto al estado adulto (Fig. 10) como larval, los mayores daños al cultivo de maíz en Argentina los produce al estado adulto, al alimentarse de las flores femeninas, cortando los estigmas y produciendo «corrimiento» de los granos por falta de fecundación (Alvarado, 1985).

Las larvas son blanco-amarillentas, con la cabeza color caramelo, y alcanzan un tamaño de 9 mm en su máximo desarrollo. Barrenan las plántulas por debajo y muy cerca de la superficie del suelo, produciendo normalmente la muerte de las mismas. Los adultos miden aproximadamente 6 mm y son de color verde con tres manchas amarillas en cada élitro.

Fig. 10



Diabrotica speciosa

Nivel de decisión y control químico

Se debe monitorear el lote de maíz a partir de la aparición de los estigmas, tomando la decisión de control cuando se alcance un promedio de 5 adultos por espiga. Para ello, se examinarán 10 plantas en 5 sitios por lote, evitando las borduras.

BARRENADOR MENOR DEL MAÍZ *Elasmopalpus lignosellus* (Zeller) (Lepidoptera : Pyralidae)

Bioecología y daños

Las larvas son muy móviles, de alrededor de 20 mm de largo (Fig. 11a) (Ortega, 1987), con cabeza castaña oscura brillante y con una sutura en forma de «V» invertida en la frente (Alvarado, 1990b). Los segmentos torácicos y abdominales presentan líneas longitudinales y bandas transversales color castaño sobre fondo pigmentado verde, verde violáceo o rosado. La parte ventral es verdoso pálido.

En los estados del cultivo entre 2 y 8 hojas (estados 3 a 6 inclusive según escala de Hanway, 1971) la larva produce el daño típico consistente en un orificio y galería en los primeros centímetros de la base del tallo. Desde el orificio de entrada hacia el suelo produce un tubo con hilos sedosos, restos vegetales, tierra y partículas de arena en forma de colgajo, dentro del cual empupa. Los daños de la plaga producen marchitamiento de las hojas centrales, y al tirar de ellas se desprenden. Las plantas pequeñas detienen su crecimiento o se marchitan y pueden morir si el daño es intenso (Ortega, 1987).

En las plantas desarrolladas, en cambio, la plaga barrena el tallo con dificultad debido a una epidermis más resistente, y en este caso no forma galerías internas, pero sí lo roe en forma de corona cerca del suelo. A consecuencia de esto último, se incrementa la susceptibilidad al vuelco (Alvarado, 1990b).

Las condiciones de sequía son altamente predisponentes para el ataque de esta plaga. Además, suelos arenosos, altas temperaturas y siembras tardías favorecen la incidencia de la misma. El control cultural se implementa mediante siembras tempranas para que la

planta tenga un mayor desarrollo y tolerancia a los daños. Otra forma de disminuir los niveles de presencia de la plaga es mantener al lote en barbecho libre de malezas hospederas (Alvarado, 1990b).

Nivel de decisión

En condiciones de estrés hídrico, se recomienda observar el cultivo a fin de detectar los primeros daños. Para ello, deben examinarse 20 plantas vecinas en 10 sitios por lote. Se recomienda realizar el control químico al inicio del ataque a fin de encontrar a las larvas todavía expuestas, ya que si están dentro de las galerías los resultados del control químico no son satisfactorios.

PULGUILLA DEL TABACO *Epitrix argentinensis* Bryant.(Coleóptero : Chrysomelidae)

Bioecología y daños

Este coleóptero al estado adulto provoca daños en hojas de plántulas de maíz y sorgo. El adulto es un cascarudo que mide 1,5 mm de largo y de color pardo oscuro con una mancha negra en el dorso. Posee un ensanchamiento en los fémures del tercer par de patas que le permite dar saltos y de allí deriva su nombre vulgar (Quintanilla, 1946). El ciclo de vida es de 45 días.

Con sus mandíbulas roe la epidermis superior y parte del parénquima de las hojas, quedando zonas incoloras que luego se perforan por la acción del viento. Estos daños comienzan por el ápice de las hojas y continúan paralelamente a las nervaduras. El resto de los tejidos toman una consistencia blanda y húmeda de color castaño, y finalmente entra en estado de descomposición por una podredumbre bacteriana con exudado acuoso (Saluso, 1990). Las bacterias las lleva el insecto en sus mandíbulas.

Nivel de daño económico

En base a ensayos de laboratorio (Saluso, 1990) se determinó que 4 pulgas por planta constituyen el nivel de daño económico para esta especie en el cultivo de maíz.

Fig. 11 a



Larva de *Elasmopalpus lignosellus*

Fig. 11 b



Adulto de *Elasmopalpus lignosellus*

CHINCHE VERDE *Nezara viridula* (L.) (Hemiptera : Pentatomidae)

Bioecología y daños

La época de siembra tiene una marcada influencia en el ataque de chinche verde. Maíces implantados tardíamente pueden sufrir daños severos (Alvarado, 1985). Los daños producidos por las ninfas de 4to. y 5to. estadío son tan importantes como los del estado adulto (Fig. 12 y 13). Sucionan los granos de maíz en desarrollo, en especial los que están en grano lechoso y pastoso. Los granos atacados en esos estados fisiológicos se presentan a la madurez manchados, deformados o bien completamente destruidos. El endosperma adquiere un aspecto almidonoso en lugar de vítreo (Parisi y Dagoberto, 1980). El daño se observa fundamentalmente en la parte superior de la espiga, y en ataques severos ésta es dañada casi por completo. Este insecto suele producir los daños más importantes en las borduras del cultivo (Parisi y Dagoberto, 1980; Alvarado 1985).

La acción de la plaga incide en la calidad de la semilla, que se expresa por reducción del

peso de los 1000 granos, y del contenido de aceite y almidón. La energía germinativa, poder germinativo y vigor de la planta son seriamente afectados. Se ha cuantificado que una sola punción en el grano disminuye los parámetros anteriormente mencionados entre el 5 y el 8%, hasta llegar a reducciones de alrededor del 50% cuando se producen cinco punciones por grano (Damilano y Brugnoni, 1980; Dagoberto et al., 1980).

Niveles de decisión

En base al efecto de la chinche verde sobre la producción y calidad del maíz en estado acuoso-lechoso (Dagoberto et al., 1980), los niveles de daño económico de esta plaga son:

Para producción de grano: 1 Chinche cada 2 espigas

Para producción de semilla: 1 Chinche cada 25 espigas

Cabe resaltar que el nivel de decisión de 1 chinche/25 espigas referido a producción de semilla, no afecta el poder germinativo (PG). El

Fig. 12



Ninfa de *Nezara viridula*

Fig. 13



Adulto de *Nezara viridula*

PG en maíz es afectado por niveles de plaga mucho más elevados que los que tienen impacto en la producción.

Control químico

Resulta conveniente monitorear la presencia y cantidad de chinches verdes tanto en el interior del lote como en las cabeceras, registrando los promedios por separado. Ello es debido a la frecuente concentración de chinches sólo en la periferia, siendo aconsejable en estos casos el tratamiento de dicha zona lo cual implica un ahorro de más del 80%.

PULGON DEL MAIZ *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) (Homoptera: Aphididae)

Bioecología y daños

Tiene cuerpo alargado, de color verde-azulado oscuro con manchas negras en la base de los cornículos, y un tamaño de 2 a 3 mm. Presenta antenas, patas y cornículos cortos de color negro (Metcalf y Flint, 1972; Quintanilla, 1976).

Este insecto es uno de los vectores de los virus causantes del enanismo amarillo de la cebada (Damilano y Brugnoni, 1980) y el mosaico enanizante del maíz (Ortega, 1987). Cuando se presentan ataques en plantas jóvenes de maíz, pueden producir marchitamiento, enrollado de las hojas, manchas amarillas que posteriormente tornan a rojizas y retardo del crecimiento. Si los ataques en este estado son severos, la planta difícilmente pueda producir espigas. La presencia más frecuente de la plaga ocurre en estados del cultivo cercanos al panojado (estadio 7, según Hanway 1971).

La excreción de gotas azucaradas por parte del insecto favorecen el desarrollo de fumaginas negras (hongos), tornando el área donde se ubica la colonia en una zona pegajosa. Si la panoja resulta atacada en emergencia se limita la liberación del polen. En ataques severos la espiga también puede ser atacada y las semillas afectadas (Ortega, 1987).

Referencias bibliográficas

- Alvarado, L.J. 1980. Insectos del suelo. En: Curso de Producción Vegetal. INTA, EEA Pergamino. 4 de marzo al 4 de abril de 1980. Pergamino, Buenos Aires. 6 p.
- Alvarado, L.J. 1985. Control Integrado de Plagas del Maíz. Primeras Jornadas sobre Control Integrado de Plagas Agrícolas. Resúmenes de Relatos. Ministerio de Agricultura y Ganadería de Santa Fe. Santa Fé. 7 p.
- Alvarado, L.J. 1990(a). Gorgojos (*Coleoptera=Curculionidae*) que afectan cultivos de cereales y oleaginosos. Tecnología para el Campo. Año VII, Nº 22. Buenos Aires, pp 13-15.
- Alvarado, L.J. 1990(b). *Elasmopalpus lignosellus* (Zeller). Plaga ocasional en maíz y soja. INTA, EEA Pergamino. Carpeta de Producción Vegetal. Tomo IX, Serie: Maíz, Información Nº 93. Pergamino, Buenos Aires. 4 p.
- Aragón, J.R. 1985. Bioecología, sistemas de alarma y control de orugas cortadoras en cultivos de girasol, maíz y soja. INTA, EEA Marcos Juárez. Información para Extensión - Serie: Producción Vegetal Nº 5. Marcos Juárez, Córdoba. 11 p.
- Aragón, J.R.; Molinari A. y Lorenzatti de Diez, S. 1997. Manejo Integrado de Plagas. En: El cultivo de la soja en Argentina. Cap. 12 Editores: Giorda, L.M. y Baigorri, H.E.J. Agro 4 de Córdoba. INTA. Centro Regional Córdoba-Editar. pp. 248-288.
- Bimboni, H. 1976. Control químico de *Heliothis zea* en maíz para choclo. INTA, EEA San Pedro. Carpeta de Horticultura. Serie Plagas-IP, Informe Nº 11. San Pedro, Buenos Aires. 3 p.
- Bremer, Ch.; Scanlan, S.H.; Beuerman, R.; Melton III, T.; Kuebrich, E. and Kuhlman, D. 1982. FIELD CROPS SCOUTING MANUAL. «A guide to identifying and diagnosing pest problems». Cooperative Extension Service. University of Illinois at Urbana-Champaign. College of Agriculture. Urbana, Illinois. 111 p.
- Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes CASAFE. 1997. Guía de Productos Fitosanitarios para la República Argentina. Octava Edición. Buenos Aires. 1368 p.
- Conti, J. y Giordani, V. 1971. Aplicaciones de heptacloro en bandas para el control de insectos del suelo en cultivos de maíz. CREA Pergamino-Colón, Informe Interno. Pergamino, Buenos Aires. 5 p.
- Dagoberto, E.; Parisi, R y Iannone, N. 1980. Contribución al conocimiento de los daños producidos en maíz por distintos niveles de población de «chinch verde» *Nezara viridula* (L.) (Hemíptera= Pentatomidae). Págs. 178-183. En: Segundo Congreso Nacional de Maíz. Pergamino, AIANBA, 28 de octubre al 1º de noviembre. Pergamino, Buenos Aires. 377 p.
- Dagoberto, E. 1982. Ensayos de control cultural de *Diatraea saccharalis* (F.) «barrenador del tallo». INTA, EEA Pergamino. Carpeta de Producción Vegetal. Tomo IV, Maíz, Información Nº 45. Pergamino, Buenos Aires. 8 p.
- Damilano, A.L. y Brugnoni, L.F., coords. 1980. Técnicas de Producción. Págs. 33-110. En: El Cultivo del Maíz. Colección Principales Cultivos de

- la Argentina. INTA. Buenos Aires. 163 p.
- Frana, J.E.; Imwinkelried,J.M. 1996. El complejo de gusanos blancos en trigo. En: Trigo. Publicación Miscelánea Nº 74. 8 p. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. Rafaela, Santa Fe. 46 p.
- Galarza, J. 1972. Control de insectos de suelo que perjudican al maíz. INTA, EEA Pergamino. Informe Técnico Nº 115. Pergamino, Buenos Aires. 11 p.
- Hanway, J.J. 1971. How a corn plant develops. IOWA State University. Special Report Nº 48 (Revised). Iowa Cooperative Extension Service. Ames, Iowa. USA. 17 p.
- Iannone, N. y Leiva, P.D. 1993 (a). Control químico de isocas cortadoras en maíz. INTA, EEA Pergamino. Carpeta de Producción Vegetal. Tomo XII, Soja, Información Nº 112. Pergamino, Bs As. 7 p.
- Iannone, N. y Leiva, P.D. 1993 (b). Control químico del barrenador del tallo D. saccharalis Fab. en maíz. INTA, EEA Pergamino. Carpeta de Producción Vegetal. Tomo XII, Maíz, Información Nº 114. Pergamino, Bs As. 2 p.
- Iannone, N. 1996(a). El Elasmo en soja: Una plaga condicionada a estrés hídrico. Revista de Tecnología Agropecuaria. Divulgación Técnica del INTA Pergamino. Vol I, Nº 3. Pergamino, Bs As. pp 30-32.
- Iannone, N. 1996(b). La cogollera, una plaga que no anda con vueltas. Diario «La Opinión» de Pergamino. Edición del 6 de noviembre. Pergamino, Bs As. pág 9.
- Iannone, N. 1997(a). En guardia ante el alerta. Diario Clarín. Suplemento Agropecuario. Edición del 13 de diciembre. Buenos Aires. pág 6.
- Iannone, N. 1997(b). Incidencia y control del gusano blanco en siembra directa de trigo. Diario «La Opinión» de Pergamino. Edición del 18 de junio. Pergamino, Bs As. pág 9.
- Iannone, N. 1997(c). Maíz: El control del barrenador del tallo incrementa los niveles de producción. Diario «La Opinión» de Pergamino. Edición del 17 de diciembre. Pergamino, Bs As. pág 9.
- Iannone, N. 1998(a). El trigo que viene: Que no lo deje en rojo. Diario Clarín. Suplemento Agropecuario. Edición del 16 de mayo. Buenos Aires. págs 10 y 11.
- Iannone, N. 1998(b). Pronostican un fuerte impacto del barrenador del tallo en maíz. Diario «La Opinión» de Pergamino. Edición del 26 de diciembre. Pergamino, Bs As. Pág 9.
- Iannone, N. 1999(a). El barrenador del tallo se lleva 170 millones de dólares al año. ABC Rural. Publicación mensual. Año 8, Nº 104. Pergamino, Bs As. pág 6.
- Iannone, N. 1999(b). Fuerte impacto del barrenador del tallo en maíz. Diario «La Verdad» de Junín. Edición del 4 de enero. Junín, Bs As. pág 9.
- Iannone,N. 2001. Control químico de *Diatraea*, tecnología que apunta a la alta producción. Revista Tecnología Agropecuaria, Vol. VI, número 17, Mayo-Agosto, pp 33-37.
- Iannone,N. 2002. La siembra de refugios en lotes de maíz Bt. Su necesaria utilización para evitar la generación de resistencia. Sección Entomología, Estación Experimental Agropecuaria INTA Pergamino, Pergamino, Buenos Aires. 3 pg.
- Indelicato, L. y Senlle, M. 1987. Manual de insecticidas, acaricidas, y nematicidas de uso agrícola. CACIA. Buenos Aires. 251 p.
- Leiva, P.D. y Iannone, N. 1994. Manejo de insectos plaga del cultivo de maíz. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. 1º Edición. Eds (Iannone y Leiva). Pergamino, Bs As. 73 p.
- Margueritis, A.E. y Rizzo, H.F.E. 1965. Lepidópteros de interés agrícola. Editorial Sudamericana. Buenos Aires. 193 p.
- Metcalf, C.L. y Flint, W.P. 1972. Insectos Destructivos e Insectos Utiles. Sus costumbres y su control. Compañía Editorial Continental, S.A. México. 1208 p.
- Ortega, A. 1987. Insects Pests of Maize. A guide for Field Identification. CIMMYT. México, D.F. 106 p.
- Parisi, R. y Dagoberto, E. 1979. Observaciones sobre el «barrenador del tallo» *Diatraea saccharalis* (F.) en la campaña agrícola 1978/79. INTA, EEA Pergamino. Carpeta de Producción Vegetal. Tomo II, Maíz, Información Nº 15. Pergamino, Bs.As. 4 p.
- Parisi, R. y Dagoberto, E. 1980. Plagas. Chinche verde. *Nezara viridula* L. (Hemíptera= Pentatomidae). 2 págs. En: Curso de Producción Vegetal. INTA, EEA Pergamino. 4 de marzo al 4 de abril de 1980. Pergamino, Bs.As.
- Quintanilla, R.H.. 1946. Zoología Agrícola (apuntes de clase, colaboraciones y recopilaciones). Editorial El Ateneo, Buenos Aires. 774 p.
- Quintanilla, R.H. 1976. Pulgones. Características morfológicas y biológicas. Especies de mayor importancia agrícola. Editorial Hemisferio Sur. Primera edición. Buenos Aires. 45 p.
- Saluso Ríos de, M.L.A. 1990. Daños en plántulas de maíz y sorgo causados por la pulga del maíz (*Epitrix argentinensis* Bryant.). INTA, EEA Paraná. A8 - Nº6. Resultados Finales. Paraná, Entre Ríos. 4 p.
- Torres, C.; Alvarado, L.J.; Senigagliesi, C.; Rossi, R. y Tejo, H. 1979. Oviposición de *Diloboderus abderus* Sturm. en relación a la roturación del suelo. Págs. 124-125. En: IDIA, Suplemento Nº 32. Primer Congreso Nacional de Maíz. 1976. EEA Pergamino-ALANBA. Buenos Aires. 307 p.

9. MALEZAS: SU MANEJO Y CONTROL

***Antonio R. Rossi⁽¹⁾, Sergio Cepeda⁽²⁾
y Juan C. Ponsa⁽¹⁾***

⁽¹⁾ Estación Experimental Agropecuaria INTA

Pergamino

⁽²⁾ Bayer Cropscienca

Indice

Daños ocasionados por malezas	205
Principales malezas del cultivo	206
Métodos para el control de malezas	208
Estrategias de control químico según sistema de producción.	208
<i>Siembra directa</i>	209
<i>Control de malezas previo a la siembra</i>	210
<i>Control de malezas en el cultivo</i>	210
<i>Sistema de siembra convencional</i>	211
<i>Control de malezas previo a la siembra</i>	211
<i>Control de malezas en el cultivo</i>	211
Cuadros orientativos para el control de malezas con herbicidas	211
Bibliografía	217

Daños ocasionados por malezas

El manejo adecuado del cultivo de maíz exige la integración coordinada de distintos factores de producción. La relación que guardan éstos entre sí es sumamente estrecha, de tal manera que la acción desfavorable de uno de ellos puede llegar a limitar la expresión óptima de los otros. Dentro de éstos, el control de malezas constituye uno de los factores de mayor incidencia.

El desarrollo de cualquier estrategia de control requiere principalmente del conocimiento de la merma en el rendimiento causada por las malezas y el momento de su mayor incidencia en el cultivo, lo cual depende principalmente de las especies y su densidad. Cuando la competencia es ejercida por una comunidad vegetal integrada por especies gramíneas y latifoliadas, el máximo período de interferencia tolerado por el cultivo sin afectar su rendimiento se produce antes de la 6^a u 8^a hoja del cultivo (Rossi et al., 1989). En caso de predominar gramíneas anuales el proceso de competencia se produce con mayor intensidad previamente al desarrollo completo de la 4^a. hoja (Rossi et al., 1982; Fotos 1 y 2). Por lo tanto es de suma importancia realizar las prácticas de control de malezas antes de los momentos fenológicos mencionados, de lo contrario los daños que se producen son irreversibles.

Las pérdidas generadas por las malezas se producen de dos maneras:

Directas.

Son las pérdidas ocasionadas por el efecto de interferencia (competencia y/o alelopatía) generado por las malezas no controladas o que “escapan” a las prácticas de control, que, considerando la zona maicera núcleo (norte de Bs. As., sur de Santa Fé y sur de Córdoba), se estiman entre un 10 -15 %. Es importante tener en cuenta que de no realizar ninguna práctica de control estos porcentajes podrían ser mayores. Ejemplo de lo mencionado son los resultados obtenidos en experiencias realizadas en la E.E.A. INTA Pergamino con niveles de pérdidas del orden del 27,4 a 40,3% debido al efecto competitivo de malezas anuales y de hasta el 95 % en el caso de especies perennes como sorgo de Alepo o gramón (Rossi, 1990). Por otro lado,

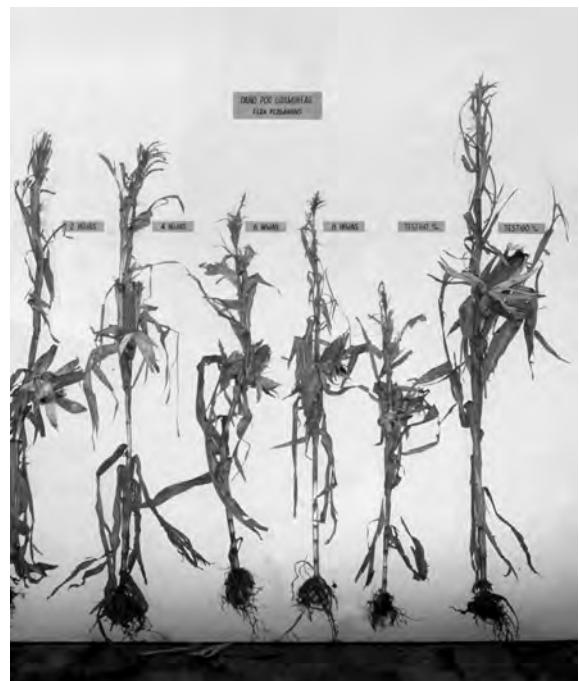


Foto. 1

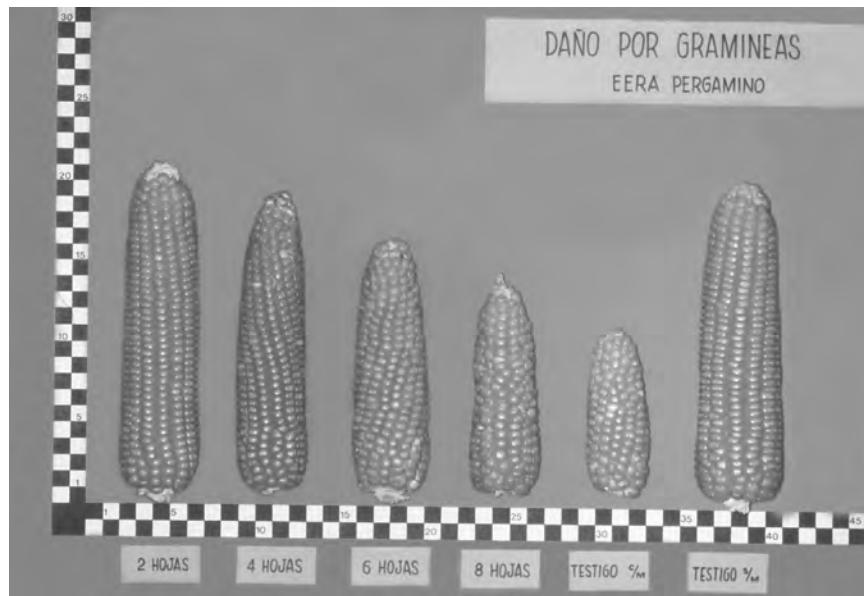
en caso de no ser controladas, el tipo de maleza asociado a la labranza determina niveles de pérdidas diferenciales. En situaciones con laboreo del suelo con arado de cincel, la pérdida de rendimiento es de aproximadamente 61 y 85% para malezas anuales y perennes respectivamente y en siembra directa entre 70 y 92%. Estos resultados ponen de manifiesto que en la medida que se reducen la intensidad y frecuencia de laboreo del suelo, el efecto competitivo de las malezas se incrementa, fundamentalmente si son perennes.

Indirectas.

Este tipo de pérdidas afecta el proceso de cosecha del cultivo generando una disminución del rendimiento de alrededor de 3% (Bragachini et al., 1995). Están en relación directa al tipo y densidad de maleza presente al momento de la cosecha por cuanto disminuyen significativamente la eficiencia de las cosechadoras.

Para disminuir el efecto de los daños ocasionados por las malezas, en el país se invierten más de 100 millones de dólares en herbicidas. Alrededor del 70% corresponde a herbicidas preemergentes (Anónimo 2007)

Foto. 2



Principales malezas del cultivo

En la región maicera las malezas se presentan en comunidades conformadas por diferentes especies, con predominio de algunas de ellas según el sistema de producción.

El desarrollo de un adecuado programa de control requiere en primera instancia la correcta identificación de las especies malezas presentes en el lote. En el cuadro 1 se detallan las especies con mayor incidencia sobre este cultivo.

Plántulas de malezas presentes en barbecho

Foto 3. *Lolium multiflorum*

Foto 4. *Sonchus oleraceus* (izquierda) y
Taraxacum officinalis (derecha).

Foto 5. *Polygonum convolvulus*

Foto 6. *Lamium amplexicaule*

Foto 7. *Brassica spp.*

Foto 8. *Polygonum aviculare*

Foto 9. *Chenopodium album*

Foto 10. *Conyza bonariensis*

Foto 11. *Veronica persica*.



Foto 3



Foto 4



Foto 5



Foto 6



Foto 7



Foto 8



Foto 9



Foto 10



Foto 11

Cuadro 1. Malezas frecuentemente presentes en el cultivo de maíz.

NOMBRE COMUN	NOMBRE BOTANICO
Malezas de mayor importancia o difusión	
Enredadera perenne	<i>Convolvulus arvensis</i>
Gramón	<i>Cynodon dactylon</i>
	<i>Cynodon affinis</i>
Sorgo de Alepo	<i>Sorghum halepense</i>
Pasto Cuaresma	<i>Digitaria sanguinalis</i>
Chinchilla	<i>Tagetes minuta</i>
Yuyo colorado	<i>Amaranthus spp.</i>
Chamico	<i>Datura ferox</i>
Quinoa	<i>Chenopodium album</i>
Malva	<i>Anoda cristata</i>
Capin	<i>Echinocloa crus galli</i>
Malezas de menor importancia o difusión	
Enredadera anual	<i>Polygonum convolvulus</i>
Sanguinaria	<i>Polygonum aviculare</i>
Verdolaga	<i>Portulaca oleracea</i>
Cola de zorro	<i>Setaria spp.</i>
Cebollín	<i>Cyperus rotundus</i>
Pata de ganso o Grama carraspera	<i>Eleusine indica Gaertner</i>
Lecherón	<i>Euphorbia dentata y heterophylla</i>
Zapallito amargo	<i>Cucurbita andreana</i>
Nabo	<i>Brassica spp.</i>
Nabón	<i>Raphanus spp.</i>
Abrojo grande	<i>Xanthium cavanillesii</i>
Sunchillo	<i>Wedelia glauca</i>
Hierba pegajosa	<i>Setaria vertillata</i>
malezas frecuentemente presentes en el barbecho	
Capiqui	<i>Stellaria media</i>
Ortiga mansa	<i>Lamium amplexicaule</i>
Cien nudos	<i>Polygonum aviculare</i>
Perejilillo	<i>Bowlesia incana</i>
Rama negra	<i>Conyza bonariensis</i>
Fumaria	<i>Fumaria spp.</i>
Raigras	<i>Lolium multiflorum</i>
Quinoa	<i>Chenopodium album</i>
Nabos	<i>Brassica spp.</i>
Pensamiento	<i>Viola spp.</i>
Cardos	<i>Carduus spp.</i>
Diente de león	<i>Taraxacum officinalis</i>
Cerraja	<i>Sonchus oleraceus</i>
Senecio	<i>Senecio spp.</i>
Enredaderas	<i>Polygonum convolvulus y Convolvulus arvensis</i>

Métodos para el Control de Malezas:

Se consideran principalmente los métodos culturales, mecánicos y químicos.

El control *CULTURAL* contempla el manejo del cultivo con el objetivo de incrementar su capacidad para captar los recursos del medio en presencia de malezas. Si bien el maíz no es un cultivo con alta capacidad competitiva, el logro de un correcto manejo del cultivo contribuye favorablemente a su complementación con otras prácticas de control.

La base necesaria para un correcto control cultural se sustenta en el manejo de:

- Materiales genéticos acordes con la zona de producción y fecha de siembra.
- Adecuada rotación de cultivos.
- Correcta preparación del barbecho y cama de siembra.
- Adecuada densidad del cultivo.
- Fertilización (según cantidad de nutrientes disponibles en el suelo).
- Manejo del agua en sistemas con riego complementario.
- Control de plagas y enfermedades

El programa de manejo y control de malezas debe orientarse al incremento de la habilidad competitiva del cultivo con el objetivo de suprimir el crecimiento y desarrollo de las mismas. La clave consiste en lograr que, desde la emergencia y hasta los próximos 25 o 45 días (dependiendo del caso), el cultivo de maíz se encuentre libre de malezas o bien con una densidad de estas especies que no incida negativamente sobre el rendimiento (Leguizamón y Pedrol, 1976; Dawson, 1970; Nieto et al., 1968).

El correcto establecimiento del cultivo resulta en un mejor uso de la luz, el agua y los nutrientes. Por lo general, el cultivo y las malezas compiten por el mismo complejo de nutrientes, en consecuencia cambios en los niveles de fertilidad del suelo pueden alterar la interacción de competencia entre ellos. Por lo tanto es de suma importancia eliminar las especies no

deseadas, ya que pueden reducir entre 15 a 50% la efectividad de la práctica de fertilización cuando el control químico efectuado no es satisfactorio (Senigagliesi 1985; Tevez y col., 1982).

El control *MECANICO* tiene como propósito desalojar las malezas de su contacto íntimo con el suelo. En los últimos años el incremento de la siembra directa y la utilización de herbicidas de acción residual ha ido reemplazando o disminuyendo las labores mecánicas como complemento del control químico en el cultivo.

El control *QUÍMICO* es uno de los métodos más eficaces para el control de las malezas, tanto en sistemas de labranza convencional o conservacionista. Sin embargo, un correcto manejo del cultivo constituye uno de los factores más imprescindibles para hacer eficiente el control con herbicida.

El éxito del control químico de malezas depende de innumerables factores, entre ellos la especie (anuales o perennes, gramíneas o latifoliadas) y su estado de desarrollo, la correcta elección y aplicación del herbicida/s, las características del suelo (pH, materia orgánica, textura, etc.) y las condiciones edafoclimáticas al momento de la aplicación (principalmente temperatura y humedad), entre otros.

Estrategias de control químico según sistema de producción

En cualquier sistema de producción, el manejo adecuado del cultivo, en este caso el de maíz, exige la integración de distintos factores de la producción. Es de suma importancia tener en cuenta, previamente y a nivel de sistema, la implementación de cualquier medida de control de malezas tanto en el corto, mediano y largo plazo. Esto requiere conocer aspectos particulares de las malezas, de los cultivos y su manejo, que, por su grado de complejidad, son múltiples y varían según las características particulares de cada sistema de producción. Por razones de simplicidad, a continuación sólo se presentan algunas consideraciones para el control de malezas teniendo en cuenta el modo de laboreo o manejo del suelo.

Siembra directa

Las malezas son a menudo consideradas uno de los mayores problemas asociados con los sistemas conservacionistas. Cuando se disminuye la frecuencia e intensidad del laboreo del suelo, la dependencia del control químico comienza a ser mayor. Generalmente este tipo de manejo del suelo genera modificaciones no solo en el ambiente edáfico, sino también en las malezas y otros organismos. En lo que a malezas se refiere, el cambio en su tamaño poblacional

responde a distintos estados y procesos que ocurren durante el ciclo de vida de estas especies. La intensidad y duración de estos procesos pueden ser afectados por diversos factores, entre ellos el sistema de laboreo del suelo, la especie cultivada y su manejo. Por ejemplo, la supervivencia y la fecundidad de gramíneas anuales resulta ser mayor en maíz con respecto a soja, fundamentalmente en siembra directa o arado de cincel bajo inadecuado control con herbicida (Figura 1 y 2). En caso de no efectuarse adecuadamente las prácticas de control químico, el cultivo de maíz, dentro de una secuencia agrícola, actuaría como uno de los responsables de restituir o incrementar el banco de semillas de malezas en el suelo.

La siembra directa requiere del control de malezas con herbicida previo y posteriormente a la siembra del cultivo.

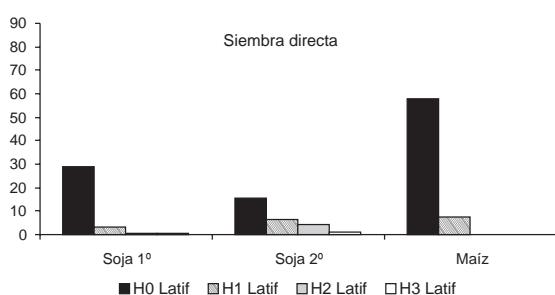
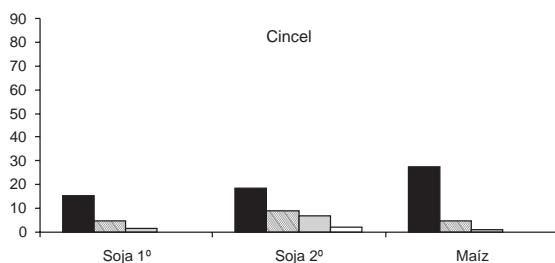
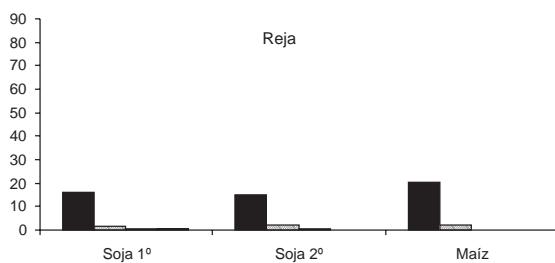


Figura 1. Latifoliadas anuales al estado reproductivo previo a la cosecha de cultivos de soja de primera y segunda siembra y de maíz. H0 sin control, H1 control con subdosis de herbicida, H2 control con dosis comercialmente recomendada y H3 idem H2 más una segunda aplicación de ser requerida. Las barras son promedios del número de plantas por m^2 correspondiente a varios ciclos anuales de los cultivos mencionados, los cuales corresponden a una rotación agrícola de 10 años.

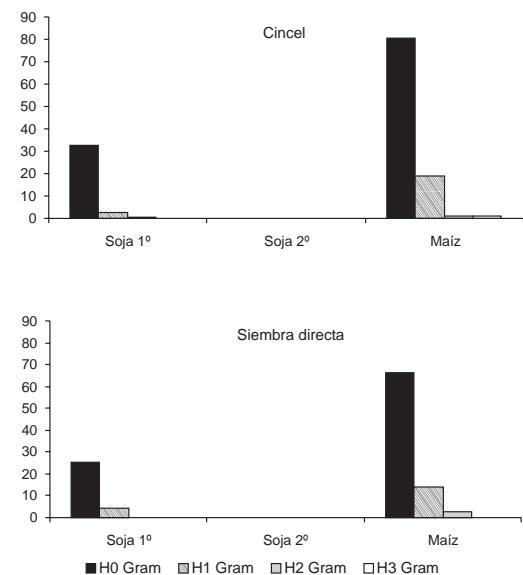


Figura 2. Gramíneas anuales al estado reproductivo previo a la cosecha de cultivos de soja de primera y segunda siembra y de maíz. H0 sin control, H1 control con subdosis de herbicida, H2 control con dosis comercialmente recomendada y H3 idem H2 más una segunda aplicación de ser requerida. Las barras son promedios del número de plantas por m^2 correspondiente a varios ciclos anuales de los cultivos mencionados, los cuales corresponden a una rotación agrícola de 10 años.

Control de malezas previo a la siembra

En la zona maicera núcleo el barbecho químico se realiza generalmente sobre rastrojo de soja, o bien sobre rastrojo de maíz, girasol o pasturas degradadas. La elección del tipo y dosis del herbicida a emplear es condicionada tanto por la especie a cultivar como por las malezas presentes y su desarrollo. En esta elección, también es importante considerar el tipo y volumen de rastrojo del cultivo antecesor (Rossi et al., 1986; Rossi y Lezcano, 1988). En cambio, el momento de la aplicación del herbicida en el barbecho depende mayormente del desarrollo logrado por las malezas y de su capacidad de extraer recursos como por ejemplo el agua y los nutrientes del suelo necesarios para el cultivo venidero (Quiroga y Ormeño, 1998), como también de la persistencia del ingrediente activo del herbicida en el suelo, que pudiera resultar letal para el próximo cultivo a implantar. Diversos factores, tales como la materia orgánica, la textura, la humedad y la temperatura del suelo, entre otros, pueden variar el comportamiento de estos herbicidas una vez en contacto con la superficie del suelo (Vicari et al., 1994, Cepeda et al., 2001; Bazzigalupi et al., 2001). Esto supone que el periodo de tiempo entre la aplicación del herbicida y la siembra del cultivo puede variar según las características de cada región.

En términos generales, las distintas opciones para el control químico de malezas en el barbecho son eficientes. En la mayoría de los casos se utiliza glifosato con atrazina, metsulfuron, 2,4D, dicamba, picloram; o bien algunos de estos dos últimos herbicidas en mezcla con metsulfuron y glifosato.

Control de malezas en el cultivo

Malezas perennes como sorgo de Alepo, gramón, cebollín y enredadera merecen un análisis más profundo al momento de decidir la táctica de control químico más adecuada. Algunas de estas especies presentan un grado de susceptibilidad menor a los herbicidas utilizados frecuentemente en maíz. En ese caso, el éxito del control contempla, además de la aplicación de

un determinado herbicida, cuestiones de manejo como la secuencia de cultivos antecesores de mayor incidencia sobre estas especies. Otros aspectos mencionados anteriormente tienen una importancia relativa muy alta dentro del sistema. En algunos casos puede suceder que del análisis oportuno de la situación que debe afrontar el cultivo de maíz (tipo de maleza y grado de infestación), surge la necesidad de reemplazarlo por otro con mayor aptitud competitiva y que además permitan aplicar herbicidas de mayor eficacia de control. Un típico ejemplo son lotes destinados a maíz en siembra directa con alta infestación de gramón (generalmente aquellos provenientes de praderas degradadas) o bien de sorgo de Alepo. En este caso particular sería aconsejable controlar previamente estas especies en cultivos de soja (graminicidas o glifosato en soja RR) o girasol (graminicidas). Luego en el cultivo de maíz, con una infestación menor de estas malezas, se dispondría de diferentes herbicidas tales como nicosulfuron, foramsulfurom + iodosulfuron para el control de sorgo de Alepo. Se puede asperjar imazapyc + imazapyr, imazethapyr + imazapyr en materiales IMI Corn, o glufosinato de amonio en maíces Liberty Link, en ambos casos con resultados parciales de control sobre gramón, sorgo de Alepo y cebollín.

Actualmente los maíces con resistencia a glifosato ofrecen una nueva alternativa de control de malezas, fundamentalmente en especies perennes. Malezas como gramón, especie con muy bajas posibilidades de ser controlada en maíces tradicionales, puede ser controlado eficazmente con 2400 a 2880 g. i.a./ha de glifosato en aplicaciones únicas o divididas de las dosis mencionadas en materiales con resistencia al herbicida. La combinación de glifosato con algún herbicida residual es otra alternativa válida, siempre que la compatibilidad de los productos lo permita.

Las malezas anuales pueden ser controladas en distintos momentos durante el ciclo del cultivo. La forma más habitual es asperjar, en preemergencia del cultivo y las malezas, atrazina en combinación con un graminicida suelo – activo de acción residual. La eficacia del control está supeditada a varios factores:

Tipo y volumen de rastrojo: Generalmente cuando la materia seca del rastrojo en

superficie es superior a 3000 kg / ha, la llegada de los herbicidas al suelo podría disminuir significativamente (Wicks et al., 1994; Banks y Robinson, 1983). La naturaleza del rastrojo del cultivo anterior también es importante. Durante la aspersión del herbicida, el rastrojo de soja retiene menos producto que el rastrojo de maíz. El caudal de aplicación debería aumentarse entre 10 y 15% cuando la biomasa y la capacidad adsorptiva del rastrojo aumentan.

Humedad del suelo: A mayor contenido de agua en el suelo, mayor es la disponibilidad del herbicida para las plántulas de malezas en proceso de emergencia. En términos generales el buen comportamiento de éstos productos está supeditado a la posibilidad de ser incorporados por precipitaciones que ocurran entre los 10 a 15 días posteriores a su aplicación.

pH: Por distintos motivos el pH del suelo tiende a disminuir en siembra directa y en consecuencia la disponibilidad del herbicida en la solución del suelo podría ser menor a la dosis letal para controlar malezas.

Materia orgánica y textura: A mayor contenido de materia orgánica y arcilla en el suelo, mayor será la adsorción del herbicida por los coloides.

Características propias del herbicida: El grado de retención de los herbicidas por la biomasa vegetal dispuesta en la superficie del suelo depende de la composición química y características propias del herbicida, entre otros factores.

Cuando la situación lo requiere, los herbicidas postemergentes ofrecen una importante alternativa de control (Cuadro 5) Los tratamientos son más efectivos si se realizan cuando las malezas son pequeñas (2 a 4 hojas); fundamentalmente gramíneas.

Sistema de siembra convencional

Control de malezas previo a la siembra

Para el control de malezas, fundamentalmente perennes, además de los herbicidas mencionados en siembra directa, se dispone de otros productos que deben ser aplicados e incorporados previos

a la siembra del cultivo. La efectividad de estos herbicidas (principalmente butilato o EPTC, ambos con antídoto) depende principalmente de: subdivisión de rizomas, inmediata incorporación y época de aplicación. A su vez, estas condiciones de manejo están íntimamente relacionadas con la temperatura y humedad edáfica, la actividad microbiana del suelo, el tamaño de rizomas o tubérculos y su número de yemas activas, el tiempo transcurrido entre la aplicación y el mayor número de yemas brotadas. Los tres primeros factores determinan la residualidad del herbicida en el suelo y los dos últimos la posibilidad de que alguna yema de la maleza brote y emerja sin ser afectada por el herbicida. Cuanto mayor es la magnitud de todos estos factores, menor será la efectividad del herbicida.

Si bien con el correcto manejo de estos productos se logra un eficiente control de malezas, se requiere una intensa labor mecánica para la preparación del suelo, el trozado de rizomas y la posterior incorporación, lo cual hace que esta práctica en ciertas situaciones contribuya al deterioro de las propiedades físicas del suelo.

Actualmente, el uso de este sistema de control de malezas es escaso, principalmente debido al avance de la siembra directa.

Control de malezas en el cultivo

Los herbicidas disponibles son los mismos que para siembra directa. En caso de aspersiones en pre-emergencia se debe tener en cuenta lo mencionado más arriba, con la salvedad del rastrojo en superficie proveniente del cultivo anterior. En cualquiera de estas últimas situaciones, el control mecánico podría complementar el control con herbicida.

Cuadros orientativos sobre el control de malezas con herbicidas

Los principales herbicidas empleados en el cultivo de maíz se detallan en las Cuadros 2 a 5. En los mismos se mencionan recomendaciones

Cuadro 2. Control químico de malezas presentes en el barbecho previo a la siembra directa del cultivo de maíz.

PRINCIPIO ACTIVO	DOSIS form./ha	OBSERVACIONES
GLIFOSATO Varias concentraciones	2 – 2,5 dosis correspondiente a glifosato al 48%	Herbicida sistémico no selectivo. Controla malezas en activo crecimiento con 20-30 cm de altura. Se aplica conjuntamente con herbicidas hormonales para mejorar el control de algunas malezas latifoliadas como quínoa, malva, enredadera y cien nudos. Aplicar con caudal de agua entre 80 - 100 l/ha. En caso de siembras tardía y en presencia de gramón aplicar 5 - 6 /ha, con sorgo de Alepo 2.5 – 3 l/ha según tamaño de rizomas (dosis correspondientes a glifosato 48%).
PARAQUAT 27 .6%	2	Herbicida de contacto no selectivo. Aplicar con caudal de agua superior a 200 l/ha. La mezcla con herbicidas residuales favorece su efectividad. Se obtiene un mayor control de malezas cuando son pequeñas. Es compatible la aplicación en mezcla con hormonales (2,4D, Dicamba o Picloram) y Atrazina. Se aplica en malezas de 2 - 4 hojas. Usar dosis mayores en rastrojo de maíz y menores en rastrojo de soja.
ATRAZINA 50% 90%	2,5 – 3,5 1,4 – 1,9	Con malezas latifoliadas de menor susceptibilidad de control (cardos) o bien de mayor tamaño mezclar con hormonales (2,4D, Dicamba o Picloram). Aplicaciones secuenciales con Glifosato mejoran el control sobre gramíneas. Es compatible su aplicación con Paraquat. La efectividad de Atrazina, sola o en mezcla con otro herbicida, se ve favorecida por el agregado de aceite (1 l/ha) y/o Humectante (1% v/v) según el caso. Aplicar con caudal de agua de 150 litros/ha.
METSULFURON METIL 60% + DICAMBA 57%	0,005 + 0,1	Es conveniente aplicar 45 días previos a la siembra. Aplicaciones con Glifosato mejora el control sobre gramíneas anuales. Para un control más efectivo, aplicar en malezas con 2 a 5 hojas y en activo crecimiento. Para malezas latifoliadas de menor susceptibilidad de control I (cardo) o de tamaño mayor al adecuado para su control, mezclar con herbicidas hormonales. Aplicar con caudal de agua de 80 y 130 litros/ha según tamaño y cobertura de malezas.
METSULFURON METIL 60% + PICLORAN 24%	0,005 + 0,080	Idem Metasulfuron metil + Dicamba
IODOSULFURON 5% + METSULFURON 60%	0,060 + 0,004 0,075 + 0,005	Se aconseja aplicar 100 días previo a la siembra. Controla ortiga mansa, perejillito, pensamiento, flor de pajarrito entre otras malezas, genera una marcada supresión sobre raigrás anual. Es necesario agregar tensioactivo 0,2% v/v. Aplicar con caudal de agua de 100 a 120 litros/ha.
2,4-D ÉSTER 100% 80% 2,4D SAL AMINA (varias concentraciones)	0,3 – 0,5 0,7 – 1,5 (según concentración)	Se aplica solo o en mezclas con Glifosato, Paraquat o Atrazina. Aplicar con caudal de agua de 100 a 120 litros/ha.
PICLORAN 10% 24%	0,25 – 0,30 0,10 - 0,125	Idem 2,4D
DICAMBA 57,7% 87,5%	0,15 - 0,20 0,070 – 0,14	Idem 2,4D.

Cuadro 3. Control de malezas previo a la siembra con herbicidas incorporados al suelo.

Cuadro 4. Control de malezas en pre-emergencia del cultivo y las malezas.

Cuadro 5. Control químico de malezas en postemergencia de las malezas y el cultivo.

PRINCIPIO ACTIVO	DOSIS ltrs pc/ha	Y.COLORRABDO	CHAMICDO	CHINCHILLA	Z.AMARGO	NABO	CLEN NUUDOS	ENREDADERA ANUAL	ABROJO GR	P.CUARESMA	CAPIN	C.ZORRO	S.ALEPO (S)	S.ALEPO (R)	GRAMON	CEBOLLIN
ATRAZINA 50% 90% (4)	4 2.5	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	-	-	-	-
NICOSULFURON 75% + ATRAZINA 50% FORAMSULFURON 30% + IODOSULFURON 2% (19)	28 gr + 2 120 gr	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	-	-	-	P
IMAZETAPIR 2.24% + PENDIMETALIN 32.17% (10)	3.5 - 4 (16)	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	P	P	P	P
IMAZETHAPYR 10% (10) (13)	0.8 - 1 (16)	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C/P (12)	C/P (12)	C/P (12)	C/P (12)
IMAZETHAPYR 60%+IMAZAPYR 20% (10)	114 gr. (16)	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C/P C	C/P C	C/P C	C/P C
GLUFOSINATO DE AMONIO (20%) (15)	1.5 - 2.5 (18)	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	P ?	P ?	P ?	P ?
GLUFOSATO (13)	2 - 6 (18)	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C
IMAZAPIC (52.5%)+IMAZAPIR(17.5%) (10)	114 gr (16)	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	P C/P C	P C	P C	P C
2,4-D ESTER 100% 80%	0.3 - 0.5 0.4 - 0.5	C C	C C	C C	-	P P	C C	-	C C	-	-	-	-	-	-	-
2,4-D SAL AMINA 87%	0.25-0.35 + 0.10-0.12	C C	C C	P P	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	-	-	-	-
2,4-D ESTER 100% + PICLORAN 24%	0.25-0.35 + 0.10-0.20	C C	C C	P P	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	-	-	-	-
DICAMBA 57%	BENTAZON 48% + DICAMBA 5.7%	1.5	C C	C C	-	P P	C C	C C	C C	C C	C C	C C	-	-	-	-
MESOTRIONE + ATRAZINA 3.000 gr	70 gr	C C	C C	C C	?	C C	C C	C C	C C	C C	C C	C C	?	C C	C C	P

REFERENCIAS:

- C: Control de 86 a 100%.
C/P: Control de 76 a 85%.
P: Control de 61 a 75%.
-: Control de 0 a 60%.
?; Sin Información

(1) En condiciones de escasa humedad edáfica (sequía) luego de los 8 - 12 días de la siembra, es conveniente pasar una rastre rotativa liviana, para eliminar malezas emergidas e incorporar superficialmente los productos para un mejor efecto de control.

(2) Dosis mayores en suelos más pesados y/o con más de 3% de M.O.

(3) Dosis variables según predominio en gramíneas o latifoliadas.

(4) Agregar 0.1% de humectante o 1 litro de aceite agrícola. Para un mejor control de gramíneas anuales aplicar hasta 3 hojas. Se puede mezclar con 2,4D, dicamba, pidoram, bentazon y algunos herbicidas residuales como metolachlor, acetoclor pendimetalin.

(5) En determinadas condiciones, los insecticidas organofosforados, o bien residuos de imidazolinonas aplicados en un cultivo anterior de soja podrían generar una menor metabolización del producto y por lo tanto mayor susceptibilidad del maíz. En altas infestaciones de sorgo de Alepo utilizar dosis divididas aplicando 35 gr/ha con sorgo de 15 cm de altura y el resto a los 15 días. Compatible con herbicidas hormonales. Selectividad del cultivo: según lista de cultivares informado por la empresa.

(6) Para el control de sorgo de Alepo de semilla utilizar las mayores dosis.

- (7) Control parcial de abrojo grande y control de abrojo chico.
- (8) Mejores controles se logran cuando la maleza tiene de 2 a 4 hojas.
- (9) Herbicida- Insecticida (Orugas cortadoras y grasiencias).
- (10) Únicamente en maíces Clearfield.
- (11) Mejor control se obtiene con malezas hasta 4 hojas.
- (12) Mejor control a dosis de 1 l/ ha.
- (13) Se puede aplicar en mezcla de tanque con dicamba o bien en forma secuencial con atrazina o pendimetalin en pre o postemergencia temprana.
- (14) Agregar tensioactivo no iónico a razón 5.5% v/v. Los mejores controles de cebollín se logran cuando la maleza tiene hasta 12 cm de altura.
- (15) Únicamente en maíces Liberty Link. Dosis de 1.5 2 l/ha control de latifoliadas (hasta 15cm); 1.75 a 2.5 l/ha control de gramíneas anuales (hasta macollaje) y 2.5 l/ha control de sorgo de Alepo (2 - 6 hojas). Aplicaciones secuenciales o en mezcla de tanque con atrazina, mejora el control sobre malezas emergidas y otorga control residual sobre las malezas en procesos de germinación y emergencia. Agregar tensioactivo no iónico.
- (16) Para el control de Yuyo Colorado resistente a imidazolinonas, mezclar con atrazina.
- (17) Para el control de gramíneas anuales mezclar con graminicidas selectivos residuales preemergentes.
- (18) Corresponden a las formulaciones con 48% de principio activo. Dosis menores para el control de malezas anuales y las mayores para el control de perennes.
- (19) Únicamente en maíces compatibles con el herbicida. Se puede aplicar en POE con 500-1000 gr de Atrazina, 1-1.5l aceitoclor, 0.9-1l metoladolo.

de uso de carácter orientativo, como dosis y espectro de control de malezas en función de información generada por el INTA, CASAFE, empresas privadas e información internacional (University of Illinois, 1997; Green y Martin, 1995; Zollinger, 2002) **No obstante es prioritaria la lectura de los marbetes de los diferentes herbicidas a utilizar.** Existe un sinnúmero de factores ya mencionados que inciden sobre cada situación en particular, generando distintas alternativas de manejo de las malezas en el cultivo de maíz.

Barbecho químico. Cuadro 2. Ver información adicional en “Control de malezas previo a la siembra”.

Pre-siembra incorporado (PSI). Cuadro 3: Los herbicidas pertenecientes a éste grupo (principalmente EPTC y butilato) son incorporados inmediatamente al suelo por implementos mecánicos para disminuir las pérdidas por volatilización. Su acción se basa en el control de gramíneas anuales y malezas perennes como cebollín, sorgo de Alepo y gramón. En el caso de las dos últimas malezas es importante el trozado de rizomas por implementos mecánicos previo a la aplicación para favorecer y concentrar una mayor y más uniforme emergencia de los brotes de rizomas dentro del periodo de acción residual de éstos herbicidas (Rossi, 1984).

Pre-emergencia (PEE). Cuadro 4: Los herbicidas se aplican en el momento de la siembra y antes de emerger el cultivo. En la efectividad de éstos herbicidas, la humedad del suelo es un factor de suma importancia ya que ésta limita la acción de los productos para integrarse en la solución del suelo e incorporarse en el perfil superficial. En términos generales el buen comportamiento de éstos productos está supeditado a la posibilidad de ser incorporados por precipitaciones que se produzcan entre los 10 a 15 días de su aplicación. En siembras convencionales, de no producirse esta situación es conveniente la incorporación superficial de los

mismos por medio de una rotativa para eliminar malezas germinadas y activar el producto (Rossi y Senigagliesi 1985; Rossi et al., 1984).

Post-emergencia (POE). Cuadro 5: Los tratamientos son más efectivos si se realizan cuando las malezas son pequeñas (2 a 4 hojas). Además, la temperatura ambiente, la humedad edáfica y ambiental también son condicionantes del éxito del control. Por otro lado, la posibilidad de utilizar materiales desarrollados por diferentes metodologías de mejoramiento, algunos con resistencia a imidazolinonas, glufosinato de amonio y otros a glifosato, generan nuevas alternativas para el control de malezas anuales y perennes.

Bibliografía

- Anderson D., M. McGlamery, E. Knake, D. Pike, A. Hager. 1994. Weed Control for Corn, Soybean and Sorghum. In: Agricultural Pest Control Handbook. University of Illinois at Urbana-Champaign, College of Agriculture, Cooperative Extension Service.
- Anónimo 1994. Protección sanitaria del maíz. Revista Madrugar, enero 1994. Revista de la Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes.
- Banks P.A., E. L. Robinson. 1983. Activity of acetochlor, alachlor, and metolachlor as affected by straw. Proc. South. Weed Sci. Soc., 36: 394.
- Bazzigalupi O., S. Cepeda, C. Siciliani. 2001. Efecto de metsulfuron metil sobre el crecimiento de plántulas de soja en diferentes sustratos. In: Revista de Tecnología Agropecuaria, INTA Pergamino.
- Belloso C. 1992. Control de malezas. Cuaderno de Actualización Técnica de Maíz. AACREA Bs. As.
- Bragachini M., L. Bonetto, R. Bongiovanni, N. Herbener. 1995. Eficiencia de cosecha. : Maíz: cosecha, secado y almacenaje. Cuaderno de actualización Nº 14. INTA-Propeco, Manfredi, Córdoba.
- Burside, O. C. 1979. Soybean (*Glycine max*) growth as affected by removal, cultivar and row spacing. Weed Science 27, 562 – 565.
- CASAFE. 1997. Guía de Productos Fitosanitarios para la República Argentina. Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes.
- Cepeda S.A., J.C. Ponsa, A. R. Rossi. 1996 Control químico de malezas en maíz. Serie afiches coleccionables. Revista de Tecnología Agropecuaria INTA Pergamino Vol. 1 Nº 2. E.E.A. Pergamino
- Cepeda S.A., A.R. Rossi, J.C. Ponsa. 1998. Las malezas y su manejo en siembra directa. Cuaderno de Actualización Técnica AACREA Bs. As.
- Cepeda S.A., A. R. Rossi, J.C. Ponsa. 1997. Control químico de pasto cuaresma (*Digitaria sanguinalis*)

- y chinchilla (*Tagetes minuta*) en maíz bajo riego. AIANBA. VI Congreso Nacional de Maíz. Pergamino.
- Cepeda S.A., O. Bazzigalupi, C. Siciliani. 2001. Efecto de metsulfuron metil sobre el crecimiento de plántulas de maíz en diferentes sustratos. XIII Congreso Nacional de Maíz. AIANBA, Pergamino.
- Dawson J.H. 1970. Time and duration of weed infestations in relation to weed – crop competition. Southern Weed Science Society 23, 13 – 25.
- Green J.D., J.R. Martin. 1995. Chemical control of weeds in Kentucky farm crops. Kentucky University, Cooperative Extension Service. 117pp.
- Kogan M.A. 1992. Estrategias de control de malezas. En Malezas, ecofisiología y estrategias de control. Lira, J.E. y Kogan, M. (Eds.) Pp 205 – 207.
- Leguizamón E., H. Pedrol. 1976. Determinación del período crítico de competencia de malezas en maíz. I Congreso Nacional de maíz. AIANBA IDIA Suplemento Nº 32.
- Nieto H., J. Brondo, J.T. Gonzalez. 1968. Critical periods of the crop growth cycle for competition from weeds. PANS (C) 14, 159 – 166.
- Quiroga A., O. Ormeño. 1998. Impacto de la siembra directa en la economía del agua de los cultivos. AACREA. Cuaderno de Actualización Técnica Nº 59.
- Roberts H.A., W. Bond, R.T. Hewson. 1976. Weed competition in drilled summer cabbage. Annuals of Applied Biology, 84, 91 – 95.
- Rossi A. R. 1984. Efecto de la subdivisión de los rizomas a la aplicación de Eptc en el control de sorgo de Alepo (*Sorghum halepense*). In Congreso Nacional de Maíz 3º, Pergamino, Bs.As., 1984. Pergamino, AIANBA. Pp 103-109.
- Rossi A.R. 1990. Control de malezas en maíz. Jornada de actualización sobre cultivo de cosecha gruesa. Bolsa de Cereales de Bs.As.
- Rossi A. R., C. Senigagliesi, R. García. 1980. Evaluación de la competencia de malezas en el cultivo de maíz. In Congreso Nacional de Maíz 2º, Pergamino, Bs.As.. AIANBA, Pp109-118.
- Rossi A. R., E. López Mondo, M.C. Lezcano de Ríos. 1982. Incidencia del daño de malezas gramíneas en el cultivo de maíz. INTA E.E.A. Pergamino. Carpeta de Prod. Veg. Tomo IV. Inf. Nº 37.
- Rossi A.R., M.C. Lezcano de Ríos, E. López Mondo. 1984. Efecto de la incorporación de herbicidas PEE. In Congreso Nacional de Maíz 3º, Pergamino, Bs.As., 1984. Pergamino, AIANBA. Pp 94-97.
- Rossi A. R. y Senigagliesi, C. 1985. Efecto de la incorporación superficial en herbicidas PEE. E.E.A. INTA Pergamino, Carpeta de Prod. Vegetal Tomo VII. Inf Nº 72.
- Rossi A. R., A. Mitidieri, O. Signoreli. 1986. Control de malezas en siembra directa, INTA - PAC, Serie Artículos Técnicos. Protección Vegetal Nº 1.
- Rossi A. R y M.C. Lezcano de Ríos. 1988. Influencia de distinto manejo de rastrojo y dosis de atrazina en el control de malezas en maíz con labranza cero. In Congreso Nacional de Maíz 4º, Pergamino, Bs.As., 1988. Pergamino, AIANBA.
- Senigagliesi C.1985. La respuesta a la fertilización y su relación con la competencia de malezas. INTA E.E.A. Pergamino. Carpeta. Producción. Vegetal, Tomo VII. Inf. Nº 71.
- Tevez R., A.R. Rossi, E. López Mondo, R. García, S. Meira, C. Senigagliesi. 1982. Relación entre el efecto de malezas gramíneas y la fertilización química. Carpeta Producción Vegetal, Tomo IV, Maíz, Inf. Nº 34. INTA E.E.A. Pergamino.
- Vicari A., P. Catizone, R.L. Zimdhal. 1994. Persistence and mobility of chlorsulfuron and metsulfuron under different soil and climatic conditions. Weed Research, 34, 147 – 155.
- Wicks G. A., D.A. Crutchfield, O.C. Burnside. 1994. Influence of Wheat (*Triticum aestivum*) straw mulch and metolachlor on corn (*Zea mays*) growth and yield. Weed Sci., 42, 141 – 147.
- Zollinger R.K. 2002. North Dakota weed control guide. North Dakota State University Extension Service. Consultado en línea. Disponible en <http://www.ag.ndsu.nodak.edu/weeds/w253/w253-3a.htm>

10. MAÍZ PARA SILAJE

Jorge R. Carrete y Omar Scheneiter

Estación Experimental Agropecuaria Pergamino
INTA

Indice

Introducción	221
Composición morfológica de la planta de maíz	221
Calidad del forraje al momento de la cosecha	222
Aspectos agronómicos del maíz para silaje	225
<i>Densidad de plantas a cosecha</i>	225
<i>Altura de cosecha</i>	227
<i>Momento de cosecha</i>	228
Caracterización del valor nutritivo de los silajes elaborados en la región pampeana	231
Utilización del silaje de maíz en la alimentación animal	232
Bibliografía	233

Introducción

La utilización del silaje de planta entera de maíz creció de manera significativa desde la década de los noventa, como consecuencia de la importante adopción de tecnología que significó la intensificación de los sistemas ganaderos pastoriles y dadas las ventajas que reporta su uso cuando se lo compara con otros forrajes conservados. Se estima que la superficie destinada a silaje de maíz supera las 700.000 ha.

Se trata de un forraje esencialmente energético, ya que su tenor proteico es bajo y poco variable. Su calidad nutritiva depende del contenido de grano y de la calidad del resto de la planta, razón por la cual interesa conocer no sólo el índice de cosecha sino también la proporción de los distintos componentes morfológicos, los cuales presentan calidades intrínsecas diferentes.

Composición morfológica de la planta de maíz

La relación fuente/destino, previamente descripta en este libro (ver capítulo de Ecología), determinada por el genotipo, el ambiente y el manejo, define la fitomasa aérea, la proporción de grano, y el contenido de carbohidratos no estructurales solubles (CNES) en los tallos.

En trabajos realizados en Pergamino (Rimieri y col., 1997 y Scheneiter y col., 1997) donde se evaluaron híbridos de diferente ciclo, desde semiprecoces a tardíos, se encontraron diferencias significativas, entre otras características, en la producción de materia seca total y en su partición de la misma (Cuadro 1). Se observó, además, una correlación positiva entre

duración del ciclo y rendimiento total de materia seca y una correlación negativa entre largo del ciclo y materia seca aportada por la mazorca.

Cabe aclarar que el cuadro 1 sólo muestra las principales características de cada grupo, pudiendo existir híbridos dentro de cada uno que presenten un comportamiento diferencial. En aquellos híbridos de ciclo largo sensibles al fotoperíodo o con marcada protandria, se produce una acentuada disminución en la proporción de mazorca que resiente la calidad del silaje.

Existe una relación inversa ($r = -0,95$) entre contenido o peso seco de mazorca y el peso seco de tallo + hoja, de modo que los híbridos con mayor contenido de mazorca tiene menor peso seco correspondiente a la fracción tallo+hoja. Los extremos están representados por el grupo semiprecoz y semitardíos.

Micheloud y col. (1997), al evaluar 15 cultivares de maíz de ciclo intermedio, observaron que la proporción de materia seca aportada por los distintos componentes morfológicos de la planta varió entre híbridos, con valores máximos y mínimos de 29,7 y 22 % de hoja, 28 y 18,9 % de tallo, 7,6 y 4,2 % de chala, 8,9 y 6,2 % de marlo y 43,2 y 28,8 % de grano.

El rendimiento en grano puede verse afectado por fuente o por destino, según que las circunstancias ambientales adversas se den durante la floración (destino) o durante el llenado de los granos (fuente). A medida que se reduce el índice de cosecha, se incrementa la proporción hoja + tallo y se afecta la composición química de los tallos al alterar la distribución de los CNES y la relación CNES / almidón por removilización, resintiéndose la calidad del silaje.

Bajo condiciones experimentales, una reducción de 0; 33; 66, y 100 %, en el número de granos fijados por unidad de superficie, por impedimento de la polinización, condujo a una

Ciclo	Producción (t MS/ha)	Mazorca (%)	Tallo (%)	Hoja + Chala (%)
Semiprecoz	13.3	61.8	19.4	18.8
Normal	14	52.4	26.2	21.4
Semitardío	16.4	24.5	42.1	33.4

Cuadro 1. Producción y partición de la materia seca promedio de 18 híbridos, durante la campaña 1996/97 agrupados según tres ciclos.

Fuente: Rimieri y col., 1997

reducción significativa en el rendimiento total de biomasa y a un incremento en la biomasa del componente tallo (Dalla Valle y col. 1998a). Sin embargo, no tuvo efecto sobre el contenido de Proteína Bruta (PB) y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) del silaje, ni sobre la calidad fermentativa, aunque aumentó la proporción de nitrógeno amoniacal (N-NH₃). Los silajes con más grano, presentaron mayor contenido de carbohidratos no estructurales y menor proporción de N-NH₃ (Dalla Valle y col. 1998b).

Como veremos más adelante, la densidad de siembra y el momento de cosecha son factores que alteran la producción y proporción de los distintos componentes morfológicos.

En un estudio realizado por Scheneiter y Carrete (1998), donde se evaluaron híbridos de maíz para silaje, a través de los años, se observó interacción genotipo x ambiente significativa en la producción de materia seca total y en la proporción de mazorca. Esto es coincidente con lo señalado por Argillier y col. (1997), quienes a su vez observaron que la variación causada en la digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica y de la fibra cruda, por la interacción genotipo x ambiente (año o localidad) fue marcadamente menor a la variación debida al genotipo, y que en un ambiente determinado, el valor nutritivo del genotipo determina el valor del silaje y por ende, la respuesta animal.

Calidad del forraje al momento de cosecha

Al igual que el resto de las especies forrajeras, la calidad de la planta de maíz se reduce hacia la madurez como consecuencia de un incremento en el contenido e indigestibilidad de la pared celular, siendo compensado dicho efecto por el almidón aportado por los granos (Van Soest, 1994). Di Marco y col. (2000) evaluaron la digestibilidad *in vivo* del forraje ensilado en tres momentos de cosecha (emergencia de espigas, grano lechoso y media línea de leche), concluyendo que la madurez del cultivo no afectó la digestibilidad de la materia seca, dado que el aumento en el contenido de almidón fue acompañado de una disminución de la misma magnitud en la

digestibilidad de la fibra detergente neutro (FDN).

Las condiciones climáticas previas a la floración pueden inducir grandes diferencias en la digestibilidad del forraje que podrán ser más o menos modificadas de acuerdo con las condiciones ambientales durante la etapa de fijación y llenado de los granos. Así, la digestibilidad puede aumentar, disminuir o permanecer constante. Los dos factores ambientales de mayor incidencia son la humedad y la temperatura. Cuando la temperatura es moderada y la humedad no es limitante se produce un rápido llenado de los granos que mejora la relación CNES / pared celular, y por ende se incrementa la digestibilidad del forraje. Por el contrario, frente a deficiencias hídricas o temperaturas bajas, el llenado de los granos es más lento y se realiza, en gran medida, a partir de los carbohidratos sintetizados antes de la floración y acumulados en el tallo, afectando la digestibilidad. Según algunas determinaciones efectuadas, la contribución particular de los azúcares del tallo al llenado de los granos puede oscilar entre 0 y 44%.

Altas temperaturas desde el estado de 7 a 8 hojas hasta el llenado de los granos incrementan la deposición de pared celular y su indigestibilidad (Andrieu, y col., 1993). La menor digestibilidad del forraje observada a altas temperaturas es el resultado de la combinación de un incremento en la lignificación de la pared celular y de un aumento de la actividad metabólica de la planta, que reduce el nivel de metabolitos en el contenido celular y acelera la conversión de fotosintatos a componentes estructurales (Van Soest, 1994).

El estado de madurez de la cosecha tiene influencia sobre los contenidos de pared celular y almidón. Andrieu y col. (1993) reportaron una alta correlación negativa entre contenido de almidón y celulosa bruta ($r = -0,82$) o fibra detergente ácida ($r = -0,85$). El contenido de almidón aumenta con la madurez, mientras que la pared celular que se incrementa con el avance del ciclo, declina desde el estado de grano lechoso a media línea de leche, para luego estabilizarse o declinar (Johnson y col., 2002). Sin embargo, Cabon (1996), analizando la evolución de la composición de la planta en relación con el contenido de materia orgánica libre de almidón durante el período de

llenado de los granos, observó un tenor estable de fibra detergente ácida y proteína bruta, con un ligero incremento en la FDN y una reducción en el tenor de CHS, concluyendo que los factores ambientales (temperatura y humedad) juegan un rol importante en las diferencias observadas entre genotipos.

Con respecto a la degradabilidad de la MS y de la FDN, Ferrero y col. (2000) observaron, al analizar la calidad del silaje en tres estados fenológicos (grano lechoso, media línea de leche y madurez fisiológica), que el avance de la madurez no afectó la degradabilidad de la FDN de la planta entera, pero por el contrario, la fracción degradable y la velocidad de degradación de la MS aumentaron por el aporte de los granos, sin afectar la degradabilidad de la planta debido a una disminución de la fracción soluble.

Carrete (2002), en un estudio que abarcó 16 híbridos comerciales, observó diferencias de magnitud entre híbridos extremos, en los contenidos de FDN ($51,9 \pm 4,9$ y $72,5 \pm 1,0$ g/100g MS) y pared celular indigestible (FDNI) ($26,0 \pm 1,6$ y $38,3 \pm 2,0$ g/100g MS) y las DIVMS ($57,5 \pm 1,1$ y $66,0 \pm 1,0$ g/100g MS) y de la pared celular (DFDN) ($37,2 \pm 4,1$ y $59,0 \pm 1,3$ g/100g MS) de la planta libre de espiga (grano + marlo). Por otra parte, se registró una alta correlación entre DIVMS y DFDN (0,84; $P < 0,001$) y FDNI (-0,95; $P < 0,001$), mientras que la correlación entre FDN y FDNI o DFDN fue de mediana a baja (0,37; $P < 0,0088$ y 0,48; $P < 0,0005$ respectivamente). Al respecto, Andrieu y col. (1993), señalaron que la pared celular de la planta de maíz es no sólo diferente (menor contenido de celulosa y mayor

relación hemicelulosa /celulosa) sino también menos variable, permaneciendo su significación casi constante por el efecto de dilución del grano. Por otra parte, la digestibilidad de la FDN, es casi independiente de su contenido en la planta y mucho menos relacionada con su grado de lignificación. Según estos autores, la digestibilidad de la pared celular en el maíz es menor que en otras gramíneas (aproximadamente 10 puntos porcentuales) y puede variar de acuerdo con Allen y Oba, 1996 (citados por Schroeder y col., 2000), en un rango de 25 a 60 g/100g MS. Las digestibilidades de la pared celular de la planta, determinadas por Carrete (2002) resultaron inferiores a las señaladas por Andrieu y col. (1993) en evaluaciones realizadas *in vivo*. Contrariamente a lo esperado, no se observó correlación entre las DIVMS de la «planta» y de la planta entera («planta»+ espiga). Sin embargo, la correlación entre contenido de FDNI y DIVMS de la planta entera fue negativa y significativa (-0,30; $P < 0,037$), pero de escasa magnitud, cuando se la compara a la evaluada *in vivo* por Andrieu y col. (1993), quienes hallaron una fuerte relación entre digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica y fibra detergente neutra indigestible ($r = 0,981$).

Estos cambios en la digestibilidad y en la composición química de la planta entera están asociados, no sólo a cambios a nivel celular y de los tejidos sino también a variaciones que se producen en la proporción de los distintos componentes morfológicos, los cuales presentan calidades intrínsecas diferentes (Figura 1).

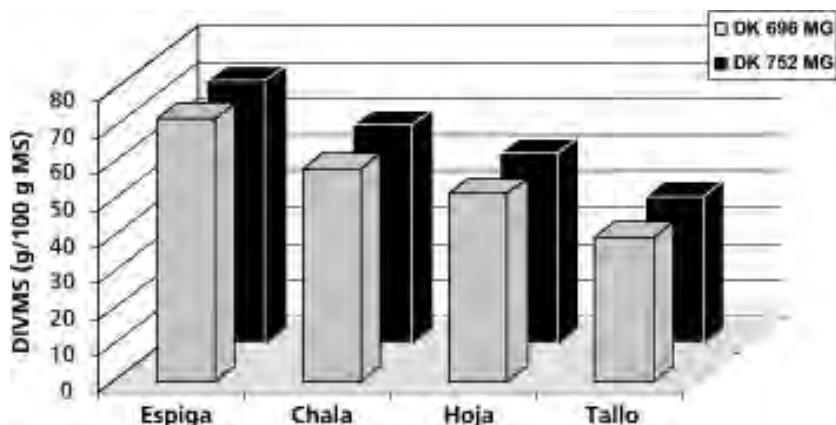


Figura 1. Digestibilidad *in vitro* de la materia seca de la espiga, chala, hoja y tallo en dos híbridos comerciales de maíz (Carrete y Ceconi, 2001).

Micheloud y col. (1997), al evaluar 15 cultivares de maíz de ciclo intermedio, registraron valores máximos y mínimos de DIVMO de la hoja de 60,16 y 52,04 g/100g MO, tallo 59,73 y 37,93 g/100g MO, y chala 71,08 y 56,13 g/100g MO, respectivamente.

Di Marco y Aello (2003) analizaron la degradabilidad ruminal a las 24 hs., que es el tiempo promedio de retención de los silajes para su digestión en el rumen, registrando valores de 45, 25 a 30 y de 90 g/100g MS, para hoja/chala, tallo/marlo y grano respectivamente.

En el año 1924 se describió por primera vez en los EE.UU., la mutación nervadura marrón (bmr). Los genotipos con esta mutación se caracterizan por exhibir una pigmentación marrón-rojiza de la nervadura central de la hoja, visible en la planta al estado de 5 a 6 hojas. Si bien se conocen 4 genes (bmr1, bmr2, bmr3 y bmr4), el más estudiado es el bmr3. Los genotipos que lo contienen se caracterizan por presentar menor contenido de lignina y mayor digestibilidad, consumo y tasa de digestión que sus correspondientes versiones con el genotipo salvaje o normal, aunque presentan un pobre comportamiento agronómico. No obstante, Barrière y Arguillier (1993) han sugerido que podrían obtenerse genotipos bmr3 tan buenos como los normales, siempre y cuando se parta de líneas de alto valor agronómico y se utilicen métodos adecuados de selección.

El tallo constituye el componente morfológico de menor valor alimenticio. Su composición química y calidad varía a lo largo del mismo. La porción por debajo de la inserción de la espiga presenta menor contenido de materia seca, pero su aporte a la materia seca total del tallo es mayor que la de la porción superior (Rojas, 1999). Por otra parte cuanto más abajo se encuentra un entrenudo, mayor es el contenido de lignina y éteres de ácido ferúlico en la pared celular, y menor el contenido de ésteres del mismo ácido. Rimieri y col. (2001) observaron que la relación tallo superior/tallo inferior estuvo cercana al 80/20% y que los tallos inferiores presentaron mayor degradabilidad efectiva, contenido de material soluble y velocidad de degradación. Asimismo, éstos presentaron menor contenido de FDN, FDA y PB y mayor DIVMS y CHS que los tallos superiores, aunque la digestibilidad de su FDN fue inferior. Esto es coincidente con

lo señalado por Alessandro y col. (2001). Estas diferencias pueden explicarse a partir de la acumulación de carbohidratos de reserva en la porción inferior del tallo y la proporción y calidad de las dos fracciones que lo integran: corteza y médula. Según Di Marco y Aello (2001) la proporción de médula/corteza en el tercio inferior del tallo, es de 75/25 con calidades notablemente diferentes (Cuadro 2).

Cuadro 2. Calidad de la médula y corteza del tallo de maíz, al estado de grano pastoso.

Sección	g/100g MS
Médula	
FDN	43.7
Almidón	9.1
CHS	53.2
DIVMS	67.8
Corteza	
FDN	68.8
DIVMS	35.0
Degradeabilidad 24 hs	31.9

Fuente: Di Marco y Aello, 2001.

La menor degradabilidad de los tallos se ve acentuada por el tamaño de picado y su efecto sobre la velocidad de tránsito por el rumen, que, según Di Marco y Aello (2001), puede ser inferior a 24 horas.

Alessandro (2002) encontró gran variabilidad genética para la calidad de los tallos, la cual estuvo influenciada por la estrategia de acumulación y translocación de asimilados, de modo que los genotipos con mayor acumulación y menor translocación de material soluble fueron los de mayor calidad. También sugirió que se podría mejorar la calidad del tallo sin necesidad de cambios en la estructura de la planta ni afectar el rendimiento de materia seca. Una mejora en la digestibilidad de la fibra permitiría incrementar la concentración energética del silaje y el consumo con la consecuente mejora en la performance animal.

A diferencia del tallo, el grano constituye el componente morfológico de mayor valor nutritivo. Aunque el almidón contenido en ellos es casi totalmente digerido en el tracto gastrointestinal

de los rumiantes, la tasa y la extensión de la fermentación ruminal varía con el tipo de grano y procesado del mismo. Los distintos tipos de granos (dentado, semidentado, flint, etc.) se diferencian por las proporciones relativas de amilosa y amilopectina, la forma y el tamaño de sus gránulos de almidón; la estructura proteica en los cuales están embebidos, y por sus características físicas. Esto determina diferencias en los sitios de digestión y por ende en la naturaleza, en la magnitud y proporción de nutrientes liberados al organismo animal (ácidos grasos volátiles en el rumen y en el ciego-colon y glucosa en el intestino delgado) y en la eficiencia energética alcanzada. La textura del grano juega un rol importante en la degradación ruminal. Se ha reportado mayor tasa de desaparición del almidón en cultivares con endosperma harinoso respecto de aquellos que contenían endosperma cárneo. La vitreosidad es mayor en los híbridos tipo flint que en los dentados y ésta estuvo relacionada con el tenor de proteína. El endosperma harinoso tiene una matriz proteica más delgada que el cárneo, lo cual resulta en un ligero menor contenido de proteína. La vitreosidad en los granos se incrementa con la madurez y decrece la digestibilidad ruminal del almidón (Philippeau y Michalet Doreau, 1997). Adicionalmente los tipo flint presentan mayor proporción de partículas gruesas, mayor densidad aparente y menor superficie específica. En el trabajo de Philippeau y col. (1999), donde se evaluaron 14 híbridos, la degradabilidad efectiva de la materia seca presentó una media de 55,8 g/100g MS (oscilando entre 51,9 y 71,5), en los híbridos dentados y de 42,3 g/100g MS (oscilando entre 39,7 y 45,3) en los de tipo flint. Estos mismos autores determinaron que el 88,5 % de la variación en la degradabilidad del almidón estuvo asociada con la vitreosidad y que la predicción más exacta de la degradabilidad se obtuvo considerando vitreosidad, densidad aparente y peso de mil granos ($r^2 = 0,97$).

Johnson y col. (2002) observaron que el procesamiento mecánico del grano en el momento de la cosecha, afectó el valor nutritivo, el tamaño de partícula y la densidad del silaje de planta entera. La proporción de granos enteros en el silaje no procesado explicó el 62% de la variación en la digestibilidad total del almidón,

la cual decrece en la medida en que éstos se incrementan. A un determinado grado de vitreosidad, la digestibilidad del almidón fue mayor en las vacas alimentadas con silaje procesado.

En el Cuadro 3 se resume la producción de forraje por unidad de superficie, y la calidad de la planta entera de maíces para silaje evaluados en la EEA Pergamino y cosechados entre media y un cuarto de línea de leche.

Cuadro 3. Valores promedios y desvíos estándares de producción y calidad de la planta entera y el tallo, de maíces para silaje, obtenidos en la EEA Pergamino durante el período 1995– 2002.

Parámetro	Nº de muestras	Promedio ± D.E.
Producción (t M.S./ha)	102	17,47 ± 3,44
M.S. (g/100 g M húmeda)	102	34,02 ± 2,68
		(g/100g M.S.)
Mazorca	102	50,52 ± 8,29
DIVMD	80	63,71 ± 3,8
FDN	68	51,07 ± 5,12
PB	53	7,11 ± 0,65
DIVMS Tallo	29	46,37 ± 3,74

Fuente: Carrete, 2002.

Aspectos agronómicos del maíz para silaje

Dada la necesidad de reducir el costo por unidad de nutriente y lograr un producto de mejor valor nutricional, es necesario maximizar la producción y calidad del forraje por unidad de superficie. Esto implica, entre otros factores, tener en cuenta una correcta elección del híbrido, época y densidad de siembra, fertilización, control de malezas y cosechar el forraje en el momento adecuado.

Densidad de plantas a cosecha

Se ha sugerido que la densidad óptima de plantas de maíz puede diferir según el destino sea la producción de granos o forrajes, siendo mayor para este último caso. Por ejemplo, estudios realizados en el extranjero indican rendimientos máximos de grano con densidades entre 74.000 y 79.000 plantas/ ha^{-1} mientras para producción de forraje los valores correspondientes son de 81.500 a 100.000 plantas/ ha^{-1} . En adición a

lo anterior, los híbridos responderían de manera diferencial a la densidad, dado que los nuevos híbridos pueden ser más tolerantes al estrés por mayores densidades de plantas que los más antiguos. Además de la producción de forraje, existen antecedentes que indican una reducción de la calidad (medida en términos de DIVMS) a muy altas densidades de plantas (cuando se evaluó un rango de 18.500 a 143.300 plantas ha^{-1}).

1. Tamaño de las plantas y producción de materia seca.

Desde el punto de vista morfológico, el aumento de la densidad de plantas a cosecha provoca invariablemente una disminución del diámetro del tallo.

El aumento de la densidad de plantas afecta la producción de materia seca. En aquellos casos en que se detectó respuesta positiva, en San Vicente y Cañuelas, Bertoia y col. (1994) determinaron un aumento del 18 % en la producción de materia seca cuando las densidades se elevan desde 60.000 a 100.000 plantas ha^{-1} . En Pergamino, incrementos de 45 y 50 % (un aumento de entre 2,1 y 2,7 pl m lineal^{-1}) se tradujeron en aumentos de 14 a 18 % en producción de forraje, mientras en Balcarce, Dalla Valle y col. (1999), determinaron un aumento del 16 % en la acumulación de biomasa cuando pasaron de 70.000 a 110.000 plantas ha^{-1} .

En general, estas respuestas positivas se han manifestado con condiciones de humedad muy favorables para el desarrollo del cultivo. Sin embargo, si las condiciones ambientales durante

parte del cultivo no fueron satisfactorias, puede no haber relación entre densidad de plantas a cosecha y acumulación de biomasa, como se observa en la Figura 2, para las condiciones ambientales de los ensayos denominados Pergamino 1 y 2, mientras que para el resto de los ensayos, se observa una relación lineal con un incremento medio de 0,91 t MS ha^{-1} por cada aumento de 10.000 plantas ha^{-1} en el rango de 66.000-120.000 plantas ha^{-1} .

2. Partición de la materia seca.

Tradicionalmente se consideró importante para valorar nutritivamente al silaje la cantidad de grano que éste contenía. De allí que en los ensayos realizados en el país se midiera la proporción de mazorca en relación con los cambios en la densidad de plantas. Los resultados muestran que este carácter puede ser poco afectado, aunque las diferencias entre sitios y años en el contenido de mazorca pueden ser muy importantes.

La interacción híbrido por densidad en el porcentaje de mazorca y de tallo encontrada en algunos ensayos realizados puede reflejar la diferente adaptación de los híbridos al estrés poblacional.

3. Calidad de la planta.

Según la mayoría de las evaluaciones realizadas en nuestro país, la DIVMS puede ser similar para distintas densidades de plantas. Sin embargo, algunos ensayos evidenciaron que esta variable disminuyó con altas densidades, aunque dependió del híbrido (Scheneiter y Carrete, 1999).

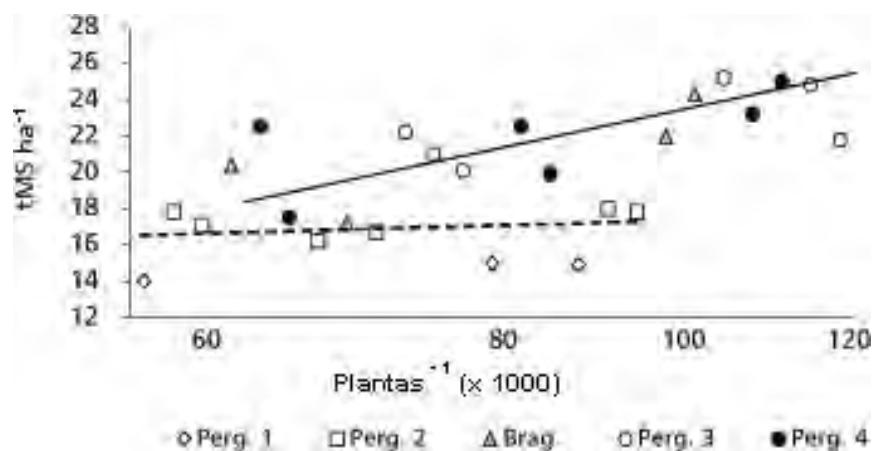


Figura 2. Producción de forrajes con distintas densidades de plantas a cosecha.

En Rafaela y en Balcarce tampoco se observaron diferencias importantes en distintos parámetros químicos (DIVMS, PB, FDN y FDA) entre densidades de siembra de 57.100, 85.700 y 114.300 plantas ha^{-1} (Romero y col., 1994) y 70.000, 90.000 y 110.000 plantas ha^{-1} (Dalla valle y col., 1999), respectivamente.

Trabajos recientes en EE.UU. revelan una caída en la DIVMS por aumento de la densidad de plantas equivalente a una disminución de 0,35% de DIVMS por cada aumento de 10.000 plantas en la densidad. Estos cambios en la digestibilidad van acompañados por un aumento en el contenido e indigestibilidad de la FDN. Sin embargo, no en todos los sitios evaluados se observó una respuesta de este tipo.

4. Comentarios finales.

En el rango de las densidades de plantas evaluadas en estos ensayos, el efecto más importante fue un aumento de la producción de materia seca, del orden del 10 al 20 %, para incrementos en la densidad de plantas del 25 al 50 %, a partir de densidades de 60-70.000 plantas ha^{-1} . Este aumento es obtenido en años con precipitaciones superiores a la media histórica y es acompañado por una reducción en el diámetro del tallo. Tanto los componentes morfológicos de la planta (expresados como porcentaje de mazorca, tallo u hoja sobre el total cosechado) como las variables de calidad fueron levemente afectados por cambios en la densidad de plantas y, cuando esto ocurrió, estuvo asociado a otros factores (híbridos o dosis de nitrógeno).

Altura de cosecha

En nuestro país, el maíz para silaje se cosecha extensivamente a una altura baja, la cual deja muy poco material remanente, con el objetivo de obtener el mayor volumen posible de forraje cosechado.

El aumento de la altura a la cual se cosecha el cultivo modifica la composición morfológica del material cosechado al disminuir el aporte relativo del tallo y aumentar el de la mazorca, que son los componentes morfológicos más importantes del cultivo. Por su parte, la calidad puede verse afectada al aumentar la digestibilidad y disminuir el contenido de fibra (Dalla Valle y col., 1999). En adición, la composición morfológica de la planta es variable entre híbridos (Rimieri y col., 1997) y cambia con el avance de la madurez del cultivo (Carrete y Scheneiter, 1998), por lo cual sería posible que el efecto de la altura de corte sobre la producción y calidad del cultivo cambie según estos factores.

1. Producción y partición de la materia seca con distintas alturas de cosecha

El porcentaje de materia seca en planta aumenta a medida que se eleva la altura de cosecha. Puede existir, además, un efecto combinado entre momento y altura de cosecha, ya que las diferencias en porcentaje de materia seca de la planta se acentúan con el avance de la madurez del cultivo (Figura 3). Este comporta-

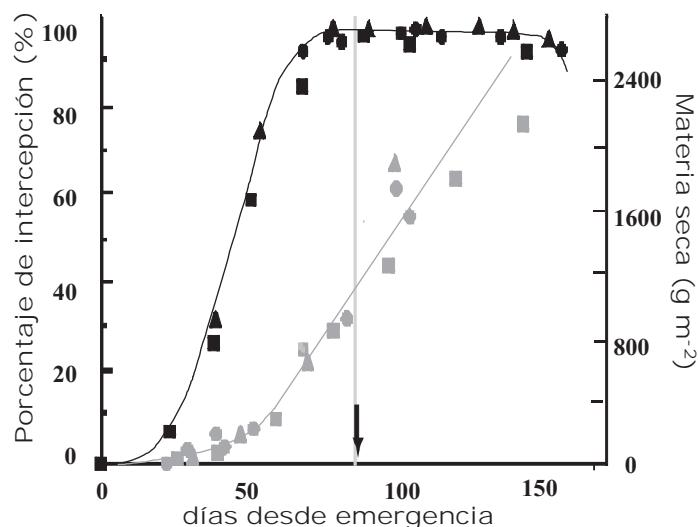


Figura 3. Porcentaje de materia seca en planta con tres alturas y en tres momentos de cosecha.

miento responde a los cambios en la composición morfológica que experimenta la planta con el avance de la madurez (aumenta la proporción de estructuras reproductivas y disminuye las de sostén y foliar) y la distinta acumulación de agua que contienen estas partes, puesto que la mazorca puede presentar el doble de porcentaje materia seca con respecto al tallo en madurez fisiológica.

Estas diferencias en contenido de humedad con distintas alturas de cosecha pueden tener implicancias prácticas en el momento de confeccionar el silo, debido a los problemas de compactación que puede presentar un material cosechado tarde y a mayor altura. La cosecha de forraje se reduce con la altura de picado, disminuyendo entre un 10 y 15 % el volumen cosechado cuando se eleva la altura de cosecha en dos nudos sucesivos como lo evidenciaron dos ensayos realizados en la EEA INTA Pergamino (Cuadro 4).

2. Calidad de la Planta

La calidad de la planta puede resultar en algunos casos diferente con distintas alturas de cosecha. De este modo, se han detectado casi 4 unidades porcentuales menos de DIVMS con cosecha baja en relación con cosecha alta. No se han observado diferencias en el porcentaje de pared celular entre alturas de cosecha.

En Rafaela, Romero y Bruno (1998) proponen aumentar la altura de cosecha para mejorar la calidad del forraje en maíz. Estos autores midieron que pasando de una altura de corte de 10-15 cm a 45-50 cm tenían una disminución de 25 % de producción, pero con sustanciales aumentos en la calidad (67 % de DIVMS).

En Balcarce, Dalla Valle y col. (1999) hallaron que desde el punto de vista de la calidad del forraje, el aumento de la altura de picado se justificaría en cortes tardíos (un cuarto a no línea de leche) debido a que en cortes tempranos no se observan diferencias apreciables en calidad.

3. Comentarios finales.

El efecto de la altura de cosecha sobre la producción y calidad del maíz para silaje depende de varios factores, como el ambiente, el híbrido, el momento de cosecha y sus interacciones. Elevar la altura de cosecha desde el nudo 1 al nudo 3, en cualquier momento de cosecha, implica disminuir entre un 4 a un 15 % de forraje, entre el nudo 3 y el 5 entre un 10 y un 20 % y entre el nudo 1 y el 5, entre un 20 y un 25 % de forraje. El efecto de la altura de corte sobre la calidad del silaje puede depender del híbrido y del momento de cosecha. En cosechas tardías existe una mayor digestibilidad con una altura elevada de cosecha. En cortes tempranos puede haber mayor digestibilidad del silaje, en algunos híbridos, con mayor altura de cosecha, mientras en momentos intermedios la altura de cosecha no afectaría mayormente la calidad del forraje. Las variaciones en producción de materia seca digestible se asemejan a las de producción de biomasa, siendo mayor en cortes tardíos con menor altura de cosecha y menor en cortes tempranos con mayor altura de cosecha.

Momento de cosecha

El momento en que se cosecha el cultivo de maíz para silaje puede afectar la producción de forraje, la composición morfológica de la planta,

Cuadro 4. Producción de forraje con tres alturas de cosecha.

Altura de cosecha			
Ensayo 1		Ensayo 2	
cm	t MS ha ⁻¹	cm	t MS ha ⁻¹
16	19,7 a	14	16,6 a
43	19,0 a	37	14,0 b
77	15,4 b	64	12,6 c

Fuente: Scheneiter y Carrete, 2001.

el estado general de la planta y la calidad del forraje. Si bien extensivamente se señala un momento óptimo de corte que según el criterio adoptado puede ser madurez fisiológica del cultivo, 35 % de materia seca de la planta entera o de media a un cuarto de línea de leche, este momento varía según el híbrido y el ambiente.

1. Fecha de cosecha

En términos generales la fecha de cosecha, si se considera un momento óptimo de media línea de leche, se produce aproximadamente 35 días después de la floración femenina media. No obstante, ésta puede diferir según el híbrido y la fecha de siembra como se pudo observar en un ensayo realizado en la EEA Pergamino con dos híbridos, tres fechas de siembra y tres momentos de cosecha (Cuadro 5).

2. Producción de materia seca

En maíz la acumulación de materia seca se detiene con la madurez fisiológica del cultivo. Existen referencias que indican que en momentos

de cosecha intermedia y tardía se produce la mayor acumulación de materia seca tal como se observa en el Cuadro 6 en los ensayos de cuatro campañas sucesivas. Sin embargo, existen excepciones. De este modo, con híbridos de muy poca participación a grano (Ej. Z 8155) y en años con temperaturas relativamente frescas y lluviosos, conviene adelantar la cosecha del cultivo.

La mayor parte de las experiencias realizadas en nuestro país coinciden en que la cosecha en grano lechoso puede resultar en menor acumulación de biomasa y que cosechas con el grano entre media línea de leche y grano duro permiten obtener los más altos volúmenes cosechados (Gutiérrez, 1997, Van Olphen y col., 1998, Spada y col., 2000 y Diaz y col., 2002).

3. Composición morfológica de la planta

A medida que progresá el estado de madurez del cultivo, la mazorca va adquiriendo mayor importancia, mientras los otros componentes de la planta van perdiendo importancia relativa (figura 4), lo cual fue observado en varios

Cuadro 5. Fechas de cosecha de dos híbridos de maíz para silaje sembrado en tres fechas y cosechados en tres estados de maduración.

Híbrido	Siembra	Fecha de cosecha			
		Enero	Febrero	Marzo	Abril
Sil 3	18 de Sept	Tem	Int Tar		
	22 de Oct		Tem Int	Tar	
	21 de Nov			Tem Int	Tar
C 350	18 de Sept	Tem	Int Tar		
	22 de Oct		Tem	Int Tar	
	21 de Nov			Tem Int	Tar

Fuente: Scheneiter y Carrete (inédito).

tem: temprano
int: intermedio
tar: tardía

Cuadro 6. Producción de materia seca en distintos momentos de cosecha del cultivo de maíz para silaje en distintos híbridos y ensayos.

Ciclo	Híbrido	Momento de cosecha		
		Temprano	Intermedio	Tardío
Año 1	Tilcara	14,5	17,4	15,9
Año 2	TMF 113	7,6	10,6	15,0
	Sil 3	13,8	15,0	15,0
	Z 8155	15,0	15,7	15,8
Año 3	DK 754 S	25,0	21,1	21,0
	Z 8155			
Año 4	Tambero 1	17,0	19,5	21,9
	M 507			

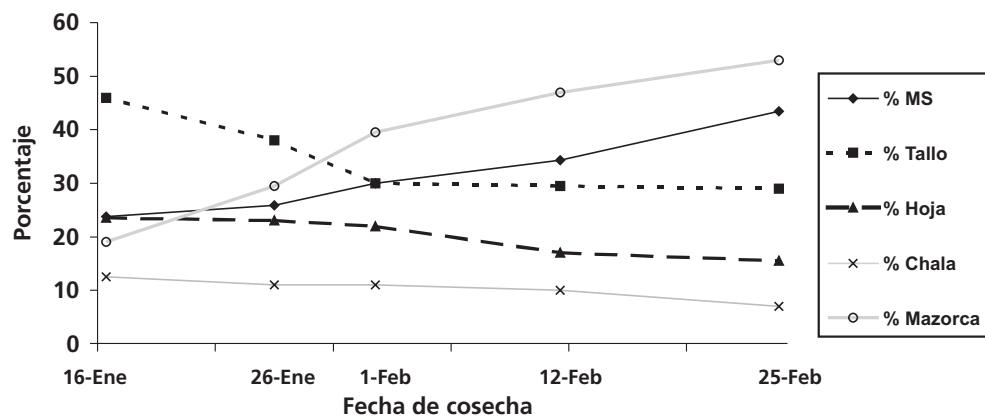


Figura 4. Efecto del momento de cosecha del cultivo del maíz sobre la partición de la materia seca.

estudios realizados en el país (Spada y col., 2000; Díaz y col., 2002).

4. Digestibilidad *in vitro* de la materia seca

A diferencia de lo que puede ocurrir con otras gramíneas forrajeras, la calidad del maíz puede no caer con el avance de la madurez, ya que la creciente influencia del grano en formación compensaría y diluiría la declinación natural del valor nutritivo del resto de la planta. A través del tiempo, los valores de digestibilidad no siguen un patrón predecible todos los años (Figura 5), ya que se presentan años en que la DIVMS desciende con el avance de la madurez, no varía o bien aumenta la calidad general de la planta.

En términos generales, la cosecha tardía tiene menor o igual calidad que la intermedia,

rara vez mayor. Por lo tanto, es razonable afirmar que cortando con un 35 % de materia seca en planta (media a un cuarto de línea de leche) obtenemos igual o mayor calidad que si postergamos demasiado el corte. Las inconsistencias entre años probablemente se deban al efecto del ambiente (temperatura y radiación) sobre la maduración y composición química del cultivo. Estas se reflejan también en otros ensayos realizados en la República Argentina. De este modo, Spada y col. (2000) y Díaz y col. (2002) no observaron diferencias entre momentos de cosecha mientras Van Olphen y col. (1998) hallaron menor DIVMS con la demora en la cosecha.

El porcentaje de fibra presenta un comportamiento muy particular y está fuertemente

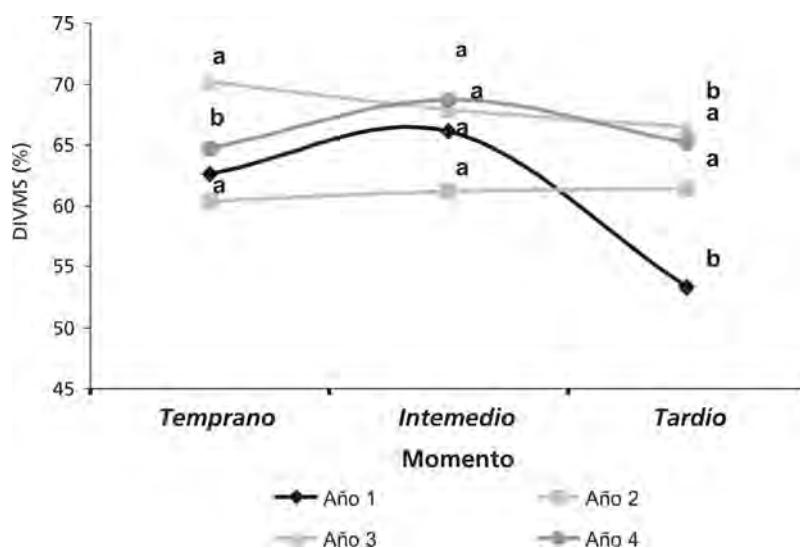


Figura 5. Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) en tres momentos de corte. Letras distintas dentro de cada año indican diferencias significativas ($P<0,05$).

afectado por la interacción híbrido x momento de cosecha. En general parece ser menor en el momento óptimo. Este comportamiento puede obedecer a que mientras el contenido de fibra de la planta se mantiene relativamente constante con distintos momentos de picado, en la cosecha intermedia al volcarse la mayor cantidad de asimilados y elementos no estructurales hacia la espiga se diluye el porcentaje de fibra, mientras con el avance de la madurez se desprenden hojas (tienen menos fibra que el tallo y además el balance entre fijación de carbono y respiración se va alterando con el consiguiente aumento relativo del porcentaje de fibra (Figura 6).

Sin embargo, si bien la tendencia general se mantiene puede haber ligeras variantes entre híbridos.

La cosecha de materia seca digestible en general copia la acumulación de biomasa, ya que al no ser de gran magnitud las diferencias observadas en DIVMS entre momentos de cosecha, aquélla es la variable que más impacto tiene en la acumulación de materia seca digestible.

5. Comentarios finales

El momento de cosecha tiene dos extremos bien definidos que se deben evitar: 1) cosecha muy temprana (25 % de MS en planta), que implica perder forraje y aumentar el riesgo de pérdidas por efluentes, y 2) cosecha muy tardía, que pueden comprometer la calidad del ensilaje por dificultades en la compactación y, excepto en los híbridos con muy alto contenido de grano, pérdida de calidad de la planta. El

momento óptimo de cosecha que en general se recomienda (35 % de materia seca en planta o grano en estado de media a un cuarto de línea de leche) debe contemplar las dos excepciones ya mencionadas.

Caracterización del valor nutritivo de los silajes elaborados en la región pampeana

En el Cuadro 7 se resumen el valor nutritivo promedio de los silajes remitidos al Laboratorio de Nutrición Animal de la EEA INTA Balcarce durante el período 1993 a 1998, provenientes de las zonas pampeana norte y sur (Schroeder y col., 2000). Estos resultados son coincidentes con el valor nutritivo de microsilos realizados en la EEA INTA Pergamino (MS: $34,9 \pm 3$ g/100g MS.; DIVMS: $59,8 \pm 2,9$ g/100g MS y FDN: $50,1 \pm 4,5$ g/100g MS, media \pm desvíos estándares, $n = 57$), pero inferiores a los señalados en la bibliografía extranjera, probablemente asociados al menor contenido de grano y elevados porcentajes de pared celular de nuestros silajes. De acuerdo con Schroeder y col. (2000), el contenido promedio de grano de los silos de maíz analizados en el laboratorio de INTA Balcarce fue inferior a 30%. Sin embargo y bajo condiciones de ensayo, se han obtenido índices de cosecha de 43 a 57 %, con niveles de almidón de 30 a 43% (Castaño y Gutiérrez, 2002), lo cual confirma la necesidad de una correcta elección del híbrido y del momento de cosecha.

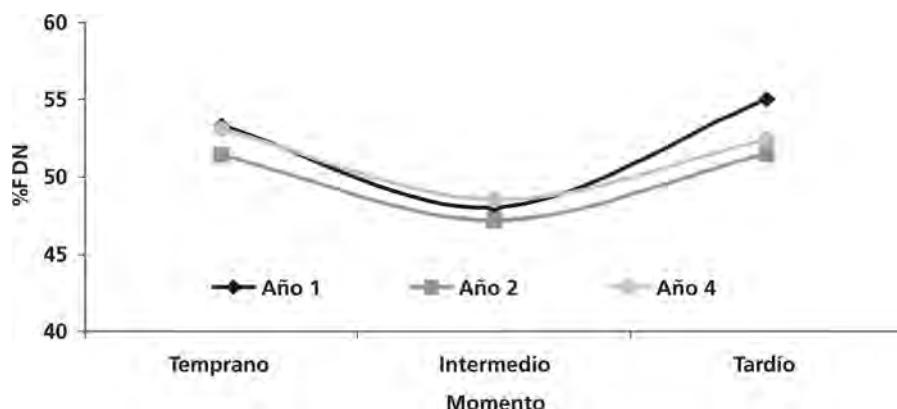


Figura 6. Porcentaje de pared celular (FDN) en tres momentos de cosecha.

Cuadro 7. Valores promedios \pm D.E. para el total del período 1993-98 y para cada uno de los análisis solicitados sobre muestras de silaje de maíz al Laboratorio de Nutrición Animal de la EEA INTA Balcarce.

Análisis	Nº de muestras	Promedio \pm D.E.
M.S. (g/100 g M. húmeda)	440	31,7 \pm 5,9 (g/100g M.S.)
MO	103	93,7 \pm 1,3
DIVMS	445	61,1 \pm 5,1
DIVMO		64,4 \pm 4,0
PB	349	6,8 \pm 1,2
Almidón	188	17,4 \pm 6,4
FDN	328	50,2 \pm 6,3
FDA	112	28,3 \pm 3,8
CNES	32	10,3 \pm 4,7
pH	29	3,9 \pm 0,3
N-NH ₃	3	8,7 \pm 3,2

Fuente: adaptado de Schroeder y col. (2000)

Carrete, y col. (2000), en un estudio que involucraba al silaje de 8 híbridos, observaron que la degradabilidad efectiva de la materia seca varió en un rango de 60,8 a 55,8 g/100g materia seca (MS), con una tasa de degradación promedio de 4,8 %/hora, lo cual indicaría que cerca del 40 al 45 % del forraje no sería aprovechado por el animal. Di Marco y Aello (2001) señalaron que en función de las digestibilidades *in vivo* y de las degradabilidades estimadas en Balcarce, la concentración energética del maíz sería de 1,8 Mcal de energía metabolizable/ kg MS y que la digestibilidad *in vitro* tendió a sobreestimar la calidad del silaje. Sin embargo, y en función de la correcta elección del híbrido, momento de cosecha, prácticas de manejo adecuadas y con condiciones ambientales apropiadas, la concentración energética sería mayor. De hecho, en diversos ensayos se utilizaron silajes que en promedio contenían 2,3 a 2,4 Mcal/kg. MS (De León y Simondi (2002), Santini y Pavan (2002).

Utilización del silaje de maíz en la alimentación animal

En la Argentina, el silaje de maíz se puede utilizar tanto para cubrir déficit estacionales de forraje y/o balancear dietas en los sistemas pastoriles, como base o componente de la dieta en engordes a corral o bien para atenuar los efectos del meteorismo en pasturas.

Abdelhari, y col. (2001) analizaron la información de 47 ensayos de pastoreo, realizados en nuestro país con el objeto, entre otros, de identificar un patrón de respuesta a la suplementación con silajes de planta entera de maíz o sorgo en bovinos para carne o leche. En bovinos para carne, la suplementación produjo una reducción en el consumo total de pastura o verdeo, sin afectar el consumo total de materia seca. La tasa de sustitución fue de $0,8 \pm 0,2$ kg MS forraje por kg de MS silaje, para un rango de suplementación que osciló entre 0,8 y 3,9 kg MS/animal/día. La carga animal se incrementó desde 36 a 57 % partiendo de un mínimo de 12 a un máximo de 67 % de silaje, base seca, en la dieta sin afectar la GDPV, para un rango de PB de 11,6 a 22,6%, como consecuencia de efectos asociativos positivos entre ambos forrajes.

En bovinos para leche, estos mismos autores observaron una reducción en el consumo de pastura, con una tasa de sustitución de $0,6 \pm 0,4$ kg MS forraje por kg MS silaje, y un incremento en el consumo total, que contribuiría a explicar la mayor producción de leche observada en vacas suplementadas. También observaron que a menor tasa de sustitución mayor producción de leche ($r = -0,80$), con lo cual, provocar altas sustituciones en pasturas de calidad sólo se justifica si el silaje es de muy buena calidad y el forraje remanente puede ser aprovechado incrementando la carga.

Por tratarse de un forraje deficitario en PB, es necesario ajustar el nivel de suplementación de modo de poder cubrir, a través de la pastura, los requerimientos de los animales o en su defecto adicionar una fuente externa de proteína.

Santini y col. (1997) demostraron la factibilidad de utilizar silaje de maíz como dieta base en la alimentación a corral. Este sistema permitiría, como lo mencionan los autores, simplificar el manejo de la invernada en los momentos de baja disponibilidad de forraje, para el mantenimiento de altas cargas en primavera o utilizarlo como tal. En estos casos también es necesario adicionar una fuente proteica, cuya proporción y naturaleza impactará sobre la ganancia diaria de peso vivo (GDPV), el consumo de nutrientes, la eficiencia de conversión y la duración de la invernada. El aporte de nitrógeno a dietas basadas en silaje de maíz mejora el consumo, la ganancia de peso y la conversión, siendo mayor el efecto con el agregado de proteína verdadera (De León y Simondi, 2002). En general, en novillos o vaquillonas, al pasar del 12 a 18 % de PB en la ración, siempre y cuando la energía no sea limitante, se pueden esperar aumentos de peso, asociados a un mayor consumo. La eficiencia de conversión puede mantenerse igual o disminuir, y los costos de la ración, si bien se incrementan, se reducen el tiempo de engorde y el costo por animal (Santini y Pavan, 2002).

El nivel de grano (almidón) en el silaje, define principalmente la tasa de engrasamiento (TE) que se logrará durante el encierro y en menor medida la GDPV, de modo que mayores TE reducen el tiempo de engorde. Así con silajes de mediana a buena calidad es posible obtener GDPV cercanas a los 0,9 kg/día, con tiempos de terminación asociados al nivel de almidón presente. El agregado de grano permitiría incrementar la TE y reducir el tiempo de terminación (Santini y Pavan, 2002).

Bibliografía

- Abdelhari, L. O., Santini, F. J. y Gagliostro, G. A. 2001. Suplementación con silajes de planta entera a bovinos en pastoreo. Efectos sobre la producción y el ambiente ruminal. Revista Argentina Producción Animal. 21 (3-4): 147-158.
- Alessandro, M. S., Rimieri, P. y Carrete, J. R. 2001. Degradabilidad in situ de la materia seca de tallos de maíz. 24º Congreso Argentino de Producción Animal. Rafaela, Santa Fe. Revista Argentina Producción Animal. 21 (Supl 1):19-20.
- Alessandro, M. S. 2002. Variabilidad y parámetros genéticos en caracteres morfofisiológicos de maíz para silaje relacionados con las estrategias de acumulación de materia seca. Tesis M. Sc. Pergamino, Argentina, UNR. 146p.
- Andrieu, J., Demarquilly, C., Dardenne, P., Barrière, Y., Lila, M. Maupetit, P. Riviere, F. y Femenias, N. 1993. Composition and nutritive value of whole maize plants fed to sheep.1. Factors of variation. Ann. Zootech. 42:221-249.
- Argillier, O., Barrière, Y., Traineau, R., Émile, J. C. and Hébert, Y. 1997. Genotype x environment interactions for digestibility traits in silage maize estimated from in vivo measurements with standard sheep. Plant Breeding 116: 423-427.
- Barrière, Y. and Argillier, O. 1993. Brown - midrib genes of maize : a review. Agronomie 13:865-876.
- Bertoia, L.M., Borlandelli, M.S. y Burak, R. 1994. Densidad de siembra de maíz (*Zea mays L.*) 1. Efecto sobre la producción de materia seca. Revista Argentina de Producción Animal 14(Sup.1):62-63.
- Bragachini, M., Cattani, P., Ramírez, E. y Ruiz, S. 1997. Silaje de maíz y Sorgo. Cuaderno de actualización técnica Nº 2. INTA Proyecto integrado Propefo.122 p
- Cabon, G. 1996. Diversité des évolutions de composition chimique du maïs dans les semaines précédant la récolte indicateurs du stade physiologique. Colloque maiz ensilage. Nantes-France. 43-50 p.
- Carrete, J. R., Scheneiter, J. O., Rimieri, P. y Devito, C. 1998. Maíz para silaje: Efecto del momento de cosecha sobre la producción y el valor nutritivo del forraje. INTA Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. Revista de Tecnología Agropecuaria. 2 (6):2-5.
- Carrete, J. R., Scheneiter, J. O. y Ceconi, I. 2000. Producción y calidad de la planta entera y calidad del silaje de híbridos de maíz. Revista Argentina Producción Animal. 20 (Supl 1):129-130.
- Carrete, J. R. y Ceconi, I. 2001. Maíces Bt: Producción y calidad de la planta entera y del silaje. Revista Argentina Producción Animal. 21 (Supl. 1):160-161.
- Carrete, J. R. 2002. Factores que afectan la calidad del maíz para silaje. Reunión Anual de Forrajeras. EEA INTA Pergamino. Texto en CD. 9' p.
- Castaño, J. y Gutiérrez, L. 2002. Evaluación de híbridos de maíz para silaje. 25º Congreso Argentino de Producción Animal. Bs. As., Argentina. Revista Argentina Producción Animal. 22 (Supl. 1):171-72.
- Dalla Valle, D. E., Viviani Rossi, E., Andrade, F. H. y Wade, M. H. 1998a. Contenido de grano y calidad de maíz para silaje. Revista Argentina Producción Animal. 18 (Supl. 1):137-138.
- Dalla Valle, D. E., Viviani Rossi, E., Andrade, F. H. y Wade, M. H. 1998b. Rendimiento de maíz para silaje en función del número de granos fijados. Revista Argentina Producción Animal. 18 (Supl. 1):138.
- Dalla Valle D.; Viviani Rossi E.; Van Olphen P.; Gutierrez L.; Ferrero J.; Andrade F. y Santini F. 1999. Maíz para silaje. Agromercado, Cuadernillo Maíz: 12-16.

- De León, M. y Simondi, J. M. 2002. Suplementación proteica. Alimentación con silajes. Primer Congreso Nacional sobre Producción Intensiva de Carne. Bs. As. Ed INTA – Forrajes & Granos – Forum Argentino de Forrajes – SAGP y A: 52 - 58.
- Díaz, M.G. y Di Nucci de Bedendo, E. 2002. Efecto del momento de cosecha sobre la producción y calidad de silaje de maíz. Revista Argentina de Producción Animal Vol 22. Sup. 1: 150-152.
- Di Marco, O. N., Aello, M. S., Nomdedeu, M. y Van Houtte, S. 2000. Digestibilidad in vivo del silaje de maíz en tres estados de madurez y su relación con la digestibilidad in vitro, degradabilidad ruminal y composición química. 23º Congreso Argentino de Producción Animal. Corrientes, Argentina. Revista Argentina Producción Animal. 20 Supl) 1:41- 42.
- Di Marco, O. N. y Aello, M.S. 2001. En torno al valor nutritivo del maíz para silaje. Rev. Forrajes y Granos, Agribusiness Journal. 6 (71): 58-61.
- Di Marco, O. N. y Aello, M. S. 2003. Calidad nutritiva de la planta de maíz para silaje. Disponible en: <http://www.inta.gov.ar/balcarce.htm>.
- Ferrero, J., Di Marco, O. N. y Viviani Rossi. E. 2000. Degradabilidad ruminal de la planta de maíz cosechada en diferentes estados de madurez. 23º Congreso Argentino de Producción Animal. Corrientes, Argentina. Rev Arg. Prod Anim. 20 (Supl.) 1: 42-43.
- Gutiérrez, L.M.; Viviani Rossi, E.M. y Delpech, E. 1997. Epocas de corte de híbridos de maíz para silaje en el sudeste bonaerense. Revista Argentina de Producción Animal Vol 17. Sup. 1: 176-177.
- Johnson,L. M., Harrison, J. H., Davidson, D. Robutti, J. L., Swift, M. Mahanna, W. C. and Shinners, K. 2002. Corn silage management I: Effects of hybrid, maturity, and mechanical processing on chemical and physical characteristics. J. Dairy Sci. 85:833-853.
- Micheloud, M. N., Díaz, M. G., Di Nucci de Bedendo, E., Pavetti, D. R. y Vicentín, J. 1997. Producción, calidad de planta y de silaje de cultivares de maíz. 1er Congreso Binacional de Producción Animal. Paysandú, Uruguay. Rev Arg. Prod Anim. 17 (SupL) 1:130.
- Philippeau, C., and Michalet-Doreau, B. 1997. Influence of genotype and stage of maturity of maize on rate of ruminal degradation. Anim. Feed Sci. Technol. 68:25-35.
- Philippeau, C., Le Deschault de Monredon, F., and Michalet-Doreau, B. 1999. Relationship between ruminal starch degradation and the physical characteristics of corn grain. J. Anim. Sci. 77:238-243.
- Rimieri, P., Scheneiter, J. O., Carrete, J. R. y Devito, C. 1997. Producción y calidad de maíz para silaje; efecto de la longitud del ciclo bajo condiciones de riego y secano. Revista de Tecnología Agropecuaria 2 (5): 27-29.
- Rimieri, P., Carrete, J. R. y Alessandro, M. S. 2001. Degradabilidad in situ de la materia seca de dos estratos del tallo de maíz. Revista Argentina Producción Animal. 21 (Supl. 1):21-22.
- Rojas, C. A.1999. Evaluación de criterios de selección en maíces adaptados a la región maicera central. Efecto del macollamiento. Estrategias de translocación de fotosintatos. Tesis de Grado.
- Licenciatura en Genética. U. N. Misiones
- Romero L. A. y Bruno O. A. 1998. Producción y calidad de distintas especies para ensilar. En Curso de actualización para profesionales: últimos avances en silajes. Manfredi, Cordoba. 4 y 5 de Junio. pp: 3-5.
- Romero, L.A., Bruno, O.A. y Díaz, C. 1994. Respuesta a la fertilización y densidad de siembra de maíz y sorgo para silaje. In:Jornada de Actualización Técnica sobre la Producción de Forrajes Conservados de Alta Calidad. Rafaela, Estación Experimental Agropecuaria, 26 de Octubre de 1994.
- Santini, F. J., Pavan, E., García, S. C. y Castaño, J. 1997. Uso del Silaje de maíz como dieta base en la alimentación a corral (Feedlot). Primer Congreso Nacional sobre Producción Intensiva de Carne. Bs. As. Ed. INTA – Forrajes & Granos – Forum Argentino de Forrajes – SAGP y A: 161-174.
- Scheneiter, J. O., Carrete, J. R., Rimieri, P. y Devito, C. 1996. Producción y Calidad de Maíz para silaje. Revista de Tecnología Agropecuaria Vol 1 (2):63-66.
- Scheneiter, J. O., Carrete, J. R., Devito, C. y Rimieri, P. 1997. Ensayo de híbridos de maíz para silaje – Cargill. Proyecto INTA Pergamino. Publicación interna. 5 p.
- Scheneiter, J. O. y Carrete, J. R. 1998. Evaluación de híbridos de maíz para silaje. Proyecto INTA Pergamino. Publicación interna. 7 p.
- Scheneiter, O. y Carrete, J. 1999. Producción y calidad de maíz para silaje con distintas densidades de plantas a cosecha. Pergamino, Estación Experimental Agropecuaria. Revista de Tecnología Agropecuaria 11 (IV): 32-36.
- Scheneiter,O. y Carrete,J. 2001. Altura de corte y calidad de maíz para silo. Forrajes y Granos. Agrobusiness Journal 60-61 (6) 82-83.
- Schroeder, G. F., Elizalde, J.C. y Fay, J. P. 2000. Caracterización del valor nutritivo de los silajes de maíz producidos en la provincia de Buenos Aires. Revista Argentina Producción Animal. 20 (3-4): 161-177.
- Spada, M. del C.; Roasio, R.; Brunetti, M.A. y Steinberg, M. 2000. Efecto de distintos momentos de confección de silos de maíz y sorgo sobre su calidad. Revista Argentina de Producción Animal Vol 20 Sup. 1: 235-236.
- Van Soest, P.J.1994. Nutritional Ecology of the Ruminant. Second Edition. Cornell University Press. 476 p.
- Van Olphen, P.; Santini, F. y Viviani Rossi, E. 1998. Efecto del momento de corte sobre la producción y calidad del maíz para silaje. Revista Argentina de Producción Animal. Vol. 18. Sup. 1: 144.

11. CALIDAD Y USOS DEL MAÍZ

José L. Robutti

Estación Experimental Agropecuaria INTA
Pergamino

Indice

Introducción	237
La calidad del grano de maíz	237
Dureza endospérmica	237
Almidón	241
Proteína	242
Aceite	242
Carotenoides	243
Tocoferoles	244
Poscosecha	244
Industrialización	244
Alimentos balanceados	245
Molienda húmeda	245
Molienda seca	247
Conclusiones y tendencias	248
Bibliografía	249

Introducción

El maíz es un grano que tiene numerosas y diversas aplicaciones. La mayor proporción de su producción se usa en alimentación animal (Watson, 1988). En algunos países, sobre todo de Latinoamérica, el maíz se emplea como alimento humano en cantidades significativas (Rooney y Serna-Saldívar, 1987). Por otra parte, este grano es una importante fuente de materia prima para producir almidón y derivados, edulcorantes, aceite, alcohol, etc., que se usan en muchas aplicaciones alimentarias y no alimentarias (Leath y Hill, 1987). Existen productos del maíz que pueden ser, y en cierta medida están siendo, utilizados como materia prima en la industria química (Orthoeffer, 1987), en algunos casos como reemplazo de los derivados del petróleo. A diferencia de éste, el maíz presenta ciertas ventajas, ya que es un recurso renovable, los productos finales obtenidos son biodegradables y su degradación no altera el balance de anhídrido carbónico atmosférico.

Frente a tal diversidad de aplicaciones los requerimientos de calidad deben por fuerza ser variados y algunas veces contrapuestos. El dicho «La belleza está en el ojo del observador» es de perfecta aplicación a la calidad del maíz ya que la palabra calidad adquiere, en este caso, distintos significados para cada tipo de usuario.

La calidad del grano de maíz

La calidad de uso del maíz está determinada principalmente por la estructura y composición del grano. Diversos autores han efectuado revisiones exhaustivas de la bibliografía referente a detalles estructurales y composicionales así como de la cinética de acumulación de distintos componentes durante el período de desarrollo del grano (Watson, 1987a; Watson, 1988; Cirilo y Andrade, 1998). Las diferencias en estructura y composición dependen del cultivar así como de las prácticas de manejo, el clima, el suelo y los métodos de cosecha y poscosecha.

Los cultivares de maíz difieren en atributos de la calidad del grano, tanto físicos como químicos (Eyhérabide et. al., 2007, Maizar, 2012).

Algunas características del grano vinculadas con su estructura y composición se tratarán a continuación.

Dureza endospérmica

La dureza endospérmica contribuye a otorgarle al maíz resistencia mecánica, propiedad ésta deseable para mantener la integridad del grano durante las operaciones de cosecha y poscosecha (Watson, 1987b). Asimismo, la industria de la molienda seca requiere materia prima de grano duro para obtener fracciones de los tamaños adecuados a las distintas aplicaciones de los productos de esta molienda (Freidenberg, 2000).

Existen diversos parámetros que estiman la dureza del grano (De Dios y col. 1990). De Dios y col.(1992) adoptaron cuatro por su relevancia en la estimación de esta propiedad y su relativa facilidad de medición. Ellos son: peso hectolítrico, prueba de flotación, dureza NIR y relación gruesos/finos (Fotos 1 y 2).

Eyhérabide y col. (1996a) analizaron una extensa serie de muestras de maíz de diferentes cultivares producidos en distintos ambientes utilizando los cuatro parámetros. Aplicando análisis multivariado a los resultados logrados



Foto 1. Tamizador utilizado en la determinación de la relación gruesos/finos.

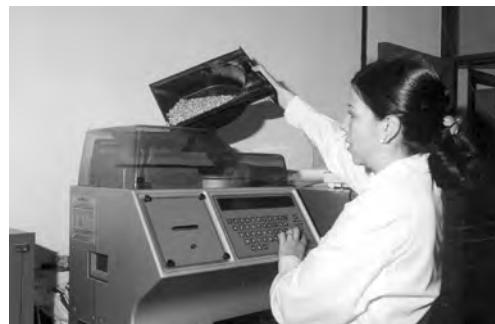


Foto 2. Instrumento empleado para la medición del peso hectolítrico.

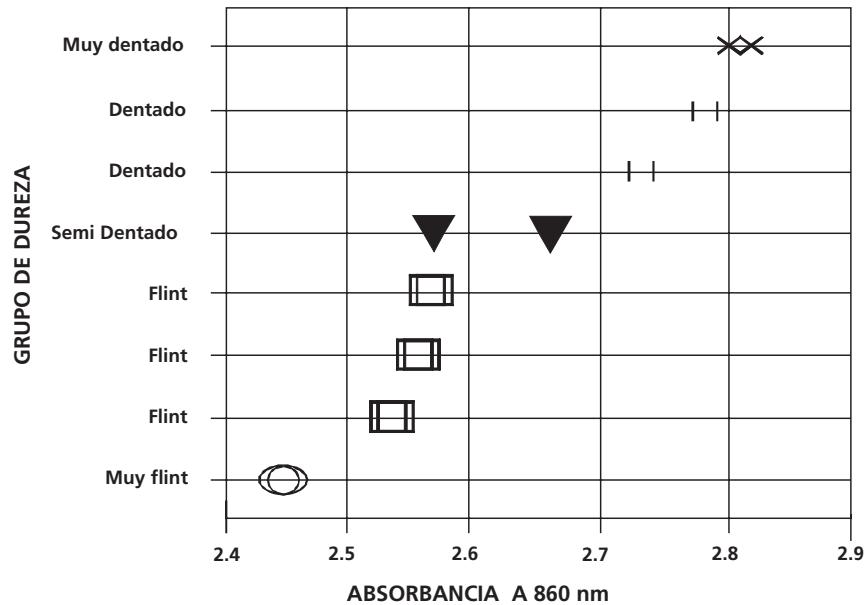


Figura 1. Diferenciación de híbridos de distinta dureza por su absorbancia a 860 nm (valores duplicados).

Fuente: Robutti 1995. Con autorización.

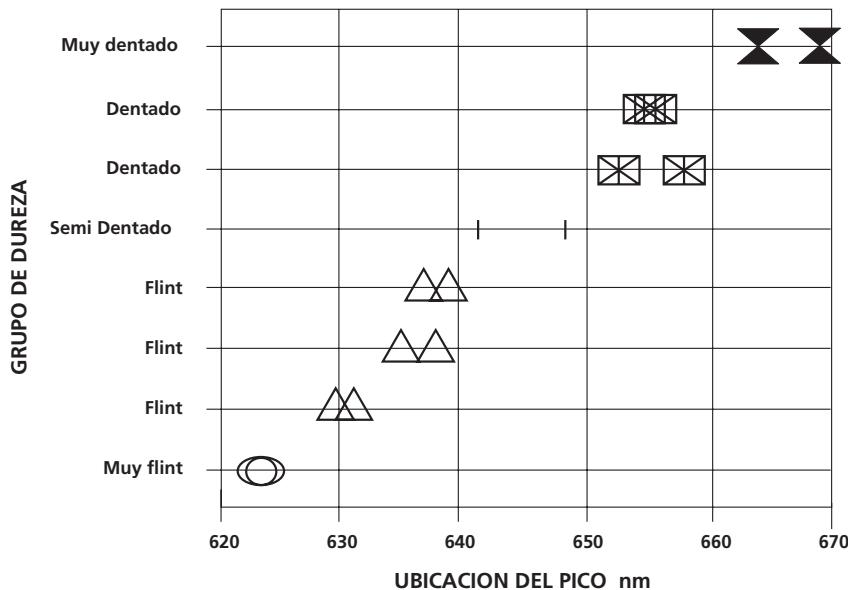


Figura 2. Diferenciación de híbridos de distinta dureza por la ubicación de un pico de absorbancia (valores duplicados). Fuente: Robutti 1995.

TABLA 1. Rangos de parámetros que caracterizan distintos grupos de textura del maíz

Grupo	PH	FLO	G/F	NIR
Harinoso	74,2-77,0	57-100	1,8-4,1	310-421
Semiduro	76,2-80,1	2-65	3,0-5,6	406-568
Vitreo	80,1-81,7	0-12	4,7-6,2	525-691

PH: peso hectolítrico, kg/hl. FLO: ensayo de flotación, %. G/F: relación gruesos a finos, adimensional. NIR: dureza NIR, unidades arbitrarias. Fuente: Eyhérabide y col. 1996a

se obtuvieron funciones lineales que permitieron clasificar las muestras en tres categorías de dureza: harinosos, semiduros y vítreos. Los rangos de valores de estos parámetros para cada categoría de dureza se muestran en la Tabla 1. Los autores sugieren la aplicación de este procedimiento a la tipificación de cultivares y a la comercialización del maíz.

La estimación de la dureza puede realizarse también mediante pruebas no destructivas aplicando técnicas de infrarrojo cercano de transmisión (Robutti 1995). Dicho autor encontró que el espectro entre 600 y 1100 nm de granos enteros de maíz presentaba dos parámetros altamente asociados con la dureza. Uno de dichos parámetros era la absorbancia a 860 nm, la cual se asocia negativamente con la dureza (Fig. 1). El otro era el desplazamiento de un pico entre 600 y 700 nm. Dicho pico se desplaza hacia longitudes de onda más largas cuanto más blando es el grano (Fig. 2). Eyhérabide y col. (1996b) informaron que esta metodología fue efectiva como criterio de selección por dureza.

Base bioquímica

Contenido proteico

La dureza parece estar influida en cierta medida por el contenido de proteína del grano (Governatori y Uhart, 1997). Dichos autores encontraron que un índice de calidad, construido basándose en estimadores de dureza, se correlacionaba positivamente con el incremento del tenor proteico del grano hasta un contenido de 9 % aproximadamente. Superado dicho contenido el índice de calidad se estabilizaba, independientemente del porcentaje de proteína. Este estudio se efectuó sobre dos híbridos cultivados a cuatro niveles de oferta de nitrógeno.

Las zeínas

La base bioquímica de la dureza se atribuye a complejas interacciones entre ciertos componentes del grano. Entre tales componentes se encuentran las zeínas que constituyen las principales proteínas de reserva del endosperma del maíz. En las células del endosperma maduro, estas proteínas se localizan en los llamados cuerpos zeínicos (Wilson, 1987). Estos cuerpos constituyen la fase discontinua de la matriz proteica del endosperma en tanto que la fase continua está formada por glutelinas y proteínas hidrosolubles (Wilson, 1987). Las α -zeínas o zeínas-1 (z1) son proteínas solubles en etanol al 70 % y pobres en aminoácidos azufrados, en tanto que las β y γ -zeínas llamadas también zeínas-2 (z2) poseen mayor proporción de aminoácidos azufrados y se solubilizan en etanol al 70 % con el agregado de un agente reductor. Las primeras se concentran en el interior de los cuerpos zeínicos en tanto las segundas se encuentran en la periferia de dichos cuerpos (Geetha y col., 1991). Robutti y col. (1994) observaron por microscopía electrónica de barrido secciones de granos de maíz que no habían sido tratadas con etanol al 70% (disolvente de z1) (Foto 3) y otras que sí lo habían sido (Foto 4). En la foto 4 se aprecia la desaparición de los cuerpos zeínicos y una estructura resultante que parece menos compacta y, presumiblemente, menos resistente desde el punto de vista mecánico. Esta presunción se confirmó cuando dichas secciones fueron sometidas a un ensayo de compresión al comprobar que la presión necesaria para romper las secciones tratadas fue inferior que la requerida por las no tratadas. Además, dichos autores hallaron que la presión necesaria para romper «pellets» confeccionados con almidón comercial de maíz y distintas proporciones de

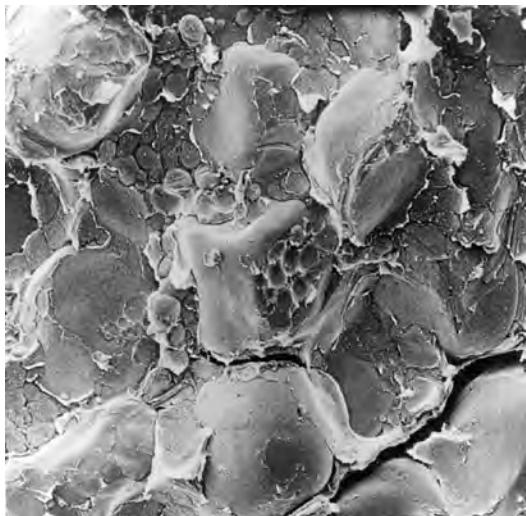


Foto 3. Microscopia electrónica de barrido (3000 X) del endosperma córneo de un híbrido de maíz. Se observan los cuerpos zeínicos enteros. Fuente: Robutti y col. 1994. Con autorización.

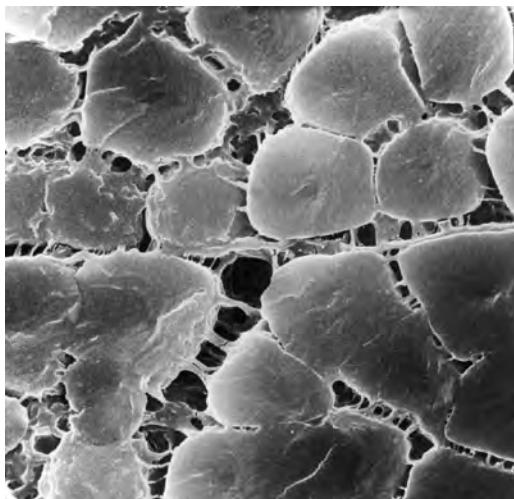


Foto 4. Microscopia electrónica de barrido (3000 X) del endosperma córneo de un híbrido de maíz luego de la extracción con etanol al 70%. Se observan los huecos dejados por los cuerpos zeínicos. Fuente: Robutti y col. 1994. Con autorización.

z2 aumentaba ante incrementos de aquéllas en la mezcla, indicando así una interacción entre las proteínas y el almidón y confirmando así hallazgos similares (Abdelrahman y Hoseney, 1984). Cuando la mezcla para el «pellet» se preparaba con z1, la presión de rotura no se modificaba por el incremento de la proporción de la proteína sugiriendo esto una falta de

interacción entre estas proteínas y el almidón (Robutti y col., 1994). Estos hallazgos llevaron a emitir la hipótesis del «cemento» y los «ladrillos» (Robutti y col., 1994, Robutti y col., 1997). Las z1 ubicadas en el interior de los cuerpos zeínicos y químicamente más inertes que las z2 actuarían por acción mecánica otorgando estabilidad a la estructura endospérmica. Estas serían los «ladrillos». Las z2 ubicadas en la periferia de los cuerpos zeínicos al poseer la aptitud de interactuar vía puentes disulfuro jugarían el rol de «cemento» creando las fuerzas de unión con otros componentes del endosperma. Una hipótesis similar fue propuesta por Mazhar y Chandrashekhar (1995) para explicar la base bioquímica de la dureza del grano de sorgo.

Existen evidencias de que una γ -zeína de 27 kDa está particularmente asociada a la dureza. Comparando mediante SDS-PAGE electroforesis maíces normales, opaco-2 y opaco-2 modificados (estos últimos se designan también como QPM; su endosperma no es totalmente harinoso sino que presenta porciones que revierten hacia la textura córnea), Wallace y col. (1990) encontraron que, dentro del mismo «background» genético, los QPM tenían mayor cantidad de la γ -zeína de 27 kDa que ya sea los normales o los opaco-2 estándares.

Analizando el mismo tipo de materiales por RP-HPLC, Paulis y col. (1992) efectuaron similares hallazgos referidos al pico cromatográfico designado como pico 2 (tiempo de retención > 26,1 min) que es equivalente a la γ -zeína de 27 kDa.

En materiales normales, la relación de la γ -zeína de 27 kDa (Moro y col. 1995) o pico 2 (Pratt y col. 1995) con la dureza no fue tan obvia. Ambos grupos de autores expresan la presencia de la zeína en cuestión como cantidad absoluta o como proporción de las zeínas totales. Robutti y col. (1994) y Robutti y col. (1997), analizando por RP-HPLC las zeínas de líneas endocriadas, encontraron una alta asociación entre valores de dureza y concentración del pico 2 cuando éste se expresa como porcentaje de las z2. Esto fue confirmado por Eyhérabide y col. (1996b). En este estudio se encontró que el promedio de las progenies de materiales seleccionados

disruptivamente por dureza, aplicando la metodología propuesta por Robutti (1995), diferían significativamente ($p < 0,001$) en cuanto al contenido del pico 2 expresado como porcentaje de las z2.

El almidón

Dombrink-Kurtzman y Knutson (1997) presentaron resultados que sugieren que también el almidón podría tener incidencia en la dureza endospérmica del maíz. Las moléculas constitutivas del almidón son las de amilosa (polímero de cadena esencialmente lineal) y las de amilopectina (polímero de cadena ramificada). Dombrink-Kurtzman y Knutson (1997) estudiando 6 materiales (4 híbridos simples, una línea endocriada y una población de maíz QPM) informaron que el almidón de la porción cárnea del endosperma contenía porcentajes significativamente superiores de amilosa que el de la porción harinosa. Los autores sugieren que los gránulos de almidón con mayor contenido de amilosa son menos cristalinos y por lo tanto menos rígidos y más compresibles durante la etapa de secado a campo del grano, lo que genera el aspecto compacto y la forma poligonal de los gránulos que presenta el endosperma cárneo. Los gránulos de almidón con mayor contenido de amilopectina son más cristalinos, por lo tanto más rígidos y menos susceptibles a la compactación originando así una estructura porosa y gránulos esferoidales, siendo ambas propiedades características del endosperma harinoso. Hourquescos y col. (1999) informaron la existencia de una alta correlación entre el grado de textura de híbridos comerciales y experimentales de maíz y la proporción de amilosa en el almidón, lo que sustenta los hallazgos de Dombrink-Kurtzman y Knutson (1997).

Almidón

Contenido y rendimiento industrial

El almidón es cuantitativamente el componente más importante del grano de maíz.

El rendimiento industrial del almidón no depende únicamente de su contenido porcentual en el grano. Las interacciones entre este componente y la matriz proteica juegan un

importante rol en el proceso de molienda húmeda. Por lo tanto, para predecir el rendimiento industrial en almidón de un determinado maíz se debe contar con un método de laboratorio que represente lo más fielmente posible las condiciones del proceso de molienda húmeda (Eckhoff y col. 1993). Dichos autores desarrollaron un método que es aplicable para muestras pequeñas. Por su parte, Mazzoni y Robutti (1990) informaron que el método propuesto por Neryng y Reilly (1984) resultó efectivo para detectar, a escala de laboratorio, diferencias significativas en el rendimiento de almidón entre híbridos comerciales.

Existen informes (Mannino y col. 1994, Duviau y Kobrehel 1994) que evidencian una asociación negativa entre la tasa de recupero de almidón en escala piloto con el contenido de proteína residual del almidón y el contenido de cistina-cisteína de esa proteína. Estos hallazgos son consistentes con las hipótesis sobre el «cemento» y los «ladrillos» y las interacciones almidón-proteína mencionadas anteriormente respecto de la textura endospérmica (Robutti y col. 1994, Robutti y col. 1997).

Relación amilosa / amilopectina

Las aplicaciones del almidón son múltiples (Leath y Hill, 1987). La modificación química o genética del almidón para alterar sus propiedades funcionales amplían aún más el campo de aplicación (Orthoeffer, 1987). Los maíces con los genes mutantes waxy (wx) y amilosa-extender (ae) alteran la proporción de amilosa y amilopectina del maíz normal, que es de aproximadamente 27 y 73% respectivamente. La alteración en las proporciones relativas de amilosa y amilopectina modifica el grado de ramificación del almidón, lo que origina variaciones en sus propiedades funcionales (Watson, 1988) y por lo tanto en su espectro de usos. El almidón waxy está constituido prácticamente por 100% de amilopectina. El amilosa-extender original tenía 55-60 % de amilosa habiéndose llegado por mejoramiento genético a aproximadamente 80% (Alexander, 1988). Estos maíces con mutantes de alta amilosa presentan problemas tanto desde el punto de vista del rendimiento de grano a campo como del

rendimiento industrial de almidón en el proceso de molienda húmeda. Dichos rendimientos son inferiores al del maíz normal (Alexander, 1988).

Sin embargo, existen evidencias que sugieren un rango de variabilidad apreciable en lo que hace a la proporción de amilosa en el almidón entre distintos maíces normales o con el alelo silvestre para los loci waxy y amilose extender. Robutti y col. (2000) analizaron el contenido de almidón y amilosa en numerosas muestras de distintas razas del Banco de Germoplasma de INTA Pergamino (BAP). Los promedios de cada raza presentaron en algunos casos diferencias significativas ($p < 0,01$) para el contenido de amilosa. Asimismo, propiedades térmicas y estructurales, asociadas a la relación amilosa/amilopectina, fueron evaluadas sobre los almidones de distintas razas del BAP (Seetharaman et al., 2001). Los valores encontrados para estas propiedades exhibieron alta variabilidad y se identificaron varias razas con propiedades de potencial interés comercial.

Bioetanol

El maíz es una de las fuentes más abundantes y económicas de almidón. Dado el interés actual para el reemplazo de combustibles fósiles por biocombustibles, el maíz surge como una alternativa factible para la obtención de etanol combustible mediante la fermentación alcohólica de su fracción amilácea (Maisch 1987).

Por otra parte la biomasa de la planta de maíz está constituida preponderantemente por celulosa y hemicelulosa y en menor proporción otros carbohidratos. La utilización de estos carbohidratos está siendo estudiada para la producción de etanol. El factor limitante es la hidrólisis de estos compuestos celulósicos en glucosa. Se está en la búsqueda de microorganismos que a nivel comercial sean capaces de hidrolizar eficientemente la celulosa de la planta de maíz y se piensa que la solución llegará por medio de la ingeniería genética. (Donley, 2006).

Proteína

El maíz se utiliza fundamentalmente como fuente de energía en la alimentación de monogástricos, pero puede hacer una contribución importante a los requerimientos proteicos, particularmente cuando interviene en una elevada proporción en la ración. Se dan cifras entre 8 y

10 % como contenido promedio de proteína en el grano de maíz. Por mejoramiento se obtuvieron valores de 25% (Wilson, 1987). La calidad de esta proteína no es la adecuada para monogástricos (incluido el hombre) particularmente en lo que se refiere a lisina y triptofano, sin embargo provee niveles adecuados de aminoácidos azufrados (Wright, 1987). La calidad proteica depende principalmente del genotipo. En cambio, la cantidad total depende tanto del genotipo como de factores ambientales (Cirilo y Andrade 1998). Sin embargo, el incremento de la cantidad total de proteínas, cuando ello ocurre por acción de factores ambientales, ocasiona un aumento desproporcionado de las zeínas (Cirilo y Andrade 1998). Esta fracción está prácticamente privada de lisina y triptofano por lo que un incremento relativo de ella conduce a una disminución de la calidad nutricional de la proteína total. El gen mutante opaco-2 ocasiona un incremento de la lisina y el triptofano del endosperma (Cirilo y Andrade 1998). Los materiales opaco-2 originales tenían menos rendimiento, más humedad a cosecha y menor resistencia a patógenos y al daño en la manipulación poscosecha (Alexander, 1988). El uso de genes modificadores del opaco-2 desembocó en la obtención de los maíces QPM (Quality Protein Maize). Estos materiales presentan niveles de lisina similares al opaco-2 pero tienen incrementada la proporción de endosperma vítreo (Cirilo y Andrade 1998).

Las proteínas del maíz, en especial las zeínas, tienen también aplicaciones no alimentarias. Estas van desde su transformación en fibra textil, su uso como encapsulante de fármacos y como filme para envasar alimentos frescos hasta su empleo como material de empaque (Cuq y col., 1998).

Aceite

Contenido

El aceite es un componente menor del grano de maíz siendo su concentración de alrededor del 5% (Watson 1988). Por selección se consiguió aumentar esa concentración hasta más del 20% (Alexander 1988). Por otra parte en materiales no mejorados, almacenados en el Banco de Germoplasma del INTA Pergamino, se detectaron niveles de aceite del orden de 9% (datos no publicados). La ventaja de maíces de alto aceite como materia prima para la industria aceitera no

está totalmente clarificada, particularmente en situaciones donde abunden especies oleaginosas que compitan en precio y presenten una calidad nutricional similar. Sin embargo, los maíces con alto contenido de aceite hacen un elevado aporte energético en las dietas animales y su empleo en bovinos y porcinos evita el agregado de aceite en la ración y permite una mayor eficiencia en el uso de hormonas de crecimiento (Cirilo y Andrade 1998). Además de su mayor aporte energético, los maíces de alto aceite ofrecen otra ventaja adicional frente a los convencionales: siendo su germen de mayor tamaño poseen un nivel más elevado de proteína de excelente calidad nutricional (Sell, 1997).

Composición acídica

La composición de ácidos grasos determina, en gran medida, la calidad del aceite de maíz. Una alta proporción de ácido linoleico es deseable por su baja actividad aterogénica siendo además un ácido graso esencial para los monogástricos (Watson 1988). Además, la provisión adecuada de ácido linoleico en las dietas de gallinas ponedoras contribuye a obtener un buen tamaño de los huevos (Alexander 1988). A su vez, un mayor contenido de ácido oleico, por ser más saturado, confiere al aceite mayor estabilidad a los procesos degradativos que ocurren durante el almacenaje y la cocción (Warner y Knowlton, 1997). Por otra parte, el alto contenido de oleico puede ser interesante cuando se alimentan cerdos con grano de maíz ya que los aceites con bajo grado de insaturación producen una grasa corporal más firme que aquellos más insaturados (Alexander, 1988).

La relación de ácido oleico a linoleico parece ser de herencia simple y la obtención de tipos con alto así como bajo contenido de oleico pareciera ser factible (Alexander, 1988). Esta afirmación avala lo informado por Eyhérabide y col. (1997), quienes estudiaron la composición de ácidos grasos en 12 híbridos simples de maíz sembrados en tres distintas fechas. El rango para el ácido oleico iba de 24,6 hasta 47,5 % como promedio de las tres fechas y las diferencias relativas entre genotipos se mantuvieron a través de los tres ambientes.

Dunlap y col. (1995) y Percibaldi y col. (1997) propusieron sendos métodos para acortar los tiempos de análisis de ácidos grasos por cromatografía gaseosa en maíz. De esta manera

se hace factible el manejo de mayor cantidad de muestras en los procesos de selección.

Carotenoides

Los carotenoides son constituyentes del grano de maíz que determinan aspectos de calidad. Los carotenos son precursores de la vitamina A y las xantofilas imparten un color deseable a la yema del huevo y la piel de los pollos parrilleros. Los carotenoides funcionan también como antioxidantes (Weber, 1987). La presencia de provitamina A y otros antioxidantes en el maíz son relevantes porque estos compuestos están asociados con la prevención de enfermedades degenerativas (Kurilich y Juvik, 1999). Dichos autores examinaron un conjunto de 44 maíces detectando una variabilidad que sugiere profundas diferencias entre los distintos genotipos de maíz para la cantidad y naturaleza de sus carotenoides

En algunos países europeos se pagaba un sobreprecio por el maíz tipo Plata de acuerdo con el contenido de carotenoides, pero el bajo costo de los pigmentos sintéticos había anulado esa ventaja de calidad. No obstante ello, la preocupación de los consumidores respecto de la utilización de productos sintéticos en las dietas humanas revitalizó la demanda de pigmentos de origen vegetal a principios de la década del 90 (Cirilo y Andrade 1998).

El contenido de pigmentos carotenoides es en promedio de 25-30 ppm para los maíces colorados flint y de 15-18 ppm en los dentados amarillos (Cirilo y Andrade 1998). Durante el almacenaje se pierde gran parte del contenido de dichos pigmentos. Es así que un maíz almacenado por un año en condiciones de chacra típicas en los Estados Unidos perdió alrededor del 90% de su actividad provitamínica A (Perry 1988).

La obtención de maíz con contenidos elevados de carotenoides parece posible; sin embargo se han efectuado pocos estudios sobre el modo de herencia de estos compuestos. Uno de los mayores problemas es que los métodos utilizados para cuantificar los carotenoides son largos y complejos (Weber, 1987). Konings y Roomans (1997) indican que la cromatografía en fase líquida constituye una alternativa adecuada para la determinación y caracterización rápida de carotenoides en vegetales.

Tocoferoles

La cantidad y tipo de tocoferoles presentes en el grano de maíz pueden considerarse un factor de calidad ya que ellos poseen actividad provitamínica E y a su vez son antioxidantes que protegen de la oxidación a las dobles ligaduras de los ácidos grasos insaturados (Alexander, 1988). Por otra parte hay indicios que estos compuestos intervienen en la prevención de enfermedades degenerativas (Kurilich y Juvik 1999). La cantidad y naturaleza de los tocoferoles varía ampliamente en los embriones de maíz. Se informaron variaciones de hasta un quíntuplo en la cantidad de tocoferoles. Asimismo se encontraron materiales que no poseían el isómero α- y otros que no contenían el γ-. Siendo estos dos isómeros los que mayor actividad provitamínica E presentan, se piensa que es probable obtener por mejoramiento maíces con concentraciones más altas de vitamina E variando las proporciones de los isómeros α- y γ- (Alexander, 1988).

Poscosecha

La calidad del grano obtenida en el proceso de producción primaria puede desmejorar sensiblemente en el lapso entre la madurez de cosecha y el momento de arribo del grano, como materia prima, a su destino de uso. La tecnología poscosecha apunta a eliminar o reducir sustancialmente esa pérdida de calidad.

La velocidad de respiración del grano es directamente proporcional a la temperatura y humedad del mismo. A mayor respiración ocurre un mayor aumento de la temperatura y la humedad, produciéndose un fenómeno de retroalimentación de manera que el proceso degradativo se acelera. El grano consume sus reservas y por lo tanto pierde peso. Además pierde poder germinativo, se acidifican las materias grasas y se generan las condiciones para el desarrollo de la microflora y los insectos dañinos (Viale, 1996). La presencia de hongos e insectos, además de afectar la calidad comercial del grano, inciden sobre su calidad de uso. Por ejemplo, los hongos producen

toxinas –llamadas micotoxinas- como productos de su metabolismo. Los animales, en especial los monogástricos y el hombre, son sensibles a esas toxinas que pueden provocar desde una disminución del crecimiento hasta la muerte (Viale 1996). La primer micotoxina detectada en granos almacenados fue la aflatoxina, que es producida por el hongo *Aspergillus flavus* (Viale 1996).

Básicamente, el proceso en las plantas de acopio está dividido en tres etapas que se cumplen consecutivamente:

- Descarga. Esta origina la formación de polvillo al chocar el grano entre sí o con las instalaciones metálicas o de mampostería. Además de la polución generada, el desgaste de los granos ocasiona una disminución de su peso (Viale ,1996).

- Acondicionamiento. En esta etapa –en la que se eliminan los granos quebrados, chuzos, malezas y cuerpos extraños- las máquinas de limpieza también producen pérdidas. Durante el secado, el exceso de temperatura del aire y el posterior enfriamiento violento, producen fisuras y fragmentación de granos que afectan la integridad de la mercadería. Por otra parte, los granos partidos son fácilmente atacados tanto por la microflora como por los ácaros e insectos (Viale, 1996). De Dios (1996) señala que en la Argentina se seca artificialmente, en promedio, el 79% de la cosecha de maíz, partiéndose habitualmente de un contenido de humedad de 22-24% y llegándose a alrededor de 14%, humedad ésta que se estima, en general, como limitante para el crecimiento de hongos, bacterias e insectos.

- Almacenamiento. En la tercera etapa se traslada el grano hasta silos de gran volumen donde mediante aireación de mantenimiento se procura conservarlo en buen estado -en ocasiones por varios meses- hasta su envío al destino final (Viale, 1996).

Para llevar a cabo las operaciones mencionadas, Puig(1997) recomienda prácticas que la investigación y la experiencia indican como las más adecuadas para mantener la calidad del grano de maíz a través de todo el proceso de poscosecha.

Industrialización

El maíz constituye la materia prima básica para diversas industrias. El consumo interno argentino

por parte de la molienda húmeda es de 1 millón de toneladas, mientras que la molienda seca consume unas 400.000 toneladas, pero tiene capacidad instalada para moler 600.000 toneladas anuales (Álvarez, 2006).

Alimentos balanceados

El maíz como grano interviene, en promedio, aproximadamente con el 50% en las raciones (Azcona 1999, comunicación personal). Además, subproductos de ciertas industrias del maíz también intervienen como ingredientes, p. ej.: corn gluten feed, corn gluten meal, residuos de industrias fermentativas, etc. (Wright, 1987). La calidad requerida por esta industria varía según el tipo de alimento a elaborar. Los fabricantes de alimentos avícolas requieren maíz de tipo colorado por su alto contenido de pigmentos (Freidenberg, 2000). Azcona y Schang (1994), a través de una serie de

experimentos, concluyen que la única diferencia claramente detectable entre maíces colorados y dentados radicó en la coloración producida en la piel de pollos parrilleros, en tanto que otros parámetros de calidad, tanto químicos como biológicos, estuvieron altamente influidos por las condiciones de cultivo del maíz. La producción de alimentos destinados a la actividad avícola representa el 75% del total (Argentina. SAGPyA. Dirección de Producción Agrícola 1997).

Molienda húmeda

La molienda húmeda es un proceso altamente sofisticado que por medios físicos y químicos separa los componentes del grano de maíz en una serie de productos útiles. Un diagrama del proceso y los productos obtenidos se observa en la Fig. 3. La calidad requerida por esta industria no se orienta hacia ningún tipo

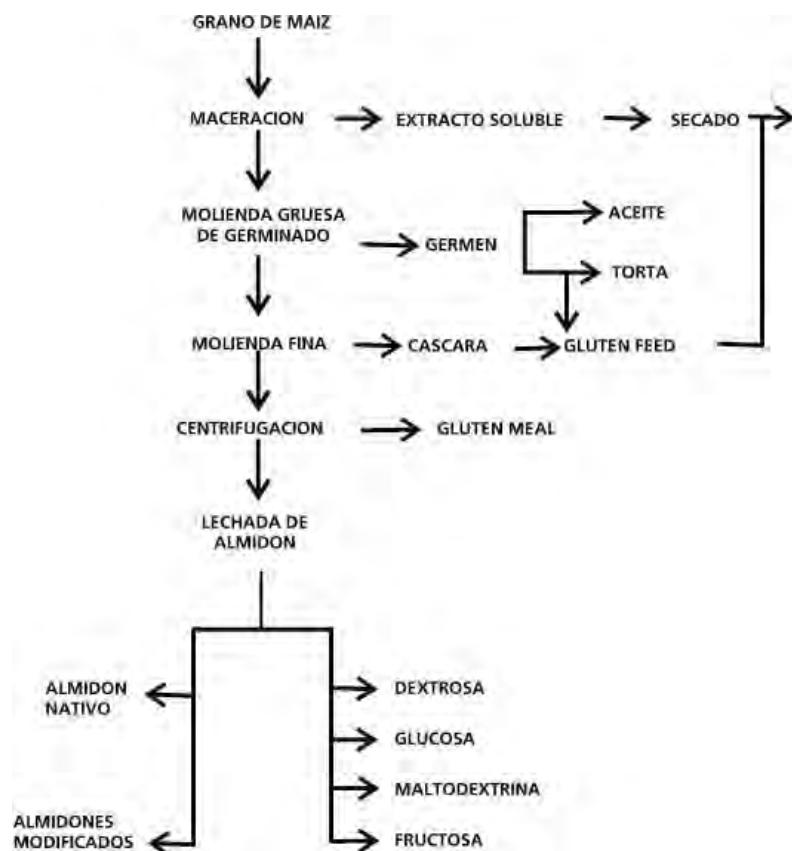


Figura 3. Diagrama general del proceso de molienda húmeda.

(«flint», dentado o semidentado) en particular, ya que el rendimiento industrial no resulta afectado, desde el punto de vista económico, por el uso de uno u otro. El menor tiempo de maceración que requiere el maíz dentado se ve compensado por la mayor pigmentación del «gluten meal» obtenida con el tipo colorado. La exigencia de calidad de esta industria se refiere principalmente a la homogeneidad de las partidas y a la contaminación por micotoxinas (Argentina. SAGPYA. Dirección de Producción Agrícola 1997, CAFAGDA 1997). Otro factor de calidad que recientemente está siendo foco de interés, por parte de algunas empresas del sector, es la detección de materia prima y productos elaborados transgénicos (Alvarez 1999, comunicación personal).

Productos

Almidones nativos y modificados

El almidón se modifica químicamente para alterar sus propiedades funcionales y así ampliar su campo de aplicaciones. Estas modificaciones son: adelgazamiento ácido, oxidación, «cross-linking», derivatización, sustitución y otras (Orthoeffer, 1987). Por otra parte existen tipos de maíces mutantes para almidón, tales como el waxy y el amilose extender, que también modifican las propiedades funcionales del almidón y por ende su espectro de usos. El almidón waxy retrograda lentamente y se usa en situaciones que exigen mantener un producto en estado pastoso un tiempo prolongado. El almidón amilose extender, por el contrario, retrograda más rápidamente que el normal y se utiliza cuando se requiere la formación rápida de un gel firme. Este tipo de almidones, cuyas propiedades funcionales están determinadas genéticamente durante su síntesis en la planta, sería más aceptable para uso alimentario, dada la actual preocupación de los consumidores por el agregado de productos químicos a los alimentos.

Los almidones nativos y modificados se usan en la industria de papel y cartón, textil, farmacéutica, alimentaria y otras.

Asimismo, el almidón es una materia prima deseable por la industria química por su disponibilidad a bajo costo y porque puede ser convertido en una variedad de productos

por medios químicos y bioquímicos. Se puede convertir en alcohol combustible por fermentación. Se ha investigado la alternativa de convertir al almidón en glucosa y ésta en polioles, aldehídos, cetonas, ácidos, ésteres y éteres. Los metilglucósidos preparados haciendo reaccionar glucosa con metanol demostraron ser promisorios para la fabricación de espumas rígidas. Se ha propuesto usar el almidón en la producción de plásticos porque es una fuente renovable y biodegradable (Orthoeffer, 1987) con la ventaja que su degradación no altera el balance de anhídrido carbónico atmosférico.

Fructosa

Desde el punto de vista cuantitativo, la fructosa es el producto derivado del almidón de mayor importancia en nuestro país, donde se producen alrededor de 250.000 t anuales en equivalentes de sacarosa (CAFAGDA 1997). La aceptación de este producto por la industria de bebidas gaseosas aceleró la producción de jarabes de alta fructosa y en 1985 el consumo de edulcorantes de maíz superó al de sacarosa en Estados Unidos (Watson 1988).

La fructosa se produce como jarabe, a dos niveles de concentración (42 y 55%), por hidrólisis del almidón y posterior conversión enzimática. El jarabe de 55% se usa principalmente en bebidas sin alcohol y aperitivos. El de 42% se emplea en bebidas gaseosas, alcohólicas, jugos, etc.; igualmente en tortas y galletas no sólo por su poder edulcorante sino también por sus cualidades como humectante y texturizador (CAFAGDA 2012).

Jarabe mezcla

Es un jarabe obtenido por conversión enzimática. Tiene un poder edulcorante medio y se usa en dulces y mermeladas, almíbar, helados, postres, galletitas y productos de panadería (CAFAGDA 2012).

Glucosa

Se obtiene por hidrólisis ácida o enzimática del almidón. Se la emplea juntamente con la sacarosa en caramelería, dulce de leche, mermeladas, helados, derivados lácteos, panificación y galletería (CAFAGDA 2012).

Dextrosa

Se obtiene por hidrólisis y despolimerización completa del almidón. Tiene numerosas aplicaciones en alimentos, especialidades medicinales, jugos y derivados lácteos entre otras (CAFAGDA 2012).

Maltodextrina

Es un polímero de la dextrosa. Sus cualidades están referidas a su baja higroscopidad, bajo poder edulcorante y buena solubilidad. Se emplea en la elaboración de alimentos para bebés, bebidas cítricas en polvo, caramelos, pastelería, sopas, caldos, jugos y derivados lácteos entre otros (CAFAGDA 2012).

Bioetanol

El almidón obtenido por molienda húmeda no es utilizado eficientemente por las levaduras para producir etanol. Es por ello necesario hidrolizarlo mediante catálisis ácida o enzimática para romper las uniones glucosa-glucosa y liberar el monómero. Llevada a cabo esta etapa se inocula la levadura que producirá el etanol mediante fermentación. Finalizada la fermentación el producto obtenido de alrededor de 14° debe destilarse para obtener el etanol de 98° (Donley, 2006).

Coproductos

Aceite y torta

Del germen de maíz se extrae un aceite que es reconocido como uno de los de mejor calidad, superior ésta a la mayoría de los obtenidos de las oleaginosas (CAFAGDA 2012). Como residuo queda una torta rica en proteína y otros nutrientes que se usa en alimentación animal (Wright 1987).

Gluten meal

Está constituido por la fracción proteica que se separa de la lechada de almidón en la centrifugación. Se emplea principalmente en la alimentación de aves. Contiene alrededor de 60% de proteína y la mayor parte de los pigmentos carotenoides del grano original.

Gluten feed

Está compuesto por la porción fibrosa del grano, las proteínas solubilizadas en la maceración y la torta de extracción del aceite. Contiene un mínimo de 21% de proteína, aporta aminoácidos y vitaminas y se usa para alimentación de ganado (CAFAGDA 2012).

Incidencia de las variedades y los lugares de producción

Mouraux y col. (1994) midieron la tasa de recuperación de almidón (rendimiento industrial)

sobre grano de cuatro variedades de maíz producidas en tres diferentes lugares. Una de las variedades mostró siempre las más altas recuperaciones. Las diferentes condiciones ambientales no se vieron reflejadas en las propiedades almidoneras de los maíces así producidos.

Molienda seca

El grano de maíz está constituido por las siguientes partes principales: pericarpio, germen y endosperma. El proceso de molienda seca (Fig. 4) apunta a una completa separación de estas partes hasta donde sea económicamente factible, (i) produciendo la máxima cantidad de endosperma cárneo como trozos discretos, (ii) removiendo tanto como sea posible el germen y pericarpio para dar un producto de baja grasa y baja fibra; (iii) recuperando la mayor proporción posible de germen como trozos grandes y limpios (Watson, 1988).

Esta industria prefiere el maíz colorado duro por los mayores rendimientos en «grits» de tamaño adecuado a diferentes aplicaciones (cervecería, snack, extrusión, etc.) y por la coloración anaranjada, preferida para los «grits» destinados a la preparación de polenta (Freidenberg, 2000). No obstante, aunque con menores rendimientos, puede adaptar sus procesos y maquinarias a otros tipos de maíz.

El diagrama de la Fig. 4 es una sobreimplementación, ya que las separaciones no son perfectas y las fracciones obtenidas deben ser remolidas, reclasificadas y retamizadas. Cabe aclarar que en nuestro país utilizan la etapa de degenerminado solamente algunos molinos (Marquetti 1999, comunicación personal). Aquellos que no poseen degenerminadora separan por tamizado y aspiración, luego de la molienda, el germen junto con el pericarpio y las fracciones más finas de endosperma, dando un producto que contiene 10-12% de proteína y 6-7 % de materia grasa y que se usa en alimentación animal (Marquetti 1999, comunicación personal).

Algunas especificaciones nacionales para ciertos productos obtenidas en la molienda seca son (Marquetti 1999, comunicación personal):

Polenta: La malla de 1340 mm retiene 11,40%; la de 1180 retiene 32,40 y pasa por ella 56,20; la de 1050 retiene 11,20 y pasa 45; la de 710 retiene 18,40 y pasa 26,60; el máximo de materia grasa es 2%.

«Grits» de cervecería y extrusión: el 93% pasa la malla de 710 mm. El contenido de materia grasa debe ser < 1 %.

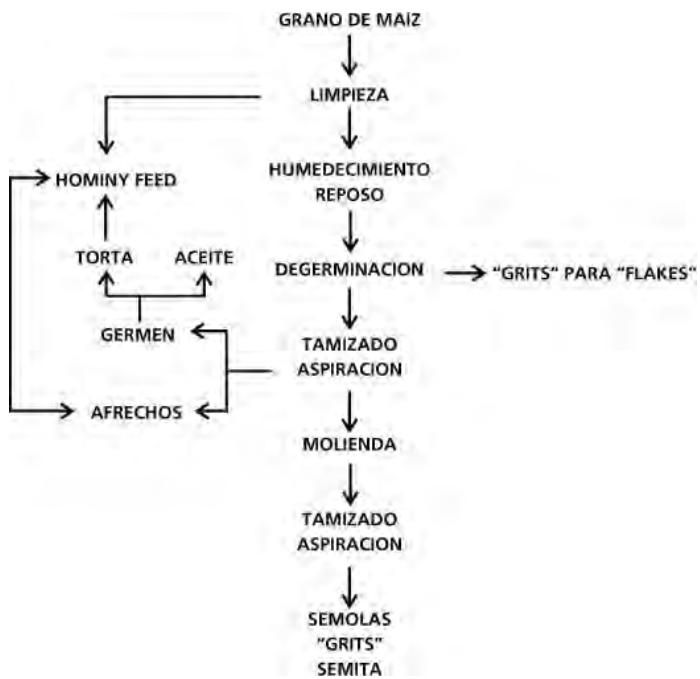


Figura 4. Diagrama general del proceso de molienda seca.

Semita: pasa la malla de 280 mm. Este producto se usa para alfajores, sebos raticidas, sustituto de harina de tapioca, etc.

«Grits» para «corn flakes»: salen de la degeminadora con un tamaño aproximado a la mitad del endosperma.

Bioetanol

Para la obtención de etanol por molienda seca los granos de maíz se muelen hasta una granulometría fina. La harina así obtenida debe sufrir previamente una cocción en medio acuoso para que el almidón se hidrate y gelatinice y sea más susceptible a la acción de las enzimas hidrolíticas. La glucosa formada por hidrólisis constituye el sustrato para la levadura que la fermentará y producirá el etanol. El producto de la fermentación debe concentrarse mediante su destilación. Como residuo de la fermentación queda un producto más concentrado en proteína y otros nutrientes que el maíz original y el cual es usado en alimentación animal. (Maisch 1987, Donley 2006).

Variabilidad genética e influencias ambientales

Se encontró que los rendimientos industriales en sémolas y otras fracciones gruesas variaban de un 40 a 60% entre distintos genotipos (Baron, 1994).

El lugar y año de producción tienen influencia sobre el rendimiento semolero, pero el orden relativo entre variedades de acuerdo con dicho parámetro permanece constante (Gautier, 1994). El estrés hídrico no afectó el valor semolero de diversas variedades aunque se hayan visto afectados el rendimiento a campo y el peso y tamaño de los granos (Lacroix ,1994). Mannino y col. (1994) analizaron diversos híbridos comerciales cultivados en varios países europeos entre 1990 y 1992 con diferentes niveles de fertilización nitrogenada. Una conclusión de los autores es que la fertilización nitrogenada permite mejorar la calidad molinera del maíz solamente cuando el nitrógeno es limitante. Estos resultados son congruentes con lo informado por Governori y Uhart (1997) en cuanto a que la fertilización nitrogenada incrementa el índice de dureza del grano hasta cierto límite luego del cual dicho índice se estabiliza.

Conclusiones y Tendencias

La palabra «calidad» aplicada al maíz es una propiedad multifacética y está determinada por numerosos factores. Algunos de estos factores, como el clima y el suelo, son inmodificables. Sin embargo, es posible la modificación en otros tales como el cultivar, las prácticas culturales así

como las de manejo y transporte poscosecha para mejorar o al menos mantener los niveles de calidad del grano.

Actualmente se observa una tendencia hacia la producción de materiales con características de calidad diferenciada para satisfacer los variados aspectos de la demanda. Estas características están directamente asociadas con el uso final del producto y justifican su comercialización con identidad preservada en contraposición al grueso de la producción que lo hace como «commodity».

Los progresos en la utilización del maíz dependerán de la nueva información que se produzca sobre las interrelaciones de las propiedades biofísicas, bioquímicas y biológicas del grano con sus características funcionales y su comportamiento industrial y sobre cómo inciden sobre dichas propiedades el genotipo, el ambiente de cultivo y el manejo pre y poscosecha. Los nuevos conocimientos surgirán como resultado de investigaciones multidisciplinarias conducidas por bioquímicos, fitomejoradores, agrónomos, fisiólogos, tecnólogos de alimentos, ingenieros, biotecnólogos, etcétera.

Bibliografía

- Abdelrahman, A.A. y Hoseney, R.C. 1984. Basis for hardness in pearl millet, grain sorghum and corn. *Cereal Chemistry*. 61:232-235.
- Alexander, D. E. 1988. Breeding special nutritional and industrial types. En: *Corn and Corn Improvement*. G. F. Sprague and J. W. Dudley, eds. American Society of America, Inc., Crop Science Society of America, Inc., Soil Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA. Pp. 869-880.
- Álvarez, A. 2006. Aplicaciones del maíz en la tecnología alimentaria y otras industrias. In: *Maíz y nutrición*. ILSI, 80 páginas. Pag. 9 a 13.
- Argentina. SAGPYA. DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA. 1997. Calidad y destino del maíz argentino. En: Argentina. INTA. Cambio Rural. Guía Práctica para el Cultivo del Maíz. Campaña 1997. Buenos Aires. Pp. 181-182.
- Azcona, J. O. y Schang, M. J. 1994. Valoración biológica de distintos tipos de maíz para su utilización en la alimentación de aves. Agroindustria. Balanceados Argentinos. 12(78):6-35.
- Baron, M. 1994. Le mais semoulier, mise en place d'une filière de valorisation, l'expérience du group LIMAGRAN. En: Colloque Qualité et Débouchés du Maïs. Bordeaux. 20-21 de setiembre. Sec. 6-1.
- CAFAGDA. 1997. Cámara Argentina de Fabricantes de Almidón, Glucosa, Derivados y Afines. Informe de: actividades, situación actual y perspectivas. s. n. t. 30 p.
- CAFAGDA. 2012. Cámara Argentina de Fabricantes de Almidón, glucosa y derivados. <http://www.cafagda.com.ar>
- Cirilo, A. G. y Andrade, F. H. 1998. Maíz. En: *Calidad de Productos Agrícolas. Bases ecofisiológicas, genéticas y de manejo agronómico*. Aguirrezaibá, L. A. N. y Andrade, F. H., eds. Unidad Integrada Balcarce. Pp. 76-136.
- Cuq, B.; Gonhardt, N. y Guilbert, S. 1998. Proteins as agricultural polymers for packaging production. *Cereal Chemistry*. 75(1):1-9.
- De Dios, C. A. 1996. Secado de granos y secadoras. Serie: *Tecnología Postcosecha* 11. FAO. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile.
- De Dios, C. A.; Puig, R. C. y Robutti, J. L. 1990. Caracterización de la calidad del maíz argentino. Pergamino. Estación Experimental Agropecuaria. Informe Técnico Nº. 241. 12 p.
- De Dios, C. A.; Puig, R. C. y Robutti, J. L. 1992. Tipificación de maíces por algunos caracteres de sus granos. Pergamino. Estación Experimental Agropecuaria. Informe Técnico Nº. 265. 12 p.
- Dombrink-Kurtzman, M. A. y Knutson, C. A. 1997. A study of maize endosperm hardness in relation to amylose content and susceptibility to damage. *Cereal Chemistry*. 74:776-780.
- Donley, C. A. 2006. The future of grain ethanol. *World Grain*. 24(8):52:56
- Dunlap, F. G.; White, P. J.; Pollak, L. M. y Brumm, T. J. 1995. Fatty acid composition of oil from adapted, elite corn breeding materials. *Journal of the American Oil Chemist's Society*. 72:981-987.
- Duviau, M. P. y Kobrehel, K. 1994. Reactivité des groupes -SH et S-S des protéines résiduelles d'amidon de différentes origines européennes. En: *Colloque Qualité et Débouchés du Maïs*. Bordeaux. 20-21 de setiembre. Sec. 5-5.
- Eckhoff, S. R.; Rausch, K. D.; Fox, E. J., Tso, C. C.; Wu, X.; Pan, Z. y Buriak, P. 1993. A laboratory wet-milling procedure to increase reproducibility and accuracy of product yield. *Cereal Chemistry*. 70:723-727.
- Eyhérabide, G. H.; Robutti, J. L.; Puig, R. C. y Luqui, B. 1996a. Caracterización de la calidad física del grano de cultivares argentinos de maíz. Pergamino. Estación Experimental Agropecuaria. Informe Técnico Nº 313. 16 p.
- Eyhérabide, G. H.; Robutti, J. L. y Borrás, F. S. 1996b. Effect of near-infrared transmission-based selection on maize hardness and the composition of zeins. *Cereal Chemistry*. 73:775-778.
- Eyhérabide, G. H.; Percibaldi, N. M.; Borrás, F. S. y Robutti J. L. 1997. Variabilidad en la composición de ácidos grasos en cruzamientos simples de maíz. En: VI Congreso Nacional de Maíz. Pergamino. 12-14 de noviembre. Pp. IV1-IV4
- Eyhérabide, G., F. Borrás, M. Percibaldi, A. Farroni, J. Robutti, A. Di Martino, D. Presello, Lorea R. 2007. Physical and biochemical grain quality characterization in maize cultivars from Argentina. First Latinoamerican Conference of ICC. Rosario, Septiembre de 2007.
- Freidenberg, L. 2000. La opción del maíz colorado. *Forrajes y Granos*. 56:114-117.
- Gautier, X. 1994. Incidence des variétés et du lieu sur les propriétés en semoulerie. En: *Colloque Qualité et Débouchés du Maïs*. Bordeaux. 20-21 de setiembre. Sec. 3-2.
- Geetha, K. B.; Lending, C. R.; Lopes, M. A.; Wallace, J. C. y Larkins, B. A. 1991. opaque-2 modifiers increase ?-zein synthesis and alters its spatial distribution in maize endosperm. *The Plant Cell*. 3:1207-1219.
- Governatori, S. y Uhart, S. A. 1997. Efecto de la disponibilidad de nitrógeno sobre la calidad física de los granos de cultivares de maíz liberados en diferentes épocas. En: VI Congreso Nacional de

- Maíz. Pergamino. 12-14 de noviembre. Pp. III46-III53.
- Hourquescos, M. J.; Eyhérabide, G. H.; Robutti, J. L.; Percibaldi, N. M. y Borrás; F. S. 1999. Características de interés industrial en híbridos simples de maíz. Pergamino. Estación Experimental Agropecuaria. Informe Técnico N° 320. 12 p.
- Konings, E. J. M. y Roomans, H. H. S. 1997. Evaluation and validation of an LC method for the analysis of carotenoids in vegetables and fruit. *Food Chemistry*. 59:599-603.
- Kurilich, A. C. y Juvik, J. A. 1999. Quantification of carotenoids and tocopherol antioxidants in *Zea mays*. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 47:1947:1955.
- Lacroix, B. 1994. Effet de l'alimentation en eau sur les propriétés technologiques des grains. En: Colloque Qualité et Débouchés du Maïs. Bordeaux. 20-21 de setiembre. Sec. 3-6.
- Leath, M. N. y Hill, L. D. 1987. Economics of production, marketing and utilization. En: *Corn: Chemistry and Technology*. S. A. Watson and P. E. Ramstad, eds. AACC. St. Paul, Minnesota, USA. Pp. 201-252.
- Maisch, W. 1987. Fermentation. In: *Corn: Chemistry and Technology*. S.A. Watson and P. E. Ramstad, eds. AACC. St. Paul, Minnesota, USA.
- Maizar. 2012. Proyecto calidad de maíz. <http://www.maizar.org.ar/documentos/calidad.pdf>
- Mannino, M.; Girardin, P. y Ledent, J. 1994. Effet de la nutrition azotée sur les propriétés technologiques des grains. En: Colloque Qualité et Débouchés de Maïs. Bordeaux. 20-21 de setiembre. Sec. 3-5.
- Mazhar, H. y Chandrashekar, A. 1995. Quantification and distribution of kafirins in the kernels of sorghum cultivars varying in endosperm hardness. *Journal of Cereal Science*. 21:155-162.
- Mazzoni, M. R. y Robutti, J. L. 1990. Evaluación de un método de predicción de rendimiento industrial de almidón de maíz. Pergamino. Estación Experimental Agropecuaria. Informe Técnico N° 233. 7 p.
- Moro, G. L.; Lopes, M. A.; Hubbell, J. E; Hamaker, B. R. y Larkins, B. A. 1995. Phenotypic effects of opaque-2 modifier genes in normal maize endosperm. *Cereal Chemistry*. 72:94-99.
- Mouraux, D.; Evgenidis, G. y Marine, A. 1994. Incidence des variétés et du lieu de production sur les propriétés amidonnères. En: Colloque Qualité et Débouchés du Maïs. Bordeaux. 20-21 de setiembre. Sec. 3-1.
- Neryng, A. y Reilly, P. J. 1984. Laboratory wet milling of ensiled corn kernels. *Cereal Chemistry*. 61:8-14
- Orthoeffer, F. T. 1987. Corn starch modification and uses. En: *Corn: Chemistry and Technology*. S. A. Watson and P. E. Ramstad, eds. AACC. St. Paul, Minnesota, USA. Pp. 479-499.
- Paulis, J. W.; Bietz, J. A.; Felker, F. C. y Nelsen, T. C. 1992. Evaluating quality protein maize genotypes by reversed-phase high-performance liquid chromatography. En: *Quality Protein Maize*. E. T. Mertz, ed. Am. Assoc. Cereal Chem. St. Paul, MN. Pp. 122-140.
- Percibaldi, N. M.; Borrás, F. S. y Robutti, J. L. 1997. Método rápido de extracción y metilación para determinar ácidos grasos en mejoramiento genético del aceite de maíz. En: VI Congreso Nacional de Maíz. Pergamino. 12-14 de noviembre. Pp. IV5-IV8
- Perry, T. W. 1988. Corn as a livestock feed. En: *Corn and Corn Improvement*. G. F. Sprague and J. W. Dudley, eds. American Society of America, Inc., Crop Science Society of America, Inc., Soil Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA. Pp. 941-963.
- Pratt, R. C.; Paulis, J. W.; Miller, K.; Nelsen, T. y Bietz, J. A. 1995. Association of zein classes with maize kernel hardness. *Cereal Chemistry*. 72:162-167.
- Puig, R. C. 1997. Poscosecha, acondicionamiento y almacenaje. En: Argentina. INTA. Cambio Rural. Guía Práctica para el Cultivo del Maíz. Campaña 1997. Buenos Aires. P. 178.
- Robutti, J. L. 1995. Maize kernel hardness estimation in breeding by near-infrared transmission analysis. *Cereal Chemistry*. 72:632-636.
- Robutti, J. L.; Borrás, F. S. y Colazo, J. C. 1994. Las zeinas de alto contenido de azufre y su relación con la textura endospermica del maíz. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. 25:105-114.
- Robutti, J. L.; Borrás, F. S. y Eyhérabide, G. H. 1997. Zein composition of mechanically separated coarse and fine portions of maize kernels. *Cereal Chemistry*. 74:75-78.
- Robutti, J. L.; Borrás, F. S.; Ferrer, M. E.; Percibaldi, N. M. y Knutson, C. E. 2000. Evaluation of quality factors in Argentine maize races. *Cereal Chemistry*. 77(1):24-26
- Rooney, L. W. y Serna-Saldívar, S. O. 1987. Food uses of whole corn and dry-milled fractions. En: *Corn: Chemistry and Technology*. S. A. Watson and P. E. Ramstad, eds. AACC. St. Paul, Minnesota, USA. Pp. 399-429.
- Sell, J. 1997. High-oil corn for poultry. En: *High Oil Corn Test. 1997 Iowa Gold Catalog*. Iowa State University Extension Service. 14 p.
- Seetharaman, K.; Tziotis, A.; Borrás, F.; White, P. J.; Ferrer, M. y Robutti, J. 2001. Thermal and functional properties of starch from Argentinean corn. *Cereal Chemistry*. 78:379-386.
- Viale, J. A. 1996. Factores que constituyen y afectan al ecosistema del almacenamiento. Marcos Juárez. Estación Experimental Agropecuaria. Información para Extensión N° 38. 12 p.
- Wallace, J. C.; Lopes, M. A.; Paiva, E. y Larkins, B. A. 1990. New methods for extraction and quantitation of zeins reveal a high content of ??zein in opaque-2 maize. *Plant Physiology*. 92:191-196.
- Warner, K. y Knowlton, S. 1997. Frying quality and oxidative stability of high-oleic corn oil. *Journal of the American Oil Chemist's Society*, 74:1317-1322.
- Watson, S. A. 1987a. Structure and composition. En: *Corn: Chemistry and Technology*. S. A. Watson and P. E. Ramstad, eds. AACC. St. Paul, Minnesota, USA. Pp. 53-82.
- 1987b. Measurement and maintenance of quality. En: *Corn: Chemistry and Technology*. S. A. Watson and P. E. Ramstad, eds. AACC. St. Paul, Minnesota, USA. Pp. 125-183.
- Watson, S. A. 1988. Corn marketing, processing and utilization. En: *Corn and Corn Improvement*. G. F. Sprague and J. W. Dudley, eds. American Society of America, Inc., Crop Science Society of America, Inc., Soil Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA. Pp. 881-940.
- Weber, E. 1987. Lipids of the kernel. En: *Corn: Chemistry and Technology*. S. A. Watson and P. E. Ramstad, eds. AACC. St. Paul, Minnesota, USA. Pp. 311-349.
- Wilson, C. M. 1987. Proteins of the kernel. En: *Corn: Chemistry and Technology*. S. A. Watson and P. E. Ramstad, eds. AACC. St. Paul, Minnesota, USA. Pp. 273-310.
- Wright, K. N. 1987. Nutritional properties and feeding values of corn and its by-products. En: *Corn: Chemistry and Technology*. S. A. Watson and P. E. Ramstad, eds. AACC. St. Paul, Minnesota, USA. Pp. 447-478.

12. MERCADO MUNDIAL Y ARGENTINO DE MAÍZ¹

Reinaldo Muñoz²

Estación Experimental Agropecuaria INTA
Pergamino

Indice

El Contexto internacional	253
La demanda de alimentos y energía, un nuevo escenario en el mercado de granos	253
Proyecciones de usos del maíz en energía renovable	254
Proyecciones de elevados precios del maíz y de los alimentos	255
El fondo alcista de los precios se amplía al mercado financiero y al petróleo	256
Los costos de los fletes modifican el comercio	257
Las tasas de cambio declinantes respecto al dólar	257
Dinamismo del mercado de exportación de maíz	258
El dinamismo del maíz entre los granos forrajeros	258
Los ciclos de acumulación y mermas de las existencias	262
Principales países productores y exportadores	263
Principales países importadores	265
Principales países consumidores	266
Resumen de la matriz de oferta mundial	267
Las exportaciones de los países competidores: EEUU, Brasil, China y Unión Europea	268
Proyecciones mundiales de maíz para el quinquenio 2008/09-2013/14	268
Proyecciones del maíz para la Argentina para el quinquenio 2008/09-2013/14	270
Resumen de las características y proyecciones del mercado mundial de maíz	271

1 Estudio realizado por PROYECTO NACIONAL MERCADOS AGROPECUARIOS Y AGRO INDUSTRIALES 62 302430

2 Reinaldo Muñoz, Dr. Jefe Estudios Económicos INTA Pergamino.

El contexto nacional	272
Características generales	272
Evolución del rendimiento	272
Evolución del área y de la producción	276
La evolución del área, producción y productividad del cultivo de maíz por provincias	276
Localización y estacionalidad	282
Análisis de la comercialización	282
Los principales países de destino de las exportaciones argentinas de maíz	284
Consumo interno	285
Estructura del mercado interno	286
La industrialización del maíz	287
La industria de molienda húmeda y seca	287
Formación del precio	287
Formación del precio FOB	288
Formación del precio FAS	290
Aspectos económicos del cultivo	291
Los márgenes brutos y netos	291
Los márgenes brutos históricos de maíz	292
El estándar comercial argentino	294
Calidad comercial del maíz argentino	295
Factores que afectan la competitividad del maíz argentino	295
Resumen y conclusiones	296
Bibliografía	296

El Contexto Internacional

La demanda de alimentos y energía; un nuevo escenario en el mercado de granos.

El mundo se enfrenta a una nueva realidad que una década atrás no estaba en los cálculos de muchos gobiernos, organizaciones, analistas y proyecciones de mediano a largo plazo. Los dos temas actuales y para el futuro de la humanidad serán: los alimentos y la energía. Si bien ambos estaban en la agenda de los organismos internacionales, como el Banco Mundial, la OCDE (Organización de Cooperación para el Desarrollo Económico) y el USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos).

En los estudios y proyecciones, no se preveía que la tasa de crecimiento económico mundial se podría sostener por largos períodos de tiempo, presionando a las demandas básicas. Tampoco que a raíz del alza del petróleo, se impulsaran los planes de energías renovables, con agresivas metas de crecimiento y uso de bio combustibles en todo el mundo.

Los reportes especializados proyectaron para la próxima década (2007/12)³, un crecimiento económico mundial del cuatro por ciento de la economía, apoyados en tres grandes bloques consumidores: China, India y África. Sólo China ha reconocido en Davos⁴ que para sostener su tasa de crecimiento económico anual (9% a 10%) incorporaría 24 millones de empleos por año, 24 millones de nuevos consumidores con capacidad suficiente para sostener la demanda mundial de soja, maíz, aceites y de proteínas animales. Similares proyecciones para otras regiones y países, contribuyeron a generar una fortísima demanda mundial de bienes básicos y agroalimentarios.

La demanda de energía mundial, desde varias décadas se basa fuertemente en el petróleo, un recurso natural no renovable, finito en el tiempo, con tendencia a disminuir y según

algunos estudios en pocas décadas más. Los diagnósticos y las proyecciones resultan cada vez más severos por la disminución de la producción mundial de petróleo y por el elevado nivel de consumo por parte de los países, especialmente los más desarrollados. A partir del protocolo de Kyoto se sumaron a las restricciones al consumo, las medidas a favor del medio ambiente y los esfuerzos por reducir la emisión de CO₂ y evitar el proceso de calentamiento global⁵.

Para compensar la caída constante de la producción de recursos energéticos no renovables hizo su aparición en esta última década la producción de energía a partir de recursos naturales renovables. La lista de los mismos resulta muy amplia incluyendo a aquellos biocombustibles que aún requieren investigación y desarrollo. Pero, en el corto plazo, se concentraron en el biodiésel, cuyas materias primas básicas son en el aceite de soja, aceite de colza y aceite de palma; o en el etanol, que utilizan como materias primas cultivos como el maíz y la caña de azúcar.

Prácticamente todos los países venían trabajando en el uso de las energías renovables, pero pasaron a anunciarlas en sus políticas como un objetivo central y aumentaron fuertemente sus proyecciones. Por ejemplo, para el 2020, China anunció un aumento de 50%, y la proyección de los Estados Unidos fue un 20% de reducción de uso de petróleo en diez años, que sería compensada con energía renovable. Brasil, la Unión Europea, y otros países incluyeron en sus políticas internas cortes obligatorios en los combustibles de origen fósil con biocombustibles, elaborados a partir de recursos naturales renovables. Por ejemplo, a partir del maíz o de los aceites de soja y de otros materiales diversos, incluyendo a la biomasa y el aprovechamiento de materiales reciclables.

Algunos reportes señalaron a nivel mundial un nuevo dilema; de alimentos “versus” energía, y otros como “alimentos más energía”. Las posiciones se refieren a la racionalidad de las medidas, dado que pueden entrar en conflicto si se requiere en poco tiempo priorizar el etanol

³ Informe Agricultural Outlook 2007-2016 de OECD-FAO. “los biocombustibles mantendrán altos los precios de los granos por varios años”.op cit.

⁴ Foro Económico Mundial realizada en Davos 2008.

⁵ Foro mundial energético. ICP CSA, 2007.

acorde a la demanda enorme de gasolina. En el corto plazo, priorizar energía renovable significa relegar alimentos y viceversa. Si hay racionalidad, el maíz y la soja, además de etanol y de aceites generan subproductos que se pueden utilizar en la alimentación de ganado vacuno y en producciones de cerdo y avícolas. Las posibilidades de complementos, en plazos más largos, resultan igualmente promisorias y extensas.

Se trata de dos grandes demandas que parten de una matriz de origen similar, la calidad de vida del ser humano (mayor consumo de energía y de alimentos) pero que han adquirido dinámicas muy diferenciadas. A) La energía no renovable de extracción y de un consumo enorme y distorsionado, al extremo de provocar actualmente deterioro ambiental. B) Los alimentos que parten del uso de los recursos naturales con cosechas anuales y/o producciones extendidas en más de un año, cierta estabilidad de su producción y consumo, acorde al crecimiento poblacional y su capacidad de compra.

Si juntamos a ambas en un nueva demanda, la energía no renovable tiene horizontes inciertos y soluciones aún desconocidas, siendo el debate más importante para el futuro de la humanidad. La energía renovable, apoyada en la agricultura, incorpora a sus factores adversos más conocidos (suelos acotados, vegetales, recursos limitados y adversidades climáticas), que generan producción variable en distintos países y regiones del mundo, con años de fuertes caídas en la producción.

En resumen, el contexto mundial de demandas de la energía y de alimentos ha generado un escenario diferente al de los años previos, del cual se desprenden algunos lineamientos fundamentales.

- Para el mediano plazo, si el mundo continúa con las actuales tasas de crecimiento económico, la demanda de alimentos y de energía seguirán en aumento.
- En el corto plazo, el crecimiento de la demanda mundial de energía no puede ser compensado por el aumento de la producción.
- Los mercados mundiales de agro

alimentos siguen con una tendencia sostenida a firme de los precios y reflejan una situación que ya lleva un par de años sin poder revertirse.

- Se produce una sostenida caída de las existencias finales de los granos, ajustando cada vez la relación stocks/consumo y dando nuevos elementos alcistas para el mercado.
- Esta situación puede extenderse para ciclo 2008/09 y probable para los años subsiguientes.

En este escenario, la Argentina, país con un saldo agro exportador muy importante, tiene una inmejorable oportunidad de posicionarse entre los principales países exportadores de alimentos y de energía.

Proyecciones de usos del maíz en energía renovable

El informe Agricultural Outlook 2007-2016 de OECD-FAO, documento elaborado por ambos organismos internacionales, confirmó que la creciente demanda de commodities por parte de las industrias del etanol y del biodiesel generó un cambio estructural en el mercado. Además, proyectó que en los próximos años, a partir del crecimiento de ésta demanda bionergética, los precios internacionales de los granos se mantendrán elevados.

Se estimó que la producción de etanol en EE.UU. se duplicará entre 2006 y 2016. "Esta expansión excedería en gran medida los requerimientos establecidos en la Renewable Fuel Standard (RFS)" El informe prevé que el uso de maíz con destino a etanol, que en 2006 fue de 55 millones de toneladas (Mt), superaría las 80 en 2007 para alcanzar casi 100 Mt en el año 2009.

En la Unión Europea (UE-27) la Biofuels Directive estableció para el 2010 un uso objetivo de 5,75% de biocombustible en el consumo total de combustibles. Sin embargo, dicha participación para el transporte no excedería el 3,30%. No obstante se prevé que entre 2006 y 2010 el consumo de aceites vegetales con destino a biodiesel (básicamente de colza) prácticamente se duplique de 8,0 a 15,5 Mt. El uso de trigo forrajero con destino a etanol crecería hasta alcanzar 18 Mt en 2016.

Por su parte, en China se espera que el uso de maíz con destino a etanol, que en 2006 habría sido de 3,5 Mt, alcance en 2016 las 9,0 Mt.

Tales predicciones, obviamente, son válidas si la economía mundial no ingresa en los próximos años en un ciclo recesivo de orden global (aunque el informe de OECD-FAO no prevé que ocurra tal fenómeno).

En los resúmenes y conclusiones se indicó que los principales beneficiarios de estas previsiones, serían Brasil y Argentina. La producción de cultivos oleaginosos en dichos países y en Sudamérica, continuará creciendo con traslados de pasturas a cultivos agrícolas. La producción de soja de Sudamérica ha crecido al 3,9% promedio anual, y las exportaciones de poroto soja han superando a las de los EE.UU. consolidándose como primer exportador global de poroto soja y de subproductos elaborados de su molienda como, las harinas y los aceites.

Proyecciones de elevados precios del maíz y de los alimentos

El aumento del precio del maíz mundial es un hecho destacado con un fuerte impacto en los demás granos, las raciones y los alimentos. Desde septiembre de 2006 cuando cotizaba en Chicago a 85 u\$s/t, pasó durante gran parte de 2007 a 150 u\$s/t, y hacia marzo de 2008 a 225-230 u\$s/t.

Este mercado tiene una influencia directa en los puertos exportadores de los EEUU, llevando las cotizaciones para la exportación FOB en el Golfo de México a no menos de 240 a 250 u\$s/t. Si bien los precios no se han estabilizado, las hipótesis sobre sus bajas forman parte del escenario del mercado de granos, pero se supone no lo harían a los valores históricos, que se situaban entre 80 a 100 u\$s/t, sino se sostendrían en un rango más elevado y por algún tiempo superior a un ciclo agrícola.

Un efecto importante del precio del maíz fue el impulso que éste provocó sobre los demás granos, por ser el cereal forrajero de mayor volumen de producción y de comercio mundial. Esto ha generado por efecto sustitución un impulso de precio sobre los demás granos forrajeros, incluyendo al trigo y a los cereales menores. Este alcance se extendió además, a las harinas proteicas derivadas de la soja y/o

de otras semillas oleaginosas, ingredientes de las raciones, valorizando fuertemente a las oleaginosas en su conjunto.

El efecto sustitución en mayor o menor medida entre los granos y los suministros forrajeros es ampliamente conocido y tiende a ser reflejado, en gran escala, a través de las relaciones de precios básicas entre los granos.

Las relaciones de precios, causaron más preocupación y controversia especialmente en las economías de los EEUU y latinoamericanas, donde los precios son las herramientas esenciales de la toma de decisiones de los productores para corregir las superficies de siembras y las distribuciones entre las mismas. Los precios pueden reflejar, por ejemplo para los EEUU, relaciones cortas pro maíz impulsadas por las demandas domésticas y por la producción de biocombustibles, pero éstas pueden ser contrarias a las que podrían prevalecer en otras regiones del mundo, según la crisis alimentaria y agro alimentarias que se observan.

En los Estados Unidos durante 2007 se utilizó el 30% de la producción del maíz para biocombustibles. Según datos de la FAO desde 2003 a 2008 se duplicó el uso mundial de maíz para biocombustibles y prevé que hasta 2016 la demanda aumentará doce veces. Hay elementos fundamentales por los que “pensamos se van a mantener los precios altos por lo menos otros diez años”, Cárdenas, Emilio J (2007) embajador ante la ONU⁶.

El precio del maíz encareció también el precio de los alimentos y de las raciones para las producciones de animales, e indirectamente al precio de la carne y de la leche destinados al consumo humano.

Del lado de los países importadores y consumidores de maíz, la FAO señaló una gran preocupación por el paulatino encarecimiento de la alimentación para gran parte de las economías en desarrollo. Los datos proporcionados por la FAO revelaron que los gastos en 2007 aumentaron el 40% con respecto a los de 2006. Los Países de Bajos Ingresos con Déficit de Alimentación (PBIDA) pagaron por alimentos importados un 25% más que el año anterior, una cifra superior a los 107.000 millones de dólares.

⁶ Concepción Calpe, economista en jefe de la FAO, comunicación a la BCC

Este organismo proporcionará una ayuda de 17 millones de dólares y la aprobación de los países miembros, para entrega de bonos a los agricultores para que adquieran directamente las semillas y los fertilizantes para su autoconsumo.

Los elevados precios del maíz son un debate de la actualidad agrícola mundial (2008) pero tienen un alcance superior a la visión de los países productores y exportadores del cereal, donde en general han sido buenas noticias para el sector rural. Sin embargo, los elevados precios del cereal representaron una preocupación internacional, donde el encarecimiento del maíz, sus derivados y los efectos sobre otros granos generaron crisis de abastecimiento de alimentos en países menos desarrollados.

El fondo alcista de los precios se amplia al mercado financiero y al petróleo

En los mercados agrícolas las subas y bajas de precios resultan frecuentes en las últimas décadas. Usualmente los precios altos suelen durar un período corto de tiempo, en comparación con los precios bajos, que suelen persistir durante varios meses o años.

La situación de los mercados agrícolas en 2007 y 2008 parece resultar diferente a los ciclos anteriores. En primer lugar los precios altos se han prolongado por casi 18 meses (septiembre 2006 a marzo 2008), excediendo por primera vez a una campaña agrícola. En segundo lugar no sólo aumentaron los precios mundiales de algunos pocos productos sino de casi todos los productos básicos más importantes, tanto alimentarios como forrajeros. En tercer lugar, el alza de los precios internacionales de cultivos alimentarios, tales como los cereales, continúa propagándose en toda la cadena de valor/suministro de alimentos, contribuyendo al aumento de los precios al por menor de alimentos básicos como el pan, la carne y la leche. En cuarto lugar, pocas veces se ha experimentado en el mundo una preocupación por la inflación de los precios de los alimentos

tan generalizada y compartida sobre los precios de los productos agrícolas tanto en los países importadores como exportadores (FAO, 2007).

El auge de los precios ha ido acompañado de una volatilidad (alta variabilidad) creciente, especialmente en los sectores de los cereales y las semillas oleaginosas⁷. En general, cuando escasea la oferta en cualquier mercado de producto básico, suele aumentar la volatilidad de los precios. La situación actual difiere de las anteriores en el sentido de que ha durado más de un año, y en que hay una incertidumbre mayor por causa de relaciones más estrechas con otros mercados. La tendencia ascendente de los precios internacionales agrícolas se atribuye no sólo a la escasez de dichos suministros, sino también a otras *commodities*, y a las relaciones entre éstos y el sector financiero.

Las políticas orientadas al mercado están incorporando progresivamente los activos agrícolas a las oportunidades financieras, para lograr una mayor diversificación de la cartera y menores riesgos. Esto se produce en un contexto en que los mercados financieros están experimentando un crecimiento muy rápido por la abundancia de liquidez a escala internacional. Esta se produce por los rendimientos económicos favorables que se registran en casi todos los países, principalmente entre las economías emergentes, por las bajas tasas de interés y por los altos precios del petróleo. Estas circunstancias han generado grandes caudales de dinero para inversiones (particulares, empresas, fondos, etc.) en los mercados que utilizan instrumentos financieros vinculados al funcionamiento de los mercados de productos agrícolas, como los de futuros y de opciones. El auge de los mercados financieros está impulsando la asignación de activos y la atención de los especuladores, buscando disminuir sus riesgos y obtener ingresos más lucrativos. La afluencia de liquidez influirá seguramente en los

⁷ Los mercados de Futuros Chicago y otros han ampliado las garantías en los contratos para ajustar el sistema de compensaciones diarias, se aumentaron las variaciones máximas permitidas. CBT (2008).

mercados al contado subyacentes, lo que a su vez afectará a las decisiones de los agricultores, comerciantes y elaboradores de productos agrícolas.

El aumento de los precios del petróleo (112 u\$/t barril marzo 2008) es un factor que contribuye a subir los precios de la mayor parte de los cultivos agrícolas. Se aumentan los costos de los insumos y se impulsa a la demanda por cultivos agrícolas que generan materia prima para la producción de fuentes de energía alternativa (biocombustibles). El crecimiento de la industria de biocombustibles se explica por las políticas nacionales que apuntan a reducir las emisiones de gases a la atmósfera y al calentamiento global. Pero el alza de los precios del combustible y los intentos de reducir la dependencia del petróleo importado han constituido un incentivo especial para que muchos países optaran por ambiciosos objetivos de producción de bio energía, difíciles de lograr. Los precios elevados del petróleo, junto al deseo de resolver los problemas ambientales, constituyen el motivo principal de la expansión de los biocombustibles.

Es probable que este impulso dure varios años, especialmente para la demanda de materias primas como azúcar, maíz, colza, soja, aceite de palma y otros cultivos oleaginosos, pero mucho dependerá también de las condiciones de la oferta y la demanda dentro del mismo sector de los biocombustibles.

Los costos de los fletes modifican el comercio

Las tasas de flete marítimo para los mercados agrícolas han llegado a ser un factor más importante que en el pasado. El aumento de los costos del combustible, los medios limitados para el transporte marítimo, la congestión de los puertos y las rutas comerciales más largas han hecho subir los costos de embarque. El índice de fletes de carga seca del Báltico, que mide los costos de embarque de los productos a granel, había superado en octubre de 2007 los 10.000, un 80% más que el año anterior.

Los valores máximos de los fletes no sólo aumentan los gastos de transporte, sino que generan ramificaciones en la orientación

geográfica del comercio. La mayor parte de los países optaron por importaciones a países más cercanos para evitar los gastos de transporte. Esto ha provocado una reducción notable de la integración del mercado mundial, con precios a escala regional o local que no coinciden con los niveles mundiales (FAO, 2007).

Según las tarifas de fletes y tipos de barcos, el costo de fletar una tonelada de grano entre el Golfo de México y Japón rondaría 82 u\$s/t, adicionando gastos y seguros de puertos y de barcos puede alcanzar entre 95 a 115 u\$s/t. Esto significaría cerca del 50% del precio de maíz para embarque marzo de 2008 en puertos del Golfo de México, de alrededor de 225 u\$s/t.

La desvalorización del dólar

Las fluctuaciones de los tipos de cambio normalmente ejercen una gran influencia en los mercados internacionales, en particular en los mercados agrícolas, de menor valor unitario. Esto se ha magnificado en los últimos tiempos, siendo un factor explicativo en la formación de los precios agrícolas. Desde 2005, el descenso del dólar de los EEUU con respecto a la mayoría de las monedas ha abaratado las importaciones procedentes de ese país y ha impulsando a la demanda de sus productos exportables. Dado que los precios de los granos se expresan también en esa moneda, el debilitamiento del dólar ha contribuido a generar alzas en los puertos estadounidenses. Esto se transmite a los demás puertos exportadores, generando una cotización en alza en dólares para casi todos los precios de los granos y de otros productos exportables.

El aumento de los precios dominados por el dólar afecta diversamente a los compradores (importadores) internacionales, en función de cómo varió el valor de su moneda en relación con el dólar. El hecho de que el dólar se haya desvalorizado de forma pronunciada frente a todas las monedas principales atenua el impacto real del aumento de los precios mundiales. Esta es una razón por la cual la demanda mundial de importaciones se mantuvo muy activa con pocos signos de racionamiento, a pesar de los elevados precios de los granos, entre ellos del maíz.

Se puede concluir que, el principal factor que crea incertidumbre en los mercados agrícolas es saber cómo influirán en la dirección y magnitud de las variaciones de los precios los vínculos con otros mercados, sobre todo con los mercados no agrícolas como el petróleo. La volatilidad en los precios representará un obstáculo importante en las decisiones que han de tomar los agricultores de todo el mundo.

Dinamismo del mercado de exportación de maíz

Durante las últimas décadas y en relación al comportamiento global del comercio internacional, el de maíz ha observado – a priori - un crecimiento inferior al de la producción y del consumo. El dinamismo menor del comercio, indicaría, que la tendencia al autoabastecimiento ha sido una prioridad en las fronteras de los países.

El comportamiento de los algunos países líderes en el consumo como China e India, han reducido sus excedentes para la exportación con motivo de privilegiar su creciente consumo. Más reciente, el uso creciente de maíz para usos industriales y bio combustibles en los EEUU, principal consumidor mundial, podría continuar esta tendencia.

Para analizar la evolución del comercio mundial de maíz, su utilizó la relación entre el volumen del comercio y del uso total para el período 1978/2007. Se puede observar que entre 1980 a 1987 declinó desde el 19,5% a 11,0%. Se mantuvo estable muy bajo hasta el ciclo 2004 y en el 2007, retomó a un 12,30% (Cuadro 1).

Para igual período, utilizando la **tasa de crecimiento acumulativa anual**⁸, el comercio de exportación mostró un crecimiento modesto que fue de 0,91%, muy por debajo del consumo total que cuya tasa fue de 2,27%. Esto indicaría que una mayor parte del dinamismo del mercado de maíz ocurrió fronteras adentro de los países y una porción menor utilizando el abastecimiento vía en el comercio internacional.

8 La tasa de crecimiento acumulativa anual se determina por la estimación lineal bajo la forma logarítmica. Tasa % aa = Valor Futuro = VAactual $(1 + r)^N$, donde r = tasa, N período de años.

Algunos cambios importantes se produjeron en forma más reciente. Para el período 2000/2007 se aceleró el crecimiento del comercio y el consumo total, cuyas tasas fueron de 3,47% y 3,37%, respectivamente. Sin embargo se mantuvo la relación comercio/uso total, en no más del 12,3% del consumo total.

Para el caso del maíz, el balance en el período analizado mostró que la tasa anual de crecimiento del uso total fue 2,27% superior a la de la producción (2,14%), con lo cual, se redujeron el crecimiento del stock (0,25%) y de la relación stock/uso total (-1,95%).

El dinamismo del maíz entre los granos forrajeros.

El maíz, después del arroz y del trigo es el principal alimento básico de los países en desarrollo. Sin embargo sólo la quinta parte del uso mundial del cereal se destina al consumo humano, siendo mayormente utilizado como forraje o alimento animal (FAO, 2003). El maíz ocupa el primer lugar en el volumen de la oferta mundial de los granos forrajeros, que incluyen además al sorgo, avena, cebada, centeno, cereales menores y mijo. Durante las últimas décadas, el maíz ha registrado un aumento en su participación tanto en el área cultivada, como en la producción, y en el comercio internacional de dichos granos.

Entre 1980 y 2007 el área cultivada total con granos forrajeros (maíz, sorgo, cebada, centeno, avena, mijo y cereales menores) mostró una evolución negativa, disminuyendo de 340,7 a 315 millones de hectáreas. El área de maíz creció de 131 a 152 millones, mientras el resto de los granos forrajeros excluido el maíz, declinó de 210 a 158 millones de hectáreas.

El dinamismo del crecimiento del maíz a expensas de los demás granos forrajeros, se observa para el área cultivada, el rendimiento, la producción, la exportación, el consumo e inclusive los stock.

Para medir su evolución en el período 1980/2007, se utilizaron las figuras y las tasas de crecimiento acumulativa anual. Si bien las últimas varían por períodos, la tasa

Cuadro1. Indicadores Mercado Mundial de Maíz en millones de toneladas. Tasas de Crecimiento.

	Area Mill ha	Rinde tn/ha	Produ cción	Expor tación	Racio nes	Uso Total	Stock Final	Stock/ uso %	Exp/U Tot %
1978/79	126	3,1	392,1	67,1	247	378	91,4	24,2	17,5
1979/80	127,3	3,3	425,6	73,2	277,1	405,8	111,2	27,4	17,7
1980/81	131,2	3,1	408,7	77,8	279,2	417,9	102,5	24,5	19,5
1981/82	133	3,3	441,8	66,9	286,1	417,1	127,2	30,5	16,0
1982/83	125,2	3,5	439,9	63,2	293,5	417,3	149,8	35,9	15,1
1983/84	119,7	2,9	348,3	61,1	271,1	409,1	89	21,8	14,9
1984/85	129	3,6	458,4	66,1	289,5	429,2	118,2	27,5	15,4
1985/86	131	3,7	479	53,8	284,3	419,5	177,7	42,4	12,8
1986/87	131,9	3,6	475,4	56,9	304,6	448,3	204,9	45,7	12,7
1987/88	127,2	3,5	451	58,8	316,5	458,3	197,5	43,1	12,8
1988/89	126,3	3,2	400,9	66	306,8	453,2	145,2	32,0	14,6
1989/90	127,5	3,6	462	74,5	324,8	474,4	132,8	28,0	15,7
1990/91	129,4	3,7	482,1	58,8	318,5	473,7	141,2	29,8	12,4
1991/92	132,7	3,7	493,2	63	334,4	493,6	140,9	28,5	12,8
1992/93	133,3	4	536,1	62,6	348,8	512,5	162,5	31,7	12,2
1993/94	130,9	3,6	476	57,4	342,1	509,3	129,3	25,4	11,3
1994/95	135,3	4,1	559	71,9	371,3	535,4	152,9	28,6	13,4
1995/96	134,9	3,8	516,1	64,8	365,1	536,3	132,7	24,7	12,1
1996/97	141,7	4,2	592,9	66,7	387,6	560	165,6	29,6	11,9
1997/98	136,3	4,2	574,2	63,1	401,1	573,7	166,2	29,0	11,0
1998/99	139,3	4,3	605,8	68,7	404,6	581,1	190,9	32,9	11,8
1999/00	139	4,4	607,6	72,3	422,9	604,9	193,6	32,0	12,0
2000/01	137,2	4,3	590,7	75,9	427,9	610	174,3	28,6	12,4
2001/02	137,9	4,4	600,2	72,8	436,2	623,5	151	24,2	11,7
2002/03	137,9	4,4	603,3	76,9	433,1	628,1	126,2	20,1	12,2
2003/04	142	4,4	627,3	79,1	445,1	648,9	104,6	16,1	12,2
2004/05	145	4,9	714,8	76	473,4	688	131,4	19,1	11,0
2005/06	145,6	4,8	696,3	82,6	476,3	704	123,7	17,6	11,7
2006/07	148,1	4,8	704,3	90,9	472,4	721,8	106,2	14,7	12,6
07/08.03	157,1	4,9	770,2	95,1	490,9	772,3	104	13,5	12,3
Tasa 78/07%	0,57	1,58	2,14	0,91	2,29	2,27	0,27	-1,95	-0,84
Tasas									
80/90	-0,06	1,23	1,17	-0,96	1,52	1,52	3,54	1,99	4,91
90/00	0,67	1,83	2,44	2,04	2,97	2,52	3,13	0,59	-2,65
00/07	1,79	2,07	3,91	3,47	2,05	3,37	-6,01	-9,07	-0,47

Fuente: elaborado base USDA FAS y WASDE (2008) Marzo

acumulativa anual para todo ese período revela una tendencia y permite arribar a las siguientes conclusiones. El crecimiento negativo del área cultivada con Otros Granos Forrajeros (-1,36%) (sorgo, avena, mijo, centeno y cebada, en adelante OGF, se comprueba y contrastó con la tasa de crecimiento del maíz, positiva en +0,6%. (Figura 1). Hacia el último ciclo, se alcanzó prácticamente la igualdad entre ambas áreas por primera vez en la historia. Se puede concluir que la siembra de maíz ocupa en 2008, la mitad del área cultivada total de los granos forrajeros.

El rendimiento del maíz versus OGF resume las ganancias de productividad, siendo para todo el período de 1,58% contra 0,56% respectivamente. En este aspecto, hay una

enorme diferencia atribuida a los programas y el desarrollo de variedades de maíz, donde se han registrado eventos resistentes a insectos y a herbicidas, creando una generación de cultivares denominados biotecnológicos. Para los OGF, los avances han sido más lentos y en algunos casos nulos, con un progreso genético muy inferior.

El crecimiento de la producción de maíz fue sostenido, alcanzando para 1980/2007 una tasa de crecimiento de 2,23% mientras que las de los OGF fue negativa en -0,82%. Expresado en volumen, para 1980 la relación Maíz/OGF era de 1,29 para alcanzar en 2007, una relación de 2,7 es decir superó la duplicación (Figura 2).

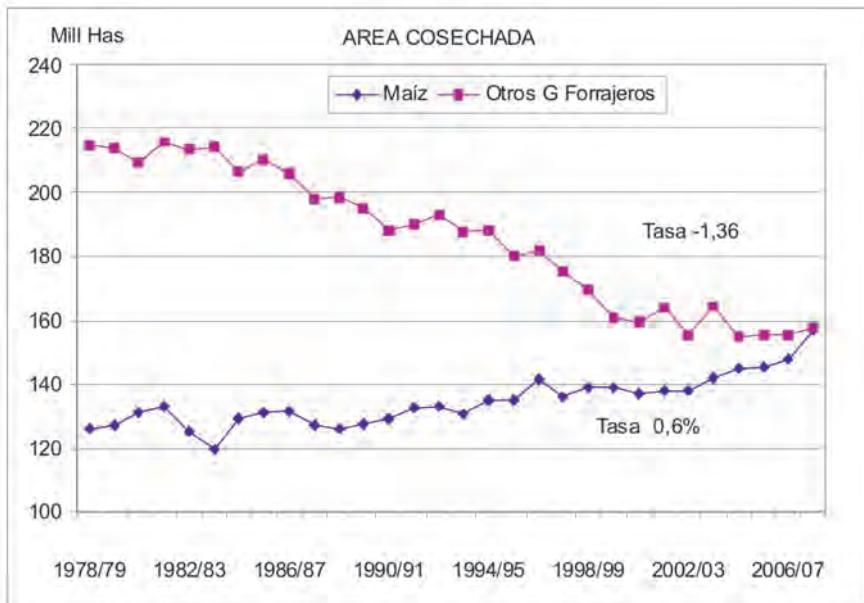


Figura 1. Área cosechada mundial de Maíz y otros granos forrajeros. Millones de hectáreas

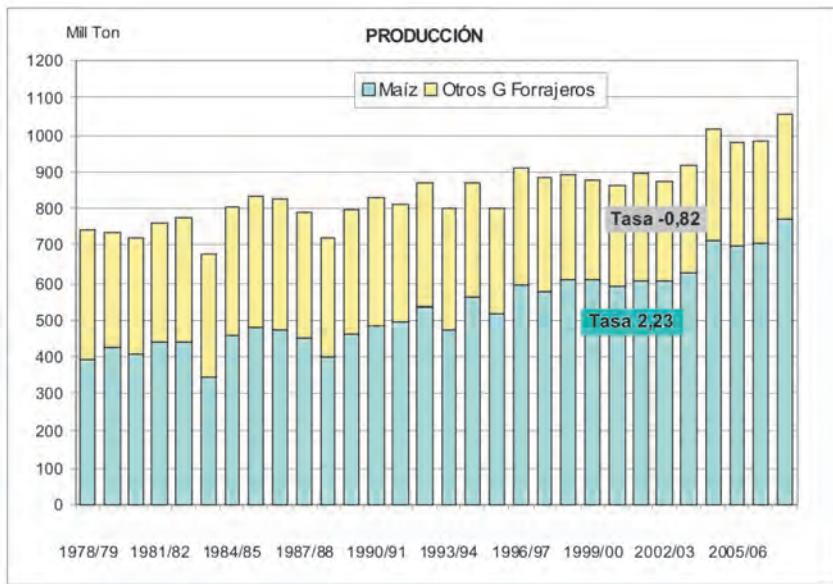


Figura 2. Producción mundial de Maíz y otros granos forrajeros. Millones de toneladas.

Fuente: elaborado base USDA (2008)

El crecimiento del consumo o uso total de maíz, tiene gran paralelo con la producción, alcanzando para 1980/2007 una tasa de crecimiento de 2,31% mientras que las de los OGF fueron negativas en -0,75%. Expresado en volumen, para 1980, la relación maíz/OGF era de 1,3 para alcanzar en 2007 a una relación de 2,65 es decir, también se duplicó.(Figura 3).

Con respecto al comercio de exportación, la tasa de crecimiento de maíz fue de 1,15% contra los OGF -0,84%. Hacia el último ciclo 2007/08, la preeminencia del maíz en el mercado de exportación resulta notable, dado que sobre 95 millones de toneladas exportados de maíz, los OGF exportaron apenas 26 millones, siendo las de maíz 3,65 veces mayor (Figura 4).

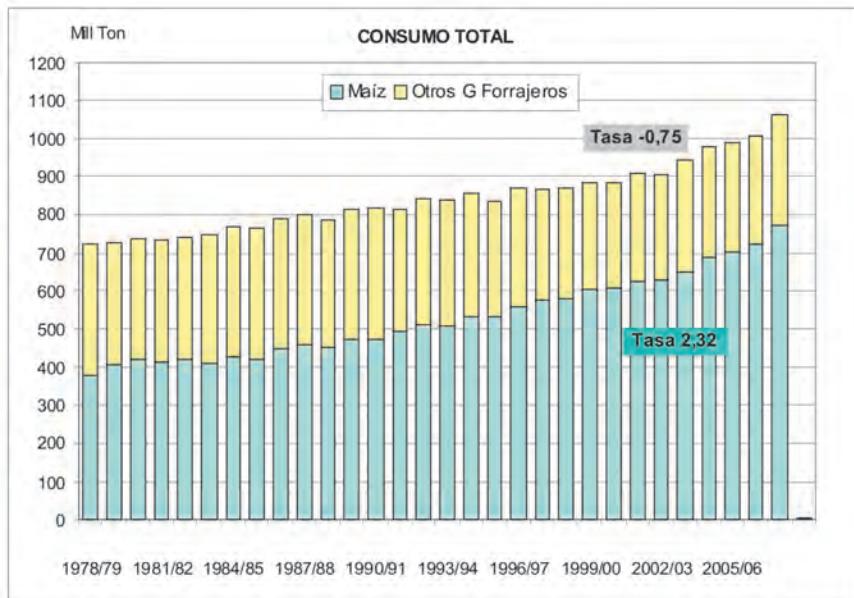


Figura 3. Consumo mundial de Maíz y otros granos forrajeros. Millones de toneladas.

Fuente: elaborado base USDA (2008)

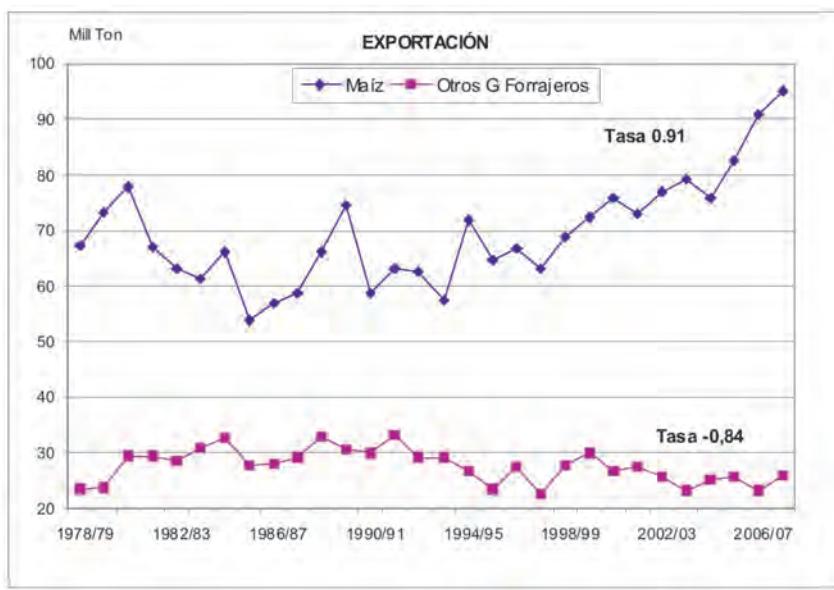


Figura 4. Comercio Mundial de Maíz y otros granos forrajeros. Millones de toneladas.

Fuente: elaborado base USDA (2008)

Sabiendo que se pueden plantear varias explicaciones, el fenómeno de mayor dinamismo del maíz entre los granos forrajeros queda bien retratado por los datos y figuras expuestas. Se atribuye como causa principal de este cambio al mayor incremento en la productividad de maíz como consecuencia de las innovaciones tecnológicas. Expresión de esa importancia del maíz respecto a los demás granos

forrajeros para la temporada 2007/08, es que con el 50% del área cultivada, la producción mundial de maíz ascendía a 770 millones de toneladas, siendo más del 76% de la producción total de los granos forrajeros de 1051 millones de toneladas (USDA 2008). En forma similar, la participación del maíz es más relevante en el comercio mundial de los granos forrajeros, ya que el volumen de las

exportaciones de maíz 2007/08 fue de 95 millones de toneladas, un 79% sobre el total de los granos forrajeros de 118,9 millones de toneladas (USDA 2008).

Una comparación por períodos entre el maíz y resto de los granos revela que las diferencias de tasas de crecimiento se acentuaron en el último período 2000/07, poniendo en evidencia que este fenómeno resulta reciente y por lo tanto, podría continuar a tasas más aceleradas que el promedio (Cuadro 2). Si se realizan proyecciones de las tasas de crecimiento para cada indicador, se advierte en un futuro no muy lejano una fuerte concentración en este cereal y una falta progresiva de diversidad entre dichos suministros.

coyuntural la situación de sobreoferta estructural del mercado mundial. También, a partir de los cambios introducidos en la Ley Agrícola estadounidense, en 1985 se limitó el crecimiento del área sembrada y de la producción maicera de ese país, permitiendo un significativo ajuste de las existencias mundiales y una reversión en la tendencia experimentada por los precios del maíz en el mercado mundial.

Durante la década de 1990, se produjo una corrección de aquella situación en razón de los cambios producidos en las políticas de producción de los EE.UU. y de la Unión Europea, especialmente en lo referido a la reticencia de sus gobiernos a financiar y costear grandes

Cuadro 2. Tasas de crecimiento anual de Área, rinde, producción, consumo y stock, de Granos Forrajeros y de Maíz Mundial. Período 1980/2007.

Ciclo	GForr Maíz	Área	Rinde	Produc ción	Expor tación	Uso total	Stock
80/90	OGF	-1.20	1.75	0.53	0.33	0.69	3.38
80/90	Maíz	-0.06	1.22	1.17	-0.96	1.52	3.54
90/00	OGF	-1,85	-0.33	-2.58	-1.42	-2.09	-3.54
90/00	Maíz	0.67	1.83	2.44	2.04	2.52	3.13
00/07	OGF	-0,46	0.67	0.20	-1.18	0.70	-6.11
00/07	Maíz	1.79	2.07	3.91	3.47	3.37	-6.01
80/07	OGF	-0.56	0.55	-0.82	-0.84	-0.75	-1.72
80/07	Maíz	0.43	1.63	2.23	1.15	2.32	-0.18

Los ciclos de acumulación y mermas de las existencias

Durante la primera parte de la década de 1980, el mercado mundial de maíz se caracterizó por registrar un incremento de la oferta mundial a una tasa superior a la variación del consumo mundial. Esta situación derivó en un aumento de los niveles de existencias absolutas y relativas al consumo y en una caída de los precios. Así se alcanzó en el ciclo 1986/87, la relación stock/consumo de 45,7%, la más alta de las últimas décadas y en contraste, los precios más bajos del periodo (INTA 2008). Durante la segunda parte de la década de 1980, las sequías que afectaron al cultivo en los Estados Unidos en 1983/84 y 1988/89 corrigieron en forma

excedentes de granos. La producción continuó creciendo en mayor armonía con la demanda final del producto hasta colocar el comercio de exportación en el orden de 70 a 90 millones de toneladas y la relación stock/uso cercana a un 25%.

Para fines de 1995/96 se produjo un nuevo ciclo de estrechez debido a una caída de la producción y a una demanda firme que redujeron la relación stock/utilización al 24,7%. Esto ocasionó un fuerte incremento de los precios, llevando a nuevos niveles máximos de producción y de consumo en las temporadas sucesivas. Este ciclo concluyó en 1999/2000 con los registros más altos de la relación stock/utilización (por sobre 32%).

Finalmente en la década de 2000 se inició un nuevo período caracterizado por un incremento leve de la producción, un consumo creciente y una reducción de los stock mundiales que llevaron a

los indicadores técnicos y la proyección del ciclo 2007/8 como uno de los ciclos históricos más ajustados (14%), por debajo de la relación stock/utilización crítica de 20% que indica la FAO como “emergencia alimentaria”¹⁰.

Con la excepción de la temporada 2004/05 caracterizada por condiciones ambientales muy favorables que se tradujeron en rendimientos máximos mundiales y de los EEUU, se alcanzó por primera vez una producción de 715 millones de toneladas y un uso total de 688 que permitió cierta recomposición de los stocks y una relación Stock/uso cercana a 19%.

Para la temporada 2006/07 y particularmente para la 2007/08, los precios actuaron como impulsores de las expectativas de la siembra que alcanzaron un máximo de 157 millones de hectáreas y una producción récord de 770 millones. Sin embargo el consumo alcanzó aristas excepcionales al situarse por arriba de la producción (772 millones de toneladas), creando una nueva contracción de las existencias finales.

La campaña del “etanol” donde los precios fueron impulsados por las novedades de esta demanda, llevó a una nueva necesidad de incrementar la producción para acompañar el crecimiento espectacular de la demanda. La

relación stock/uso llegó a 13.5%, el valor más bajo de los últimos 34 años, claramente por debajo del límite crítico de emergencia alimentaria (FAO, 2005)

La proyección del 2007/08 completó un nuevo cuadro fundamental de estrechez y de alza en los precios, que requiere proyectar nuevos incrementos en la producción mundial del próximo ciclo o de reducir el consumo, lo que aparece como muy difícil en el ciclo 2008/09 (Cuadro 1).

Principales países productores y exportadores

El mercado mundial de maíz se caracteriza por una fuerte concentración de la producción en pocos países y consecuentemente también de su oferta exportable. Durante el ciclo 2007/08, el principal país productor fue EEUU, que participó en más del 42% del total mundial, mientras que las exportaciones de dicho origen representaron cerca del 66% del comercio mundial de maíz. Le siguieron en orden decreciente como 2, 3 y 4º países productores China (145 Mt), Brasil (50 Mt) y la Unión Europea 25 (47,4 Mt). Para el mismo ciclo, la participación de la Argentina en la producción fue el 6º país con 22,5 Mt (Cuadro 3, Figura 5). Sin embargo, la Argentina, con 16 Mt se

Cuadro 3. Principales países productores de maíz. En millones de toneladas. 1990/2007

AÑO	Mundo	EEUU	China	Brasil	UE27	México	Argentina	India
1990	482.090	201.534	96.820	24.330	23.523	14.100	7.600	8.700
1991	493.215	189.868	98.770	30.800	28.298	14.689	10.600	9.000
1992	536.052	240.719	95.380	29.200	30.284	18.631	10.200	9.200
1993	475.959	160.986	102.700	32.934	30.557	19.141	10.000	8.800
1994	558.985	255.295	99.280	37.440	28.464	17.005	11.360	9.600
1995	515.858	187.970	112.000	32.480	29.224	17.780	11.100	10.500
1996	592.552	234.518	127.470	35.700	34.794	18.922	15.500	10.800
1997	573.800	233.864	104.300	30.100	38.522	16.934	19.360	11.000
1998	605.725	247.882	132.954	32.393	35.300	17.790	13.500	12.100
1999	607.462	239.550	128.086	31.641	36.404	19.240	17.200	1.800
2000	590.500	251.850	106.000	41.536	37.823	17.920	15.400	12.500
2001	599.700	241.377	114.088	35.501	50.142	20.400	14.700	13.500
2002	603.000	227.767	121.300	44.500	49.360	19.280	15.500	14.500
2003	627.245	256.278	115.830	42.000	47.905	21.800	15.000	14.980
2004	714.762	299.914	130.290	35.000	66.471	22.050	20.500	14.180
2005	696.369	282.311	139.365	41.700	61.158	19.500	15.800	14.710
2006	703.851	267.598	145.480	51.000	54.652	22.000	22.500	14.980
2007	766.716	332.092	145.000	50.000	47.369	23.200	22.500	16.300

Fuente: Elaborado base USDA (2008)

¹⁰ Límites de emergencia alimentaria en granos y aceites.

FAO, 2005. Perspectivas alimentarias, 2015.

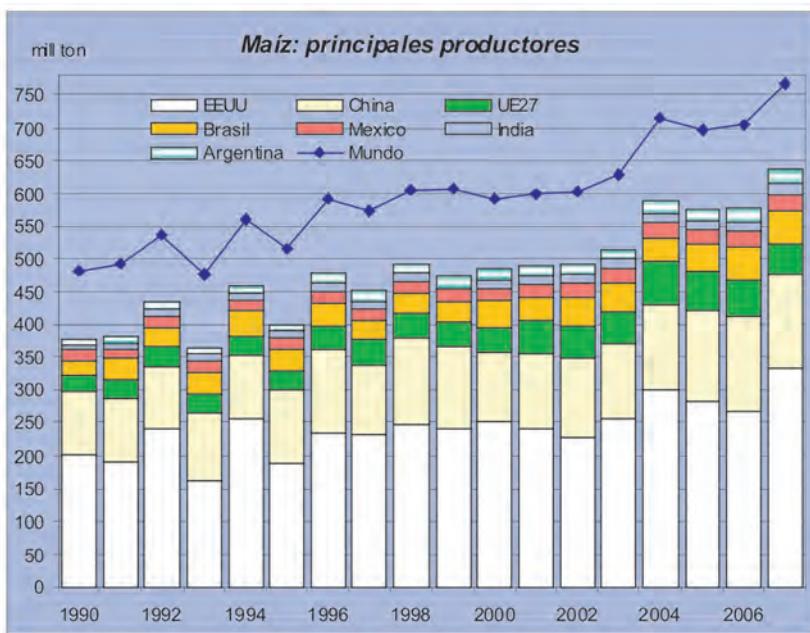


Figura 5. Principales países productores de maíz. En millones de toneladas. 1990/2007

CUADRO 4. Principales países exportadores de maíz. En millones de toneladas. 1990/2007

Año	Mundo	EEUU	Argen tina	Brasil	Paraguay	Ucrania	China	Sudafrica	India	UE-27
1990	64.54	43.86	4.00	0.00	0.20	0.50	6.88	0.90	0.40	0.60
1991	68.79	40.23	6.07	0.00	0.20	0.50	9.97	0.00	0.30	0.70
1992	69.98	42.25	4.75	0.01	0.30	0.50	12.62	1.20	0.10	0.73
1993	66.55	33.74	4.10	0.00	0.40	0.50	11.80	4.45	0.10	0.99
1994	72.05	55.31	5.78	0.06	0.45	0.70	1.41	0.13	0.10	0.68
1995	73.68	56.59	7.49	0.27	0.34	0.70	0.17	2.00	0.10	0.75
1996	73.68	45.66	10.83	0.24	0.40	0.70	3.89	1.34	0.10	0.81
1997	74.74	38.21	12.22	0.01	0.40	0.70	6.17	1.25	0.25	0.87
1998	75.71	50.31	7.88	0.08	0.40	0.80	3.34	0.70	0.25	0.89
1999	73.44	49.49	11.90	0.20	0.40	0.80	9.90	1.40	0.25	0.25
2000	76.46	48.33	9.70	6.30	0.40	0.80	7.30	1.30	0.25	0.26
2001	74.50	47.27	10.90	2.10	0.44	0.90	8.60	1.10	0.25	0.65
2002	76.86	40.92	11.20	4.60	0.45	0.90	15.20	1.10	0.81	0.76
2003	79.06	48.81	10.90	4.40	0.55	1.24	7.60	0.70	1.22	0.46
2004	75.96	45.35	14.60	0.70	0.39	2.33	7.60	2.10	0.48	0.68
2005	82.60	56.08	9.50	4.50	1.31	2.46	3.70	0.50	0.50	0.45
2006	90.81	54.15	15.30	9.70	2.05	1.03	5.30	0.50	0.45	0.66
2007	93.51	62.00	16.00	8.50	1.60	1.50	1.00	0.80	0.50	0.30

Fuente: Elaborado base USDA (2007)

ubicó como segundo exportador mundial, luego de EEUU. Le siguieron en orden decreciente entre el 3 a 5º lugar, Brasil, Paraguay y Ucrania. Los importantes países productores como China y la EU-27 resultaron exportadores poco significativos.

La concentración de la producción y del comercio exportador queda claramente explicado

por la participación de los cinco principales países. Para el ciclo 2007/08 los principales productores (EEUU, China, Brasil, UE25 y México), explicaron el 78% del total mundial. Los cinco principales países exportadores (EEUU, Argentina, Brasil, Paraguay y Ucrania) explicaron el 90% de las exportaciones mundiales de maíz (Cuadro 4, Figura 6).

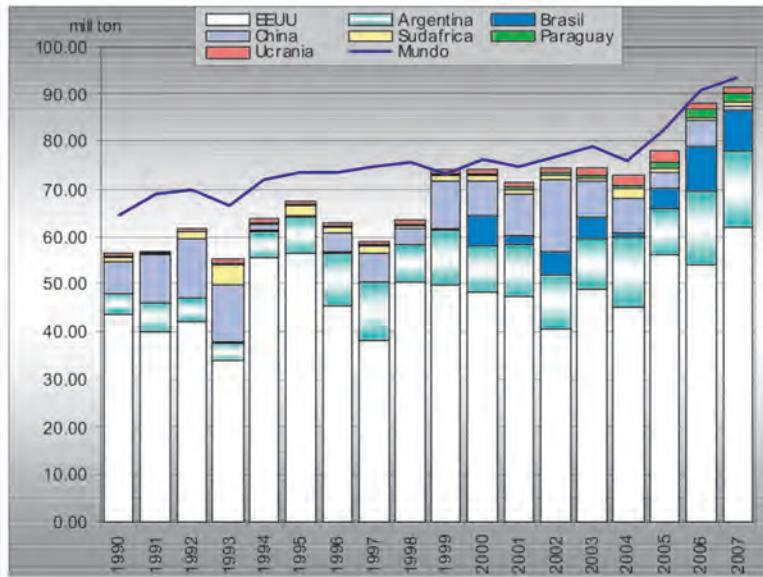


Figura 6. Principales países exportadores de maíz. En millones de toneladas. 1990/2007

La Argentina creció en forma importante en el mercado de maíz. Para dicho ciclo 2007/08 alcanzó a un 2,9% de la producción y un 17% de las exportaciones mundiales. SDA (2008)

Principales países importadores

Del lado de demanda mundial de maíz, la concentración es menor, siendo los cinco principales países importadores (Japón, México, UE-27, Corea y Egipto) responsables

de un 50,9% de las importaciones totales. Inclusive, considerando a los 10 principales importadores, se alcanzó a explicar un 68% de las mismas. El mercado internacional de maíz se constituye de numerosos países importadores distribuidos en los cinco continentes (45 a 60 países), con volúmenes pequeños y distribuidos en el año (Cuadro 5).

Respecto al dinamismo, en los últimos cinco a diez años se observa una estabilidad de la demanda de Japón, líder como primer

CUADRO 5. Principales países importadores de maíz. En millones de toneladas. 1990/2007

Año	Mundo	Japón	México	UE-27	Corea	Egipto	Taiwan	Colombia	Irán	Malasia
1990	61.38	16.35	1.98	1.50	5.57	0.38	5.29	0.70	0.09	0.00
1991	73.62	16.55	1.09	1.40	6.22	4.00	5.26	0.50	0.50	0.00
1992	66.08	16.76	0.40	1.30	6.54	0.00	5.63	1.22	0.18	0.00
1993	64.73	16.17	1.69	1.20	5.70	0.02	5.38	1.30	0.53	0.00
1994	76.20	16.48	3.17	1.01	8.23	0.60	6.35	1.41	0.24	4.29
1995	71.18	15.98	6.43	1.96	8.96	0.18	5.73	0.40	0.42	1.48
1996	72.73	15.96	3.14	1.85	8.34	0.11	5.74	0.81	0.34	0.08
1997	71.17	16.42	4.38	2.00	7.53	0.10	4.47	1.76	0.22	0.29
1998	76.09	16.34	5.61	2.02	7.52	0.50	4.58	1.00	0.48	0.27
1999	73.44	16.12	4.91	2.26	8.69	0.10	5.02	1.70	0.37	0.15
2000	76.46	16.34	5.93	2.86	8.74	0.05	4.92	0.67	0.18	0.15
2001	74.50	16.40	4.08	3.80	8.62	0.92	4.66	0.30	0.20	0.04
2002	76.86	16.86	5.27	2.82	8.78	4.85	4.68	0.52	0.37	1.00
2003	79.06	16.78	5.74	5.86	8.78	3.74	4.95	2.00	1.86	2.40
2004	75.96	16.49	5.95	2.47	8.64	5.40	4.56	2.26	2.56	2.41
2005	82.60	16.62	6.79	2.63	8.49	4.40	4.53	3.15	2.30	2.52
2006	90.81	16.71	8.94	7.06	8.74	4.80	4.40	3.50	3.20	2.60
2007	93.51	16.30	10.20	10.00	8.80	4.50	4.30	3.50	2.70	2.70

importador, pero con una creciente participación de la Unión Europea 27 y de México, que por años desplazaron a Corea, Egipto y Malasia entre los principales importadores mundiales. Es importante destacar los cambios en las últimas décadas, como la evolución negativa de las importaciones de la ex Unión Soviética, las que en la década de 1980/90 llegaron a superar el 18% mundial de las importaciones totales. Por el contrario se destacaron por el fuerte crecimiento de las importaciones de maíz, países en desarrollo con fuerte crecimiento económico como México, Egipto, Colombia, Irán y Malasia, cuyo nivel de importaciones en 1990/91 era nulo y pasaron a figurar entre los diez principales importadores mundiales.

Durante la última década, el mercado importador de maíz presentó un fuerte crecimiento, con importadores consistentes y permanentes los cuales tienen acuerdos con los principales países exportadores. Sin embargo, hay nuevos e importantes países y regiones importadoras que son demandantes de maíz, consecuencia de fuertes transformaciones económicas, donde el desarrollo ha impulsado a la demanda agroalimentaria básica.

Principales países consumidores

El mercado mundial de maíz se caracteriza por una fuerte concentración del consumo en pocos países, siendo a la vez los principales productores. Durante el ciclo 2007/08, el principal consumidor fue EE.UU., que en dicho ciclo incrementó en forma notable su consumo por causa de la demanda para etanol, alcanzando a 266,8 Mt (230,8 año anterior). Este volumen representó el 34,6% del consumo mundial. Le siguieron en orden decreciente como 2º país consumidor China (148 Mt), 3º la Unión Europea 27 (62,1 Mt), 4º Brasil (42,5 Mt), 5º México (32 Mt) y 6º Japón (16,5 Mt). Para el mismo ciclo, la participación de la Argentina en el consumo fue de 6,5 Mt, ocupando el 13º lugar (Cuadro 6, Figura 7).

Si bien las pautas de consumo entre los grandes países o regiones no variaron, durante la última década se destacó el fuerte crecimiento de la UE-27, México, India y Egipto que casi duplicaron su consumo desde 1990/01 a 2007/08.

Un tema especial fue el uso total de maíz de los EE.UU. alentado por la industria para el etanol. Así, en la temporada 2007/08, el incremento

CUADRO 6. Principales países consumidores de maíz. En millones de toneladas. 1990/2007

Año	Mundo	EE.UU.	China	UE26	Brasil	México	Japón	India	Canadá	Egipto
1990	473,81	153,27	79,85	24,33	25,63	15,24	16,38	9,26	7,06	6,54
1991	494,63	160,83	83,20	30,80	28,67	16,45	16,53	8,16	6,68	5,87
1992	509,55	172,93	87,80	29,20	30,20	18,46	16,85	9,97	6,21	6,30
1993	507,38	159,85	92,90	32,93	33,00	20,50	16,45	9,56	7,45	6,88
1994	538,15	182,25	97,00	37,44	36,00	20,25	16,45	8,87	7,79	8,00
1995	531,62	160,55	101,20	32,48	36,60	23,20	16,10	9,49	7,48	7,81
1996	559,24	177,59	105,75	35,70	36,25	22,09	16,10	10,30	7,81	9,03
1997	573,56	185,09	109,50	30,10	33,40	22,00	15,90	10,95	8,60	9,26
1998	580,68	185,79	113,92	32,39	33,20	23,04	16,44	10,85	9,03	9,29
1999	600,12	192,50	117,30	57,58	33,50	23,66	16,32	11,35	9,06	10,20
2000	608,25	198,10	120,24	55,11	34,50	24,00	16,20	11,95	10,12	10,90
2001	621,43	200,94	123,10	58,26	35,00	23,60	16,30	13,05	11,97	11,20
2002	626,46	200,75	125,90	57,58	35,80	24,70	16,80	12,00	12,58	10,90
2003	648,04	211,64	128,40	55,76	36,30	26,40	17,20	13,50	11,22	9,20
2004	687,04	224,65	131,00	63,20	38,50	27,90	16,50	13,90	10,31	11,30
2005	702,52	232,06	137,00	61,50	39,50	27,90	16,70	14,20	10,84	10,10
2006	719,90	230,79	143,00	61,10	41,00	30,30	16,50	14,70	11,44	10,50
2007	770,77	266,84	148,00	62,10	42,50	32,00	16,50	15,70	12,70	11,20

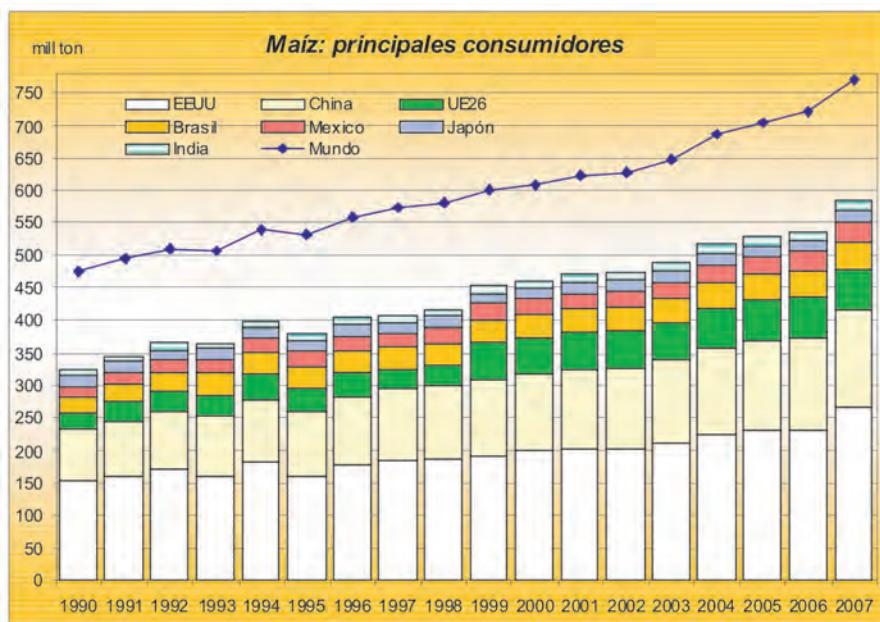


Figura 7. Principales países consumidores de maíz. En millones de toneladas. 1990/2007

respecto al año precedente fue de 36 Mt lo que significó un aumento récord de 15,6% contra el aumento promedio mundial del 7%.

Gran parte de los cambios ocurridos en el mercado mundial de maíz estuvieron asociados al incremento del consumo de maíz, no solo en los EE.UU. sino en los países líderes vinculados a la promoción de biocombustibles y al creciente uso de la energía renovable.

Resumen de la matriz de oferta mundial

La evolución del mercado mundial de maíz mostró en su matriz de oferta una relación directa

entre el principal país productor y el primer exportador. Esta situación no ha cambiado en forma sustancial desde hace varias décadas. La hegemonía de los EE.UU., que siempre ha mostrado gran competitividad en la producción y en la oferta de exportación, detenta el 43% de la producción y el 66% de la exportación.

Durante la última década la Argentina ha mejorado su posición como país exportador, para ubicarse en el segundo lugar mundial. Esto se ha logrado por el crecimiento reciente de la producción, pese a que la misma aún contabiliza el 3% de la producción mundial (Cuadro 7). Otros países como China fueron consolidando

CUADRO 7. Principales países en el mercado de maíz. En millones de toneladas y porcentaje. 2003/2004.
CAMPAÑA 2007/2008

	Producción		Exportación	
	Mill tns	(%)	Mill tns	(%)
EEUU	332,1	43,3	62	66,3
ARGENTINA	22,5	2,9	16	17,1
CHINA	145,0	18,9	1	0,1
Brasil	50	6,5	8,5	9,1
OTROS PAISES	217,1	28,3	6	6,4
MUNDIAL	766,7	100,0	93,5	100,0

Fuente: elaborado base USDA (2008)

su posición como consumidores, porque pese a tener el 19% de la producción, representaron apenas el 0,1% de las exportaciones mundiales.

En los últimos 10 años el mercado mundial de maíz ha tenido un sostenido aumento de la demanda, atribuido al creciente consumo de carnes rojas y blancas y a la utilización del maíz para usos como almidones, fibras sintéticas, alimentación humana y productos biodegradables. El capítulo más reciente fue el elevado consumo de maíz para la industria de los biocombustibles, liderados por el etanol. En el caso particular de los EEUU, el crecimiento del uso excedió a las proyecciones iniciales, generando una fuerte contracción del mercado y un fuerte impulso en los precios del cereal.

Las exportaciones de los países competidores; EEUU, Brasil, China y Unión Europea

La competitividad del maíz de los Estados Unidos se basa, en parte, en el sostenido avance de la biotecnología con la creación de nuevos eventos que llevaron a mejoras en su productividad. El principal destino de sus exportaciones fue Japón, con 14 a 16 millones de toneladas, que representaron una merma del 30% al 20% del total de las exportaciones mundiales de maíz. Este importador es uno de los países más exigentes en cuanto a la seguridad alimentaria y aun así, tiene autorizados casi todos los eventos transgénicos producidos en los Estados Unidos, entre ellos el del maíz RR resistente a glifosato.

Las exportaciones de Brasil luego de un período en el que fue netamente importador de maíz y la Argentina su proveedor, resultaron una excepción puesto que este país ha ingresado a partir de 2000 al mercado mundial de exportación. Es un importante exportador en el rubro agrícola y agro alimentario, y sus excedentes para exportación aumentaron desde el ciclo 2000 hasta 9,5 millones de toneladas en 2006. Brasil, sin embargo, por su gran demanda interna y su poderosa industria de carne de aves y de cerdos, no debería contar con elevados excedentes de maíz como para aumentar sus exportaciones por encima del nivel alcanzado en los últimos ciclos (Zafra & Mercados, 2006).

Las exportaciones de China presentaron una gran fluctuación en los últimos años debido a la variación que han tenido sus volúmenes de producción y a la preparación para su ingreso a la Organización Mundial de Comercio. Las exportaciones de China se concentraron en sus países vecinos (Corea del Sur, Indonesia, Malasia, Japón y Vietnam), que representaron cerca del 90% de sus exportaciones totales. Su saldo exportable se ha reducido en las últimas campañas y para las futuras se proyecta una disminución. El saldo exportable de la última temporada fue de apenas 1 Mt, el mínimo histórico.

La Unión Europa actualmente integrada por 27 países, compitió durante la década de 1970 a 1980 con otros países exportadores. Desde el año 2000 hasta el 2007 se ha retirado del mercado exportador convirtiéndose progresivamente en una región netamente importadora. De hecho se convirtió en el ciclo 2007/08, en el tercer consumidor y tercer importador mundial.

Se puede concluir que tanto los EEUU como la Argentina, actuales primero y segundo exportador mundial, no enfrentarían una fuerte competencia en el comercio mundial de maíz durante los próximos 10 años

Hay que considerar que según las proyecciones de oferta y demanda mundial para el decenio 2017/20, el comercio mundial de maíz se incrementaría a 110 millones de toneladas (USDA Outlook 2008). Los principales países que abastecerían esa mayor demanda proyectada serán los EEUU, la Argentina, Brasil y los países de Europa del Este.

Proyecciones mundiales del maíz para el quinquenio 2008/09-2013/14.

Para realizar las proyecciones al 2013/14 se utilizaron las tasas de crecimiento acumulativas anuales, de los indicadores mundiales del maíz. Las mismas fueron calculadas para el período total de 28 años y para los subperíodos indicados en el Cuadro 8.

La hipótesis principal supone que las tasas promedio del período 1980/2007 en gran medida se deberían mantener. Sin embargo,

Cuadro 8. Proyección de Granos Forrajeros y de Maíz. Mundial y Argentina.

	Unidad	Tasa 80/07	Tasa 00/07	Año Base	Año 2012 (a)	Año 2012 (b)
MUNDIAL				Proyección	Proyección	
Area GF	Mha	-0.56	0.61	315.00	306.3	324.7
Area Maíz	Mha	0.60	1.79	157.00	161.8	171.6
Prod GF	Mt	1.10	2.79	1056.00	1115.4	1211.8
Prod M	Mt	2.23	3.91	770.00	859.8	932.8
Rinde M	Mt	1.63	2.07	4.90	5.3	5.4
Export M	Mt	1.15	3.47	95.00	100.6	112.7
Cons Forr M	Mt	1.19	2.08	490.00	519.9	543.1
Cons T M	Mt	2.32	3.37	772.00	865.8	911.2
Stock M	Mt	-0.20	-6.00	104.00	103.0	76.3
S/uso M	%			13.50	11.9	8.4
ARGENTINA						
Area Maíz	Mha	-0.30	1.82	3.1	3.1	3.4
Rinde M	Mt	3.54	4.04	6.9	8.3	8.5
Prod M	Mt	3.26	5.92	21.5	25.2	28.7
Export M	Mt	4.26	5.60	15.0	18.5	19.7
Cons T M	Mt	1.79	6.21	6.7	7.3	9.1
Stock M	Mt	5.18	23.00	1.46	1.9	4.1
S/uso M	%			21.8	25.7	45.4

Fuente: Datos del estudio en base a información del USDA (2008)

su descomposición en subperiodos permitió avizorar cambios en esa tendencia, donde el dinamismo de este mercado queda mejor caracterizado por las tasas parciales de los ciclos más recientes. Durante la última década, se produjeron demandas crecientes de granos alentadas por un crecimiento muy elevado de la economía mundial, además de la demanda de biocombustibles que a juicio de los analistas y de instituciones como FAO (2008), podrían provocar un cambio de tendencias.

Por su enorme importancia en el volumen mundial de granos se incluyó en el análisis al área y la producción de los granos forrajeros incluyendo al maíz, y a éste cereal en forma individual.

Los comentarios sobre las tasas de crecimiento responden en forma global al período 1980/2007 (28 años), que revela la tendencia de casi tres

décadas con cambios muy importantes en el mundo agrícola y las proyecciones se realizaron para el próximo ciclo 2013/14. Se incluyeron en forma explícita en las proyecciones las tasas del último período 2000/07, de sólo 8 años donde se produjeron los cambios tecnológicos, políticos y culturales más recientes. Las opiniones sobre las proyecciones difieren según los alcances que se pretenden. La tendencia secular resulta cada vez menos relevante ante los cambios trascendentales en el mundo moderno, donde la tecnología ha producido saltos y verdaderos cambios tecnológicos. Los avances en el área informática, comunicaciones, gestión, en la biotecnología y la bioenergía contribuyen a fundamentar dichos cambios.

Los principales resultados y su proyección se presentan en el Cuadro 8. El crecimiento del área cultivada de los Granos Forrajeros considerando

la tasa total debería continuar negativa declinando de 315 a 306 Mha (a). En cambio, considerando la tasa del último período, podría crecer de 315 a 327 Mha (b). A pesar de las proyecciones contrarias, según los intervalos proyectados, no habría un cambio sustantivo del área cultivada mundial con granos forrajeros. Para el área cultivada de maíz se proyectó un aumento de 157 a casi 162 Mha (a), pero considerando la tasa del período 2000/07, al área alcanzaría un crecimiento importante a 172 millones de hectáreas (b).

La producción total granos forrajeros se proyectó de 1056 a 1115 millones de toneladas. Considerando la tasa del último período alcanzaría a 1212 millones de toneladas. Estos aumentos resultaron importantes pero parecen bastante razonables para ambas situaciones. Para la producción total de maíz se proyectó (tasa 2,23%) de 770 a 859 Mt, y considerando la tasa (3,91%) de 2000/07 alcanzaría a 933 Mt. Ambas constituyen escenarios altamente probables, especialmente el mínimo que supone la tasa del promedio más moderada.

El aumento del rendimiento unitario de maíz en el mundo ha sido el gran responsable del aumento de la producción. Los incrementos proyectados de rendimiento con la tasa promedio resultan modestos de 4,9 a 5,3 t/ha, y considerando la tasa del último período, alcanzaría a 5,4 t/ha. Si bien las ganancias proyectadas no fueron importantes, el rendimiento ha variado en forma muy importante entre los países. La aparición de nuevas tecnologías y los avances del mejoramiento genético y de la biotecnología, podrían superar a estas proyecciones.

El comercio internacional de maíz podría crecer, según la tasa media de 1980/07, de 95 a 100,6 Mt y considerando el último período, crecería por encima de 113 Mt. Esto resulta muy importante porque son pocos los países exportadores y varios los importadores. La Argentina puede tener una situación doméstica favorable para el maíz pero depende para su colocación de un contexto más favorable del crecimiento del mercado de exportación.

Se prevé una continuidad del crecimiento del uso como alimento forrajero y del consumo total de maíz, que incluye crecientes demandas industriales y energéticas. Se proyecta un

consumo como alimento animal de 490 a 520 ó 543 según las tasas de los períodos total y del más reciente. Para el uso total (alimento + industrial) se prevé una tasa anual en crecimiento de 2,3% a 3,7%. Esto significa que el cereal debería continuar creciendo en su demanda en los próximos años de 770 a 866 ó a 912 según las tasas totales y del último período. Más allá de las proyecciones, el consumo o uso total sería el factor más importante para el mercado del cereal.

Las tasas de crecimiento fueron negativas para las existencias finales y las relaciones stock/uso. Por lo tanto, se proyecta una continuidad de mercados muy estrechos, con muy bajas existencias y la continuidad de una presión creciente sobre la producción. Esto requerirá el inicio de algunos programas de estabilización de la producción y también del consumo, para regular el balance mundial de oferta y de demanda y un stock más holgado del que se ha alcanzado en los últimos años.

Proyecciones del maíz para la Argentina para el quinquenio 2008/09-2013/15

Para realizar las proyecciones a 2013/14 se utilizaron las tasas de crecimiento acumulativas anuales de los indicadores de maíz de la Argentina. Las mismas fueron calculadas para el período total 28 años y para el período 2000/07 indicados en el Cuadro 8. Las proyecciones fueron realizadas a cinco años para el ciclo 2013/14 y están expresadas en las mismas unidades.

El área cultivada de maíz para grano comercial pasaría de 3,1 a 3,2 según tasa promedio y a 3,4 según tasa del ultimo período. En ambos casos, resultaron áreas normales, de gran factibilidad, inclusive modestas para la historia del cultivo en el país.

Para la producción total de maíz se proyectó (tasa 3,26%) un aumento de 21,5 a 25,3 Mt, y considerando (5,92%) la tasa de 2000/07 alcanzaría a 28,7 Mt. Aparentemente, la última proyección parece elevada porque significaría sostener una muy elevada tasa de crecimiento y la necesidad de colocar esa mayor producción en el saldo exportable.

El rendimiento unitario de maíz fue el factor de crecimiento en el mundo y el gran responsable del aumento de la producción en la Argentina, dado el leve crecimiento del área cultivada. Sin embargo, la proyección de los incrementos de rinde resultan modestos de 6,9 a 8,4 ó 8,3 t/ha, considerando las tasas de ambos períodos, respectivamente. Cabe señalar que para el último período, las tasas de crecimiento del rendimiento de maíz de la Argentina se situaron entre las más elevadas del mundo. No obstante, el rinde proyectado se ubicaría en un rango perfectamente posible de lograr, dada la tecnología y las condiciones generales del cultivo.

La exportación argentina de maíz podría crecer según la tasa media de 1980/07 y la de 2000/07 de 15 a 18,5 y/o 19,7 Mt, respectivamente. Esto es muy importante porque semejantes tasas solo pueden ser logradas por países exportadores como la Argentina, pero suponen una situación favorable para del contexto del crecimiento del mercado de exportación.

Se prevé una continuidad modesta del crecimiento del uso de maíz en el país. El consumo total de maíz se proyectó de 6,7 a 7,3 ó 9,1 Mt, considerando la tasa total y la de último período.

Esto significa que el cereal debería continuar con un crecimiento modesto del uso total en los próximos años, situación que revela un bajo uso del cereal en la transformación agro industrial en la cadena alimentaria para la producción de carnes, leches, aves, cerdos y huevos.

Resumen de las características y proyecciones del mercado mundial de maíz

- Las principales características del mercado mundial de maíz 2007/08, permiten sintetizar algunas proyecciones para el corto a mediano plazo.
- La existencia de un equilibrio precario entre la oferta y la demanda mundial, situación que se acentuó en los últimos tres ciclos, haciendo prever para el ciclo 2007/08 los más bajos stocks de los últimos 30 años y un sostenimiento de los precios internacionales por encima
- de sus valores históricos.
- La escasa disponibilidad de existencias ha caracterizado los últimos ciclos agrícolas mundiales, otorgando al mercado una gran volatilidad e incertidumbre que persistirá sobre sus indicadores de mediano plazo.
- Existe una fuerte concentración de la producción mundial y de la oferta exportable de maíz en pocos países. Esto se hace extensivo a los Granos Forrajeros.
- El mayor dinamismo del maíz entre los granos forrajeros para la producción y el comercio mundial, ha generado una tendencia a una fuerte concentración en este cereal y a una falta progresiva de diversidad entre dichos suministros.
- El comercio mundial de maíz creció menos que el consumo, situación que puede atribuirse al alto componente de subsidios por parte de los países desarrollados para el crecimiento de la producción y de la merma en las importaciones de los países que subsidiaban su sector forrajero.
- Las crisis sanitarias de las producciones de carnes de cerdo, de aves y vacuna de los últimos años han modificado las tasas de crecimiento de dichos mercados, cuyas previsiones de recuperación están sujetas a la no ocurrencia de nuevos eventos y a una recuperación de sus indicadores previos.
- Fenómenos como la EEB, la fiebre porcina y en forma más reciente y reiterada la gripe aviar han generado una reticencia al consumo de carnes y por lo tanto de los suministros forrajeros básicos como el maíz.
- Durante los últimos ciclos se atenuaron las restricciones a las variedades de maíz de origen biotecnológico, como resistente a ciertos insectos (eventos Bt) y a herbicidas. La gran escasez de granos y alimentos forrajeros llevó a una reacción en la normativa de los principales compradores para facilitar sus compras.
- Se ha alcanzado un consumo o uso total de maíz sin precedentes, revelando un

- aumento aún más importante del cereal en usos industriales y agro energéticos.
- La estrecha dependencia del etanol con el maíz y con el precio de crudo ha llevado a relacionar estos mercados en forma más directa, copiando la incertidumbre y la volatilidad de los mercados financieros.
 - La señal anterior constituye una dificultad para las decisiones de los productores en la asignación de recursos y siembras para ajustar la producción.
 - La oferta mundial exportable de maíz se ha concentrado en los EEUU y la Argentina.
- 9). Para igual período (1996/2007), la producción de maíz creció en el país ubicándose entre 14 y 21 millones de toneladas, con una media de 16,9 millones y una tasa de crecimiento acumulativa anual de 2%. Esto significó una participación muy importante con respecto a los cereales, de 45,7% y tuvo un crecimiento acumulativo anual de 1,2%.

En suma, casi la mitad de la producción nacional de cereales correspondió al maíz. Sin embargo con respecto a la zafra total del país, su participación fue de 23,3% con una tasa acumulativa anual negativa de -2,38%. Esto también fue el reflejo de un fuerte incremento de la producción de las semillas oleaginosas y de la zafra total de granos en el país (Cuadro 10). En resumen, el maíz representó el 48% de la producción y el 27% del área con cereales. Con respecto a la zafra total del país el maíz significó el 23% de la producción y el 12,3% del área cultivada total.

La participación del maíz en el contexto de la zafra nacional de granos se mostró declinante aunque a tasas muy moderadas. La causa del fuerte incremento del área y de la producción de semillas oleaginosas, con el fenómeno de la expansión de soja.

En el contexto de un período más amplio por trienios desde 1981/83 a 2005/07 se puede observar la evolución del maíz en área sembrada y en producción con respecto a la zafra nacional. El trienio más bajo del maíz fue el 1989/91 con un 10% del área y un 18% de la producción global. El trienio más alto correspondió al 1996/98, con un 14% del área y un 30% producción global. Para el último ciclo, su ubicación correspondió a una situación intermedia, lo que reveló que el cereal tiende a mantener su importancia en el contexto de la zafra nacional de granos (Cuadro 11).

El Contexto Nacional

Características generales

El maíz es el principal grano forrajero de la Argentina, siendo su producción realizada desde tiempos de la colonia. Históricamente fue el cultivo más importante del país durante varias décadas, ostentando la superficie cultivada más elevada en el ciclo 1937/38 con 8,3 millones de hectáreas. Recién en el ciclo 1998/99, fue superada por la soja cuando la superficie cultivada de esta oleaginosa alcanzó a 8,4 millones de hectáreas (SAGPYA, 1999 y Bolsa de Cereales de Buenos Aires, 2002/03).

Durante los últimos años (1996/2007) el área cultivada con maíz para todo propósito se ha estabilizado en torno de 3,5 millones de hectáreas, con variaciones en más ó menos 0,5 millones, arrojando un promedio de 3,469 millones de hectáreas y un crecimiento leve declinante, con una tasa acumulativa anual de -0,64%. Durante el último el trienio 2005/07, representó un 30% el área total cultivada con cereales. Pero, en el promedio del período 1996/2007, su participación fue de 27,4%, con una tasa de variación positiva de 1,19%. Esto significa que el maíz creció en el contexto del área plantada con cereales. Sin embargo, con respecto al área total cultivada del país, su participación fue de 12,3% pero con una tasa acumulativa anual negativa (-2,42%). Esto ocurrió porque hubo un fuerte incremento de la siembra de las oleaginosas y a la vez, un incremento del área cultivada total del país (Cuadro

Evolución del rendimiento de maíz mundial y de la argentina

La evolución del rendimiento del maíz en la Argentina estuvo asociada a la generación de tecnologías productivas en los países líderes y a las condiciones macroeconómicas del país que influyeron en su adopción. Considerando el

Cuadro 9. Superficie Sembrada de maíz, cereales y total. En miles de hectáreas. Argentina. Período 1996/2007

Cultivos	1996/97	1997/98	1998/99	1999/00	2000/01	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08	Var año	Var 2 años %
Cereales														
Alpiste	25	25	27	24	20	16	19	16	16	13	9	15	19	-7,55
Arroz	227	248	291	201	154	126	135	172	165	171,3	168	165	185	-3,88
Avena	1870	1789	1822	1711	1664	1516	1368	1344	1275	1023	1067	1050	1458	-5,85
C. Cervecería	278	324	218	182	246	260	270	343	272	273	339	436	287	3,55
C. Forrajera	29	19	24	20	16	16	14	25	28	22	27	25	22	1,34
Centeno	380	353	372	365	373	336	338	340	294	207	221	250	319	-4,87
Maíz	4153	3752	3268	3652	3495	3064	3084	2988	3400	3190	3580	4000	3469	-0,64
Mijo	121	107	89	91,1	79,5	55,2	50	50	28	28	31	31	64	-12,77
S. Granífero	805	920	880	819	698	592	593	545	617	577	700	830	715	2,50
Trigo	7367	5919	5453	6300	6497	7109	6300	6040	6260	5212	5675	5685	6151	-1,36
Total	15255	13456	12444	13365	13243	13090	12171	11863	12355	10719	11824	12487	12689	-1,80
maíz/cereal	27,2	27,9	26,3	27,3	26,4	23,4	25,3	25,2	27,5	27,5	29,8	30,3	32,0	27,4
%														
Oleaginosos														
Cartamo	21,5	27	15,3	39,7	58,4	33	23	30	49	27	76	44	37	7,19
Colza	1	1,5	2,2	3,88	8,7	2,2	8	18	17	7	10	14	8	25,55
Girasol	3120	3511	4212	3587	1891	2050	2378	1850	1970	2260	2381	2660	2656	-4,28
Lino	94	116	102	68	28	20	14	29	37	47	29	13	50	13,95
Maní	329	407	337	219	252	222	157	170	211	174	216	230	244	-5,43
Soja	6670	7176	8400	8790	10665	11639	12607	14525	14400	15329	16141	16600	11912	9,14
Total	10236	11239	13069	12708	12903	13966	15187	16622	16684	17844	18853	19561	14906	5,82
Legumbres														
Poroto seco	260	293	431	293	275	263	206	134	145	235	250	251	253	-4,10
Industriales														
Algodón	956	1134	751	345	410	173	158	266	406	309	402	330	470	-9,27
TOTAL	26707	26122	26695	26711	26831	27492	27722	28885	29590	29107	31329	32629	28318	1,83
maíz/total %	15,6	14,4	12,2	13,7	13,0	11,1	11,1	10,3	11,5	11,0	11,4	12,3	12,3	-2,42

CUADRO 10. Producción de maíz, cereales y total. Argentina. En miles de toneladas. Período 1996/2007

Cereales	1996/97	1997/98	1998/99	1999/00	2000/01	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08	Prom	Tasa %
Alpiste	25	29	24	22	19	17	18	17	17	15	9	9	18,4	-8,9
Arroz	1205	1011	1658	903	873	709	718	1060	956	1193,5	1075	1260	1051,8	-0,1
Avena	310	512	383	555	642	645	487,5	332	536	227	243	489	446,8	-2,7
C. Cervecería	533	921	535	414	717	521	543	1000	886	796	1266	1460	799,3	7,8
C. Forrajera	4	5	3	5	5	8	5	4	8	3	3	7	5,0	1,0
Centeno	36	62	66	116	125	81	80	37	92	33	17	54	66,6	-5,7
Maíz	15536	19360	13500	16781	15360	14710	15040	15000	20500	14500	21800	20600	16890,6	2,0
Mijo	44	46	46	47	31	28	22	11	16	16	15	14	28,0	-12,7
S. Granífero	2499	3762	3222	3344	2909	2847	2685	2160	2900	2328	2795	3300	2895,9	-1,2
Trigo	15914	14800	12400	15300	15960	15300	12301	14560	16000	12600	14600	15400	14594,6	-0,2
Total	36106	40508	37487	36641	34866	31899,5	34181	41911	31711,5	41823	42593	36797,0	0,8	
Maíz/Cer	43,0	47,8	42,4	44,8	41,9	42,2	47,1	43,9	48,9	45,7	52,1	48,4	45,7	1,2
Oleaginosos														
Cartamo	13,3	24,6	9,6	31	47,3	23,5	13,3	18	51	18	58	33	28,4	7,7
Colza	2	2,2	2,2	6	15,38	2,3	10,5	20	26	9	11	21	10,2	22,1
Girasol	5450	5600	7100	6000	3179	3843	3714	3160	3700	3800	3500	4700	4478,8	-4,3
Lino	72	75	85	47	22	16	11	29	36	54	34	13	41,2	-10,0
Maní	281	627	340	420	394	362	220	293	445	347	500	600	402,4	1,9
Soja	11000	18732	20000	20200	26864	30000	34800	31577	38300	40500	47500	47200	30556,1	12,3
Total	16816	25061	27537	26704	30522	34247	38769	35097	42558	44728	51603	52567	35517,3	9,3
Legumbres														
Poroto seco	269	303	340	297	263	278	215	151	169	323	300	300	267,3	-1,4
Industriales														
Algodón	1030	987	618	417	509	218	201	354	448	418	470	400	505,8	-7,0
TOTAL	54221	66859	60332	64905	67935	69609	71084	69783	85086	77181	94196	95860	73087,5	4,5
Maíz s/Total	28,7	29,0	22,4	25,9	22,6	21,1	21,2	21,5	24,1	18,8	23,1	21,5	23,3	-2,39

Fuente: elaborado base SAGPyA 2008/04

CUADRO 11. Participación Porcentual del Cultivo de Maíz en el Total de los Granos.

	A. Sembrada	Producción
1981/83	15,3	25,3
1989/91	10,7	17,7
1996/98	14,3	30,5
2001/03	10,8	19,9
2005/07	12,0	21,1

Fuente: elaborado Base SAGy PA (2008).

promedio nacional, y para el período 1960 a 2007, ha mostrado un incremento acumulativo durante más de cuatro décadas, pero se pueden distinguir claramente tres períodos.

Durante el período 1961/1975, los materiales genéticos utilizados y las tecnologías de manejo de cultivo permitieron sostener un crecimiento del rendimiento nacional a una tasa por debajo de la media mundial, quedando algunos años hasta 400 y 600 kilos por debajo de media. Desde 1976 hasta 1995, la productividad del maíz acompañó a la tendencia mundial, ubicándose según las condiciones del ambiente cercana a la media tanto por encima o por debajo de dicho nivel, pero hubo años donde se alcanzó a superar la media mundial en 400 kilos. Finalmente, el gran crecimiento de los rendimientos se produjo desde 1996 a 2007 cuando, se lograron los más altos rindes nacionales, ubicándose en forma consistente y próxima a 1500 kilos por encima de la media mundial. (Figura 8).

Durante el último período, que se inició con el ciclo de altos precios internacionales de 1996 y 1997, se difundieron nuevos cultivares, técnicas de manejo y de fertilización, incluyendo casos de riego complementario. Las fuertes modificaciones en el sistema tecnológico nacional provocaron un efecto directo en el rendimiento y en la producción. Si bien este adelanto en el país era esperado por los analistas internacionales, hay coincidencia sobre el altísimo potencial que el cereal ha podido desarrollar. A los efectos de las proyecciones el último período tiene una tasa de crecimiento creciente de 4,34% contra 1,68% del rinde promedio mundial.

Realizando un análisis comparativo de los rendimientos del último período con otros países líderes en la producción de maíz, se puede comprobar que sólo el de Argentina presenta una tasa muy alta y creciente, mientras que en los otros países, dicha tasa revela una estabilidad. Técnicamente, esto significa que el rendimiento del maíz en la Argentina no habría alcanzado su techo o estabilización y continuaría creciendo

Los incrementos de los rendimientos desde 1996 y las últimas campañas agrícolas muestran que en la Argentina se logró el mayor avance en este indicador, superando a la media mundial y a los principales países exportadores, cuyos incrementos de rendimiento fueron modestos (Cuadro 12).



Figura 8. Rendimiento de maíz Argentina y Mundial. En t/ha. Período 1960/2007

CUADRO 12. Rendimiento del Maíz en Países Exportadores Seleccionados. En toneladas por hectárea.

	1990/92	2005/07	Dif %
Argentina	4,10	7,5	+83
EEUU	7,25	9,4	+29,7
China	4,5	5,3	+17,8
UE 27	5,00	7,4	+48
Sudáfrica	2,7	3,2	18,5
Mundial	4,0	4,85	+21,3

Fuente: elaborado base U.S.D.A (2008).

No obstante la tendencia creciente de los rendimientos del cultivo de maíz en la Argentina, estos se ubican aún muy por debajo de los registrados en los Estados Unidos, con valores promedio de 9,5 t/ha, situación que da una pauta de la potencialidad productiva de este cultivo.

Evolución del área y de la producción

La superficie cultivada de maíz fue la más afectada por la expansión de la soja, ya que la difusión del doble cultivo con el trigo se concretó en el llamado “cinturón maicero”, el que se ubica en una región que tiene como epicentro la ciudad de Rosario y como extensión un radio de 250 kilómetros de la misma.

A principios de la década de 1980 el área total sembrada de maíz oscilaba entre 3,2 y 3,8 millones de hectáreas, en tanto que en 2007/08 la superficie total promedió las 4 millones de hectáreas, de las cuales se destinaron a cosecha de grano 3,6 millones (Cuadro 13)

Paralelamente a la estabilización del área sembrada se observó un importante incremento en el rendimiento, asociado a la adopción de mejores semillas híbridas, como ya fuera señalado.

Los rendimientos del maíz promediaban a principios de los años 1980 los 3,0 t/ha, mientras que en la primera mitad de la década de 1990 osciló alrededor de 4 a 4,5 t/ha. Durante las dos últimas campañas se alcanzaron registros promedios país de 7,25 t/ha (Cuadro 13).

No obstante la tendencia creciente de los rendimientos del cultivo de maíz en la Argentina, los mismos se ubican aún por debajo de los registrados en los estados unidos, con valores

promedio de 9,5 t/ha, situación que da una pauta de la potencialidad productiva de este cultivo.

La producción de maíz en la Argentina alcanzó niveles máximos de 22 millones de toneladas, y en las últimas campañas estuvo por encima de 20 millones de toneladas. Con un uso total proyectado de 6,7 millones de toneladas, dejaron un saldo exportable creciente que alcanzó a superar 15 millones de toneladas. Para Argentina la relación entre producción y saldo exportable de maíz se hizo casi directa, por el lento crecimiento del uso doméstico del cereal. Si bien hay una estimación de un mayor uso en los establecimientos agrícolas, la falta de su ingreso al circuito comercial tiende a afectar a la estimación de la zafra total.

El uso creciente de maíz en la terminación de hacienda vacuna a corral y la producción de cerdos y de aves, serían argumentos para aumentar las proyecciones del consumo doméstico. Para la organización Maizar (2007) las estimaciones del uso difieren de las oficiales y de las fuentes internacionales y las sitúan entre 10 a 12 millones de toneladas. Finalmente, el crecimiento del stock de maíz al fin de cada ciclo aparece en las estadísticas de las diversas fuentes, como un valor por arriba de 1,5 millones de toneladas, en línea con los remanentes técnicos usuales al tamaño de la zafra del país.

Un aspecto importante son las proyecciones sobre el maíz en Argentina, donde para 1980/2007 la tasa de crecimiento acumulativa anual de la producción fue de 3,26% y de la exportación de 4,26 %. Considerando la tasa del último período 2000/2007, se aceleró la producción a una tasa de 5,9% pero la exportación creció a una tasa de 5,6% aa (Cuadro 13, Figura 9). Esto permite concluir que la expansión del complejo de maíz en la Argentina tendría una orientación casi total hacia el mercado de exportación, incrementando la importancia del país en el comercio internacional.

La evolución del área, producción y la productividad del cultivo de maíz por provincias

La siembra de maíz por provincias tiende a concentrarse en orden de importancia en Buenos Aires, Córdoba, La Pampa, Santa Fe y

CUADRO 13. Indicadores del mercado Argentina de maíz y tasas de crecimiento. En millones de toneladas y en porcentaje. Período 1970/2007.

Año Tasa %	Área Mha	Rinde t/ha	Produc- ción	Exporta- ción	Uso Total	Stock
1970	4.068	2.440	9.930	6.441	2.977	0.820
1971	3.147	1.860	5.860	2.537	3.855	0.089
1972	3.565	2.530	9.000	4.702	3.936	0.451
1973	3.486	2.840	9.900	5.716	4.457	0.178
1974	3.070	2.510	7.700	3.485	3.632	0.761
1975	2.766	2.120	5.855	3.238	2.863	0.515
1976	2.532	3.280	8.300	5.231	3.401	0.183
1977	2.660	3.650	9.700	5.916	3.533	0.434
1978	2.899	3.110	9.000	5.965	3.296	0.173
1979	2.490	2.570	6.400	3.417	3.048	0.108
1980	3.394	3.800	12.900	9.098	3.700	0.210
1981	3.170	3.030	9.600	5.765	3.500	0.545
1982	2.970	3.030	9.000	6.056	3.200	0.289
1983	3.024	3.140	9.500	5.448	4.250	0.091
1984	3.340	3.560	11.900	7.126	4.475	0.390
1985	3.351	3.700	12.400	7.367	5.000	0.423
1986	2.900	3.190	9.250	4.032	5.250	0.391
1987	2.600	3.460	9.000	4.340	4.666	0.385
1988	1.700	2.940	5.000	1.800	3.000	0.585
1989	1.700	3.060	5.200	2.800	2.900	0.085
1990	1.950	3.900	7.600	3.855	3.303	0.385
1991	2.400	4.420	10.600	6.116	4.401	0.515
1992	2.450	4.160	10.625	5.120	5.102	0.865
1993	2.400	4.170	9.300	4.100	5.766	1.000
1994	2.550	4.450	11.400	8.868	5.479	1.100
1995	2.700	4.110	11.100	7.500	4.308	0.400
1996	3.400	4.560	15.500	10.800	4.323	0.750
1997	3.175	6.098	19.360	12.222	6.350	1.540
1998	2.605	5.182	13.500	7.882	6.450	0.710
1999	3.100	5.548	17.200	11.923	5.520	0.490
2000	2.818	5.465	15.400	9.676	5.600	0.637
2001	2.450	6.000	14.700	10.864	4.150	0.325
2002	2.450	6.327	15.500	11.199	4.100	0.529
2003	2.300	6.522	15.000	10.944	4.400	0.220
2004	2.780	7.370	20.500	14.574	5.200	0.956
2005	2.440	6.475	15.800	9.500	6.200	1.156
2006	2.800	8.040	22.500	15.300	6.700	1.656
2007	3.100	6.935	21.500	15.000	6.700	1.456
70/80	-4.45	3.80	-0.83	0.66	-1.49	-6.77
80/90	-6.66	-0.85	-7.45	-12.11	-0.39	-1.06
90/00	4.42	3.95	8.56	12.22	4.52	3.34
00/07	1.82	4.04	5.92	5.60	6.21	23.52
80/07	-0.27	3.54	3.26	4.26	1.79	5.18

Fuente: elaborado base USDA (2008).

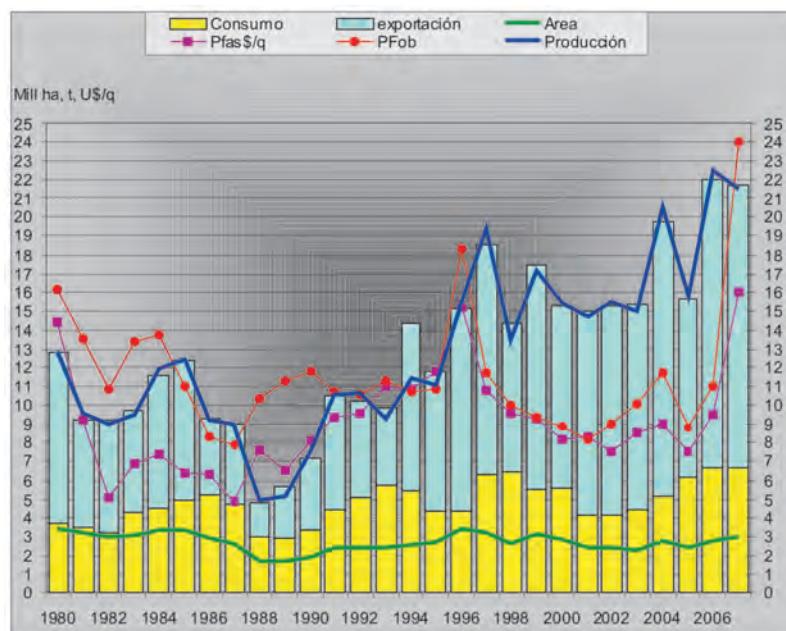


Figura 9. Oferta y demanda de maíz Argentina. Período 1980/2007

Entre Ríos, cuya superficie conjunta representó del 85% al 90% del total. Comparando la evolución para algunos ciclos, desde 1980/83 a 2006/07, se puede observar que hubieron pocos cambios. El área con maíz de la provincia de Buenos Aires tendió a reducirse desde 35% a 24,7%, hubo un aumento

importante de Córdoba de 22,5% a 32,2%, una relativa estabilidad de la provincia de Santa Fe (11% A 14%) y Entre Ríos (5% a 7%). También, pese a la amplia difusión del cultivo en el resto del país, su participación sobre el total tendió a mantenerse (13% a 15%). (Cuadro 14 y Figura 10).

CUADRO 14. Área cultivada (ha), de maíz período 1989/1998

Ciclo	TOTAL	BUENOS AIRES	CÓRDOBA	SANTA FE	LA PAMPA	ENTRE RÍOS	OTRA
1980/81	4000000	1500000	855000	541000	338000	246900	519100
1981/82	3695000	1281500	874800	530000	290800	169100	548800
1982/83	3440000	1075000	820000	523000	280000	195500	546500
1983/84	3484000	1195000	848000	465000	276000	121000	579000
1984/85	3620000	1290000	950000	441000	294000	121000	524000
1985/86	3820000	1274000	1070000	467000	354500	99000	555500
1985/87	3650000	1327000	874000	486000	358000	115000	490000
1987/88	2825000	985000	610000	330000	390000	110000	400000
1988/89	2685000	1075000	540000	300000	390000	100000	280000
1989/90	2070000	800000	423000	201000	290000	77000	279000
1990/91	2160100	881900	437700	238600	297500	81500	222900
1991/92	2686000	1099700	515800	327700	350000	114400	278400
1992/93	2962820	1156800	589000	392200	378100	129500	317220
1993/94	2781380	942430	685400	363300	339000	95000	356250
1994/95	2957700	1007200	768300	364900	325400	119000	372900
1995/96	3414550	1124600	881150	442800	355100	164800	446100
1996/97	4153400	1504000	1029500	558900	345000	209900	506100
1997/98	3751630	1371800	919100	479300	364500	190500	426430
1998/99	3270250	1109100	734050	446800	328800	181000	470500
1999/00	3651900	1210400	855400	492500	363100	222800	507700
2000/01	3494523	1095650	862750	433000	423000	231000	449123
2001/02	3061661	800846	906950	359800	402900	175400	415765
2002/03	3084374	762190	923570	369500	432550	196300	400264
2003/04	2988400	795530	738830	390550	399100	207500	456890
2004/05	3403837	933462	1027970	422900	370700	251000	397805
2005/06	3190440	822300	1038180	372045	338500	196750	422665
2006/07	3578235	919605	1151650	375370	431200	185600	514810
2007/08	4014215	1055985	1324700	427800	433500	222400	549830

Fuente: elaborado base SAGPyA (2008). Los datos del último ciclo (*cursiva*) fueron estimados del informe semanal.

CUADRO 15. Localización del Cultivo de Maíz en la Argentina. Área cosechada en miles de hectáreas y porcentaje.

	1982/84	%	1990/91	%	1998/99	%	2002/03	%	2006/07	%
Buenos Aires	1031,2	33,2	881,9	40,8	1132,2	35,8	744,9	24,7	919,6	24,7
Córdoba	616,6	19,8	437,7	20,3	712,0	22,5	839,4	27,9	1151,6	32,2
La Pampa	521,6	16,8	297,5	13,8	324,3	10,3	356,5	11,8	431,2	12,1
Santa Fe	249,0	8,0	238,6	11,1	412,8	13,1	432,6	14,4	375,4	10,5
Entre Ríos	70,0	2,3	81,5	3,8	165,6	5,2	182,3	6,1	185,6	5,2
Otras	621,0	19,9	222,9	10,3	415,7	13,1	455,7	15,1	514,8	14,4
Total	3109,4.	100	2160,1	100	3162,6	100	3011,1	100	3578,2	100

Fuente: Bolsa de Comercio Rosario (2007), SAGPyA (2007)

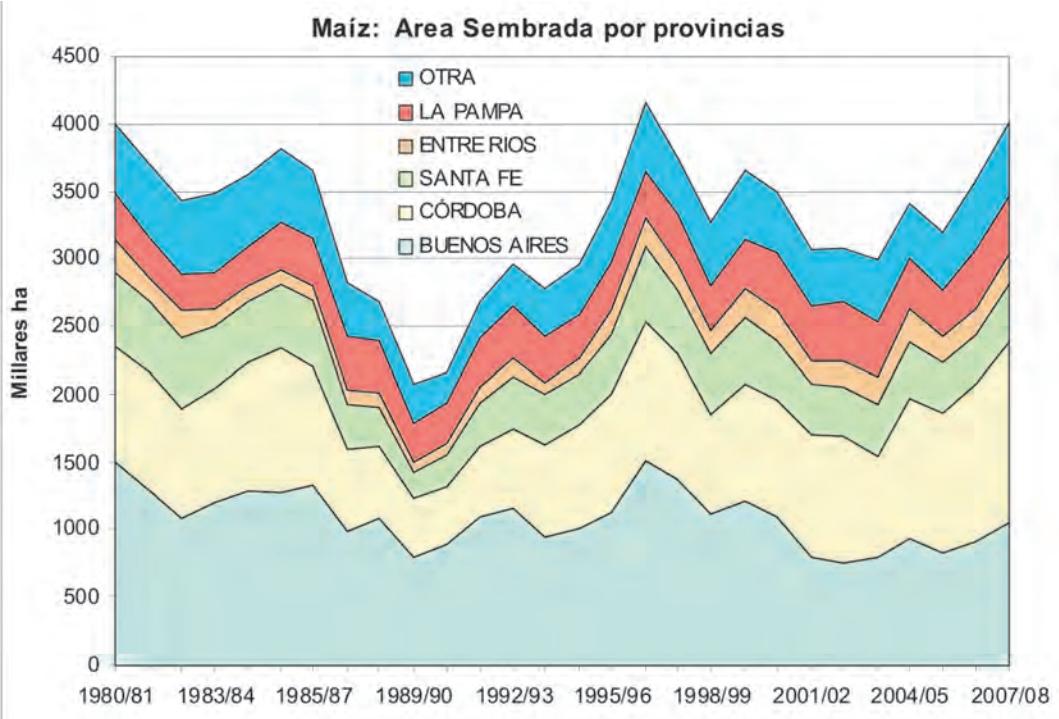


Figura 10. Área cultivada de maíz por provincias. Período 1980/2007

El crecimiento relativo de la producción de las provincias de Buenos Aires y de Córdoba se vio favorecido por los elevados rendimientos que se lograron en las mismas y también por un mayor destino final del área cultivada para la producción de grano. En otras provincias, el uso para pastoreo y para ensilar tiende a aumentar. La evolución de la producción de maíz mostró que hubo un fuerte incremento en las últimas 4 campañas agrícolas, casi todas arriba de 20 millones de toneladas. Como se mostró la tasa de crecimiento de la producción global en 2000/2007 fué próxima al 6%.

Con respecto al crecimiento por provincias se puede destacar que hubo un incremento en las provincias de la región pampeana, donde se destacó Córdoba que casi cuadriplicó la producción, le siguió en ese orden con el triple Entre Ríos, y el doble Santa Fe, y La Pampa. La provincia de Buenos Aires mantuvo su producción sin registrar aumentos. Algo similar ocurrió con el resto de las provincias productoras, donde a pesar de relevar un crecimiento su destino comercial no ha cambiado manteniendo

un nivel cercano al millón de toneladas (Figura 11 y Cuadro 16).

La evolución de los rendimientos por provincias.

El potencial productivo del maíz en la Argentina es considerado aún muy importante y está apoyado en los rendimientos récord superiores a los 90 qq/ha que se alcanzaron durante los últimos ciclos en las zonas productivas más importantes de la región pampeana. Según opinión de analistas, el cereal conserva un potencial de aumento que podría colocarlo en un nivel similar al de los países desarrollados.

Como fue destacado a nivel nacional, los rendimientos de maíz promediaban a principios de los años 1980 los 3,0 t/ha, mientras que en la primera mitad de la década de 1990 oscilaron alrededor de 4 a 4,5 t/ha. Durante las dos últimas campañas se alcanzaron registros promedios país de 7,25 t/ha (Cuadro 13).

Con respecto a las provincias se puede comprobar que el incremento del rendimiento

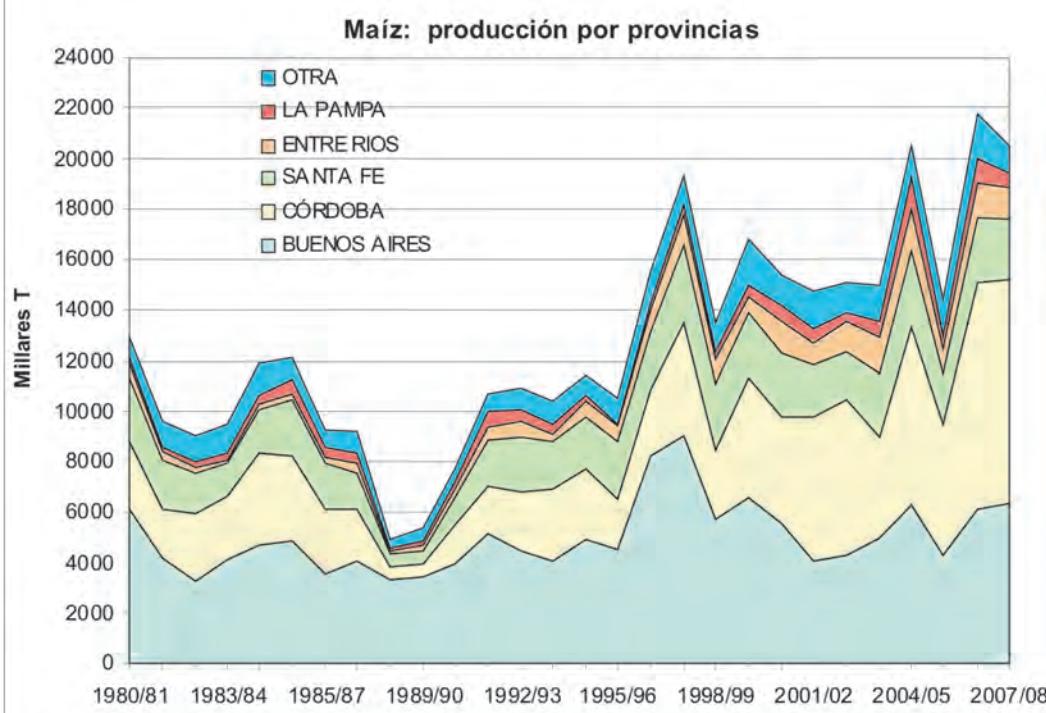


Figura 11. Producción de maíz por provincias. Período 1980/2007

CUADRO 16. Producción de maíz (toneladas). Período 1980/2007

Ciclo	TOTAL	BUENOS AIRES	CÓRDOBA	SANTA FE	LA PAMPA	ENTRE RIOS	OTRA
1980/81	12900000	6073000	2723000	2505000	259000	570000	770000
1981/82	9600000	4160000	1900000	2000000	185000	299000	1056000
1982/83	9000000	3280000	2650000	1630000	180000	232600	1027400
1983/84	9500000	4130000	2540000	1270000	270000	127000	1163000
1984/85	11900000	4680000	3610000	1780000	360000	197000	1273000
1985/86	12100000	4800000	3475000	2170000	520000	264000	871000
1985/87	9250000	3595000	2500000	1823000	441000	233300	657700
1987/88	9200000	4023000	2076000	1403000	391500	399900	906600
1988/89	4900000	3319000	519000	500000	200000	65000	297000
1989/90	5400000	3430000	532300	503000	148500	230000	556200
1990/91	7684800	3929300	1574100	1089000	319200	266300	506900
1991/92	10700500	5171300	1899300	1790400	700700	456600	682200
1992/93	10901000	4448000	2358400	2161000	475000	593000	865600
1993/94	10360000	4006300	2847000	1966400	342600	304900	892800
1994/95	11404041	4910400	2770700	2043300	232300	631700	815641
1995/96	10518290	4493520	2027900	2293100	132500	579200	992070
1996/97	15536820	8216320	2607100	2326800	251600	892200	1242800
1997/98	19360656	9031300	4422100	3133600	376000	1176000	1221656
1998/99	13504100	5702700	2799800	2556200	251700	1020200	1173500
1999/00	16780650	6590900	4765800	2521860	482300	630900	1788890
2000/01	15359397	5525640	4201110	2531270	616540	1275580	1209257
2001/02	14712079	4047780	5656070	2083370	539210	911750	1473899
2002/03	15044529	4267450	6160140	1909140	380740	1182410	1144649
2003/04	14950825	4998610	3941200	2558860	591340	1451330	1409485
2004/05	20482572	6266880	7061800	3006660	1250040	1625600	1271592
2005/06	14445538	4304450	5204450	1984720	583570	951190	1417158
2006/07	21755364	6095250	8919130	2635120	945800	1367240	1792824
2007/08	20500000	6300000	8900000	2365000	580000	1265000	1090000

Fuente: elaborado base SAGPyA (2008)

fue importante a partir de 1996. Las provincias ubicadas por arriba de la media nacional siempre fueron Buenos Aires y Santa Fe, pero a partir de 1999 la provincia de Córdoba también superó a la media nacional. Estas provincias se mostraron como las más competitivas en el rendimiento y a la vez las más promisorias para nuevas ganancias. Por su parte las provincias de La Pampa y resto de las provincias se mostraron como menos competitivas. Esto se puede explicar en parte porque en dichas provincias hay un mayor uso como forrajero en planta, silo o grano, y esto puede afectar el rendimiento promedio con destino comercial.

En el aspecto técnico, el principal cambio observado durante el período fue la introducción de variedades e híbridos múltiples, y más tarde de híbridos de tipo simple con mayor potencial

de rendimiento. Se ha logrado la difusión de cultivares de tipo dentado y semi dentado, además de los que poseen las típicas características del maíz duro o flint colorado. Se agregaron además, la oferta de cultivares generadas por la biotecnología como las resistentes a insectos y a algunos herbicidas.

La mejora en la productividad nacional ha sido la responsable de las producciones máximas alcanzadas durante los últimos ciclos agrícolas. La difusión de un paquete tecnológico con fertilización, riego y agroquímicos adecuados se ha intensificado en las regiones maiceras típicas, alcanzando en regiones como el norte del Provincia de Buenos Aires rendimientos de hasta 10 ton/ha. Inclusive el rendimiento promedio de la Provincia superó las 8,5 ton/ha (Figuras, 12 y Cuadro 17).

CUADRO 17. Rendimiento de maíz (Kg/Ha). Período 1980/2007

	TOTAL	BUENOS	CÓRDOBA	SANTA FE	LA PAMPA	ENTRE	OTRA
1980/81	3801	4532	3400	4799	2157	2850	1874
1981/82	3028	3820	2423	3892	1828	1912	2010
1982/83	3030	3496	3299	3525	1990	1574	1946
1983/84	3141	3950	3120	2940	2263	1503	2197
1984/85	3563	3933	3945	4036	2000	1698	2556
1985/86	3745	4267	3546	4667	3104	2794	2183
1985/87	3190	3457	2993	3813	2968	2530	2149
1987/88	3774	4478	3603	4268	2098	4106	2589
1988/89	2910	3694	1962	2381	2174	1578	1674
1989/90	3461	4594	2079	2773	2135	2987	2420
1990/91	4044	4650	3768	4764	2484	3472	2491
1991/92	4524	5116	3812	5675	3649	4399	2783
1992/93	4355	4460	4233	5574	3146	4853	3008
1993/94	4237	4498	4371	5432	2806	3485	2694
1994/95	4522	5037	4009	5790	2967	5399	2652
1995/96	4040	4526	3429	5415	2308	3730	2589
1996/97	4556	5817	3454	4606	2345	4412	2900
1997/98	6078	7258	5049	7099	3679	6548	3571
1998/99	5370	6058	4826	6563	3235	6058	3283
1999/00	5433	6100	5943	5800	4530	3401	3731
2000/01	5455	5836	5697	6357	4276	6201	3156
2001/02	6079	6454	6830	6837	4359	5875	3866
2002/03	6477	6988	7609	6826	4562	6584	3181
2003/04	6393	7569	6472	7544	4406	7452	3514
2004/05	7359	8236	8209	8237	5456	6867	3837
2005/06	5903	7154	6131	6576	4217	5270	3770
2006/07	7666	8604	9015	8513	4683	8135	3891
2007/08	6900	7800	7400	10000	3500	5600	2326

Fuente: elaborado base SAGPyA (2008)

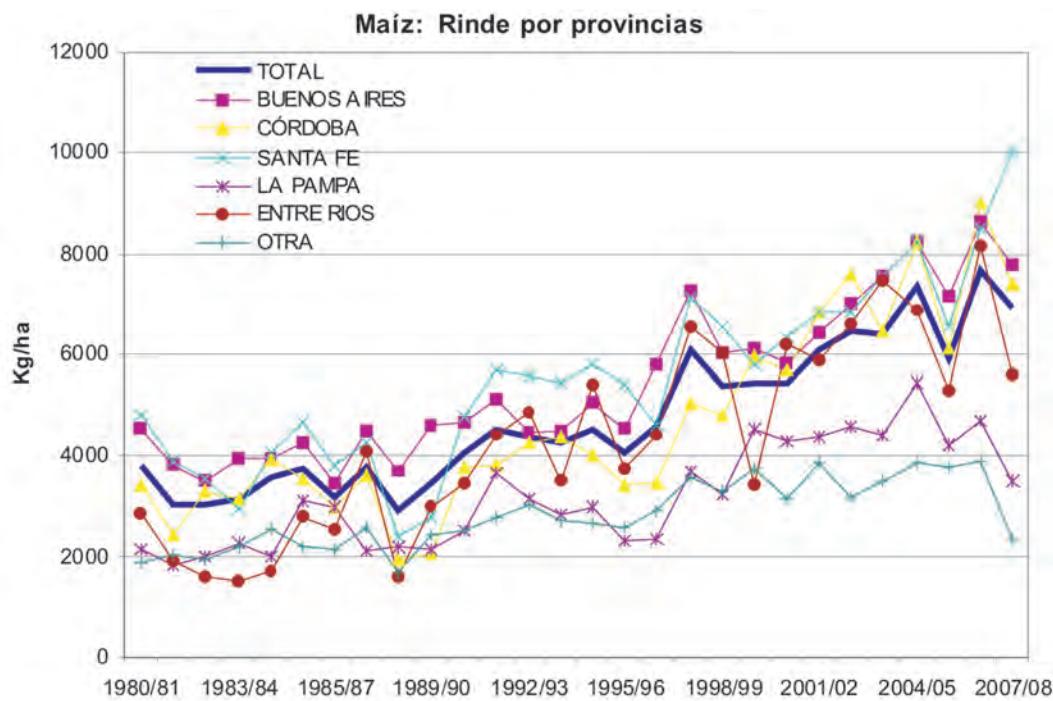


Figura 12. Rendimiento de maíz por provincias en Kg/ha. Período 1980/2007

Localización y estacionalidad

El maíz es un cereal de crecimiento estival cuyo cultivo en Argentina se extiende en toda la región pampeana, concentrándose en el norte de la provincia de Buenos Aires, sur de Santa Fe, este de la provincia de Córdoba y La Pampa. Según la Bolsa de Cereales de Buenos Aires, se puede observar la distribución geográfica del cultivo por municipios según la intensidad de siembra (relación entre la superficie cultivada en ese año y la superficie total del partido). La mayor concentración se produce en aquellos municipios cuya relación supera el 40% del área total, pero existe una gran dispersión en muchas localidades del país con menores intensidades y que pueden llegar a valores del 2% (Figura 13)

Como cultivo estival, la siembra se extiende desde el mes de septiembre hasta el mes de diciembre y la cosecha se realiza normalmente, de acuerdo a las zonas agro ecológicas, entre los meses de marzo a mayo. El período de desarrollo de este cultivo determina que los

rendimientos dependan en cierta medida de los registros pluviométricos de primavera-verano, siendo muy sensible tanto a la falta de agua como a las altas temperaturas en la etapa de floración (diciembre-enero). Las buenas condiciones ambientales durante los últimos ciclos permitieron que el maíz lograse productividades récord en la historia del cultivo, confirmando además a las provincias de Buenos Aires y de Santa Fe como las que lograron los mayores rendimientos.

Análisis de la comercialización

Comportamiento del comercio internacional de maíz 1990/2007

El comercio internacional de maíz durante el período de referencia mostró un crecimiento modesto (50,9%) pasando entre 1990 a 2007 de 63 a 95,1 millones de toneladas, y durante los últimos dos ciclos las exportaciones crecieron hasta alcanzar 95 millones. Comparando con el crecimiento del consumo en igual período, este pasó de 474 a 772 millones de toneladas,

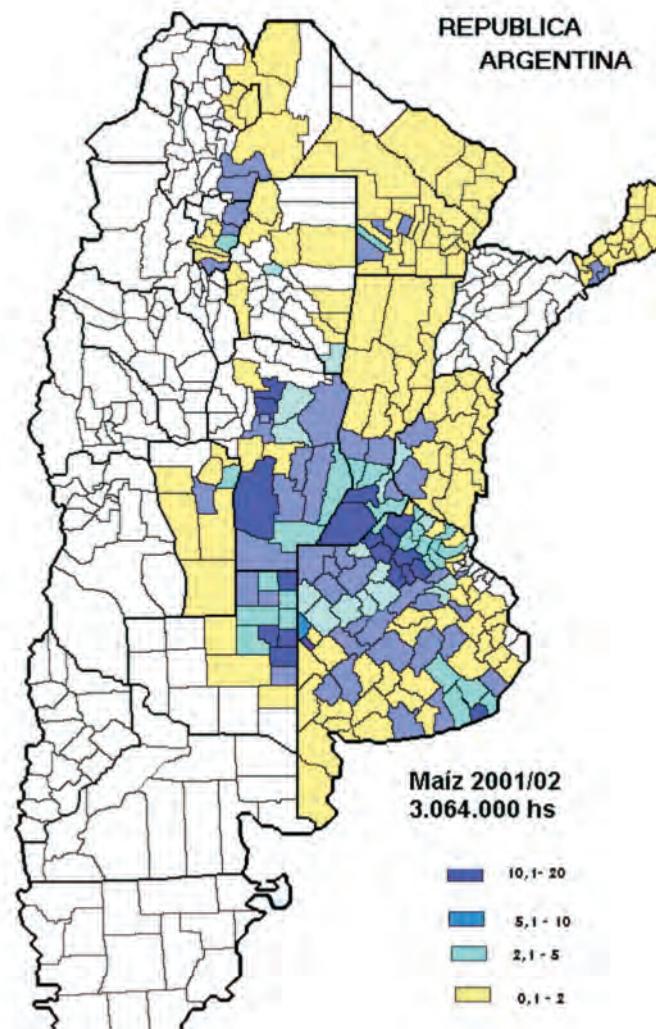


Figura 13. Distribución del maíz según intensidad de siembra por municipios. BC 2005.

lo que significó un aumento de 63,5%, siendo el aumento de la producción levemente inferior al del consumo (Cuadro 1).

El aumento del consumo en 298 millones y del comercio en apenas 32 millones de toneladas significa que los países apelaron, en su mayor parte, más a la producción doméstica que al comercio internacional para atender sus necesidades de consumo. Algunas de las razones para esto se encontraron en los programas de auto abastecimiento encarados por los países desarrollados y sus políticas agrícolas de fuertes subsidios a la producción.

A partir de la observación de las relaciones entre el comercio y el consumo puede comprobarse que entre 1980 y 2007 esa relación pasó de 19,5% a 12,3%, siendo el resto atendido

por la producción doméstica. Esto significa que la siembra de maíz mundial está orientada en más un 88% al consumo dentro de los propios países, que al comercio de exportación. Cabe señalar que el mínimo se alcanzó en 2004 cuando esa relación apenas alcanzó a 11,05%.

La baja relación comercio/consumo o comercio/producción significó también que el cereal se hizo más sensible a variaciones en las políticas de subsidios a la producción, dado que un incremento importante en la misma podría resultar en un mercado de exportación con saldos crecientes y difíciles de absorber por parte de los consumidores, lo que podría provocar un fuerte efecto en los precios del cereal. Se puede concluir, que durante la década de 1990 y hasta el 2007 el mercado de exportación mundial de

maíz se mostró poco dinámico, tornándose menos importante para abastecer el consumo vía el comercio internacional, revelando un crecimiento inferior al de la producción y del consumo.

Los principales países de destino de las exportaciones argentinas de maíz

Durante los últimos años, las exportaciones argentinas de maíz han experimentado un fuerte crecimiento hasta alcanzar el segundo lugar en el mundo. Las mismas se realizaron desde los puertos Argentinos sobre el Río Paraná y marítimos desde Mar del Plata a Bahía Blanca. Las exportaciones tienen como destino un grupo de alrededor de 50 a 60 países por año, ubicados en los cinco continentes.

El común denominador de esas exportaciones estuvo constituido por embarques de poco volumen y distribuidas durante todo el año comercial. Si bien existe cierta estacionalidad a la salida de cosecha, las exportaciones resultan distribuidas en el año, siendo igualmente importantes en los meses más alejados de la cosecha.

Un aspecto revelante de las exportaciones argentinas de maíz de los últimos años, fue el comportamiento cambiante de los principales destinos, o países compradores y donde más del 50% a 60% de las exportaciones totales se realiza a un conjunto de destinos (más de 50 países) comprendidos en “otros”.

Según el promedio de los destinos comerciales del período 2000 a 2007, los primeros principales compradores de maíz Argentino fueron Malasia,

España, Egipto, Arabia S, Chile y Sudáfrica. Estos países superaron compras promedios (de años efectivos) de un millón de toneladas por año, variando su participación en forma decreciente del 12,2% al 8,5%. En el caso particular de Brasil, alcanzó a 1,459 Mt, el 12,7% de las ventas totales, pero se produjo solo en el año 2000. Para el resto los destinos estuvieron presentes al menos en 3 de los 8 años considerados (Cuadro 19). Lo anterior supone una gran competencia del país alcanzando numerosos destinos, donde el precio actúa como un factor fundamental de esa competitividad, pero también la buena calidad y preferencia de la industria de raciones por el maíz de la Argentina con partidas de tipo duro o colorado. Sin embargo la ausencia de grandes compradores consistentes, atenta contra la negociación de mediano a largo plazo. Se observa que el país no ha logrado mantener acuerdos comerciales como proveedor del cereal por un volumen importante con los países compradores, a pesar de las consideraciones sobre la calidad y las características del cereal local.

La participación de Argentina en el comercio internacional de maíz ha resultado creciente, especialmente en el período desde 2000 a 2007. Ha logrado aumentar el volumen de sus exportaciones. Para ello hubo ganancia de parcelas de mercado por parte del país, que resultan indicativas de una gran competitividad, dado que las mismas se lograron en un contexto de un mercado de exportación poco dinámico y donde otros países tuvieron pérdidas de parcelas de mercado.

Cuadro 18. Principales países de destino de las exportaciones argentinas de maíz. En miles de toneladas.

2004			2005			2006			2007		
Paises	VOLUM EN	%	Paises	VOLUM EN	%	Paises	VOLUM EN	%	Paises	VOLUM EN	%
Arabia S	946	9	Malasia	1717	12	Malasia	1883	18	ESPAÑA	1664	11
Malasia	853	8	Egipto	1409	10	Sudáfrica	970	9	Malasia	1353	9
Perú	809	8	Arabia S	1209	8	PERU	960	9	Chile	1327	9
Argelia	802	8	Perú	1114	8	Chile	929	9	Sudáfrica	1238	8
Chile	732	7	España	1041	7	Argelia	709	7	Egipto	1170	8
Otros	6141	60	Otros	7738	54	Otros	4863	47	Otros	7916	54
Total	10283	100	Total	14226	100	Total	10313	100	Total	14667	100

Fuente: elaborado base SAGPyA (2003).

Cuadro 19. Principales países de destino de las exportaciones argentinas de maíz. Período 2000/2007.
En miles de toneladas.

Países	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	PRO MEDIO	Porcentaje
Brasil	1459								1459	12,69
Malasia		649			853	1717	1883	1353	1291	11,23
España	1386		842	997		1041		1664	1186	10,32
Egipto	1121	912	930	1258		1409		1170	1133	9,86
Arabia S				990	946	1209			1048	9,12
Chile	1055	1232	932	968	732		929	1327	1025	8,92
S África				712			970	1238	973	8,47
Perú	628				809	1114	960		878	7,64
Corea S.		995	754						874	7,61
E Árabes				850					850	7,39
Argelia					802		709		755	6,57
Japón		511							511	4,45
Otros	5152	6413	5140	6586	6141	7738	4863	7916	6244	54,32
Total	10801	10712	9310	11649	10283	14226	10313	14667	11495	100

Fuente: elaborado base SAGPyA (2008).

La demanda mundial de maíces especiales, como el maíz colorado y duro de Argentina podría contribuir a alcanzar acuerdos y aplicar estrategias de ventas para desarrollar dichos mercados. El abastecimiento de mediano a largo plazo contribuiría a reforzar la competitividad de las exportaciones del cereal.

Las exportaciones argentinas de maíz fueron muy importantes en el valor de mismas. En el año 2007 se exportaron alrededor de 15 millones de toneladas, con un ingreso estimado de divisas de 2.600 millones de dólares. Dicha valor representó el 9,7% del total de las exportaciones de origen agropecuario y el 4% del total de las exportaciones argentinas (**IICA, 2007**).

Consumo interno

Según la información del USDA el consumo de grano maíz en el país durante la década de 1990 se ha mantenido alrededor de las 5 a 6 millones de toneladas. Para 2000 a 2007 la misma fuente indica un incremento llegando en los dos últimos ciclos hasta casi 7 millones de toneladas. Ese consumo se compone de uso directo en la industria de raciones, la molienda

industrial seca y húmeda y el consumo en chacra o en los propios establecimientos agropecuarios (Cuadro 20 y 21)

En el mercado interno el consumo en chacra para alimentación animal resulta de difícil estimación porque muchas veces no entró en el circuito comercial. Las estimaciones varían según las fuentes consultadas. La organización de la cadena del maíz (MAIZAR, 2007) estima entre 20 y 35% para dicho destino. El consumo interno de maíz está siendo orientado a la producción porcina, al suplemento para los vacunos en confinamiento (engorde a corral) y para la producción láctea. El consumo como forraje en chacra osciló entre 3,5 y 4,0 millones de toneladas. Este fue estimulado por la expansión de la agricultura en áreas mixtas, dejando al maíz como el producto base de los alimentos pecuarios junto a los forrajeros alternativos.

La industrialización doméstica utilizó entre 1,5 y 1,8 millones de toneladas anuales, incluyendo el procesamiento de maíz en las fábricas de alimentos balanceados, de glucosa y derivados del almidón (molienda húmeda), y de las productoras de harina de maíz (molienda seca) (SAGPyA, 2007).

CUADRO 20. Destinos de la Producción de Maíz 1991/92 – 2007/08 (en miles de toneladas)

Tipo de uso	1991/992	%	1998/99	%	2002/03	%	2007/08	%
Producción	10500		14000		15000		21500	
Exportaciones	6500	62.0	9000	62.0	10000	66.0	15300	40.5
Uso Semilla	50	0.5	100	0.5	120	0.8	140	0.65
Industrialización								
Al. Balanceados	900	8.5	1200	8.5	1000	6.7	1150	5.3
Alm.-Glucosa	700	6.6	900	6.6	850	5.7	950	4.4
Molienda seca	150	1.4	250	1.4	250	1.7	260	1.2
Consumo en chacra	2200	21.0	3200	21.0	2800	18.7	3500	16.8

Fuente: SAGPyA (2007). Alimentos Argentinos Cadena de Maíz (2007).

CUADRO 21. Consumo de maíz en raciones. Argentina, 2007.

ITEM	Mill t	%
BOVINOS	0,85	14
De prop láctea.	0,35	
De prop carne.	0,50	
AVES	2,15	54
Parrilleros.	1,70	
Huevos y otros.	0,45	
PORCINOS	0,75	26
Cerdos y otros.	0,75	
OTROS	0,35	6
Doméstico.	0,25	
Varios.	0,15	
TOTAL	4,1	100

Fuente: Estimado según Bolsa de Comercio de Rosario (2006)

Estructura del Mercado Interno

La comercialización doméstica del maíz utiliza la cadena tradicional de los productos granarios, incluyendo el sistema de transporte de chacra al acopio, la clasificación y acondicionamiento de acuerdo a las normas y un servicio de transporte y de almacenamiento en zonas de origen y otras en los puertos de exportación y/o las fábricas. Se sumó durante los últimos años una creciente capacidad de almacenaje en campos de los productores o en zonas productoras, basada en nuevas instalaciones, pero fundamentalmente por el uso de silos plásticos.

La demanda interna de maíz comprende a los exportadores, los industriales (según los sectores apuntados previamente) y al consumo en chacra. La elasticidad de la demanda industrial varía según la rama a considerar. En el caso de los elaboradores de alimentos balanceados, su demanda está estrechamente vinculada a la producción interna de pollos, cerdos y raciones para vacas lecheras. La glucosa y la fructosa obtenidas de la molienda húmeda dependen fuertemente de la industria de bebidas gaseosas y otras que emplean endulzantes sustitutos del azúcar de caña.

El consumo de maíz en chacra depende de la relación de precios entre el maíz y la carne

vacuna pero en los últimos años se ha disparado el uso para terminación de hacienda vacuna y/o directamente para engorde bajo formas de confinamiento.

La industrialización de maíz

La industrialización de maíz comprende dos procesos tecnológicamente diferentes: la molienda húmeda y la molienda seca. Cada uno de ellos permite obtener distintos productos.

La industria de molienda húmeda y seca

En conjunto, las moliendas húmeda y seca utilizan en promedio el 13 % de la producción nacional de maíz. Si se analiza la evolución del volumen de molienda en los últimos diez años, se observa una tendencia creciente hasta el año 2001. Luego, en 2002 se verifica una caída del 22 % respecto al año anterior. Ambos fenómenos pueden explicarse, en parte, por el comportamiento del consumo de bebidas gaseosas, una industria demandante de edulcorantes derivados del maíz. El consumo de gaseosas fue creciente entre 1996 y 2001, registrándose una caída en 2002 como consecuencia de la recesión económica. Los niveles de molienda de maíz se recuperaron a partir de 2003, estabilizándose en los 2 millones de toneladas anuales. De este total, alrededor de 1,2 millones corresponden a molienda húmeda. Los principales productos son fructosa 55, con una producción estimada de 250.000 toneladas anuales, glucosa con 80.000, fructosa 42 con 50.000 y almidones con 70.000 toneladas anuales.

Las principales plantas de molienda húmeda, su localización y su capacidad de procesamiento son: ARCOR, Arroyito, Córdoba, 320 (tn/día); ARCOR, Lules, Tucumán, 340 (tn/día), GLUTAL, Esperanza, Santa Fe, 80 (tn/día), LEDESMA, Villa Mercedes, San Luis 550 (tn/día), PRODUCTOS DE MAÍZ, Baradero, Buenos Aires, 840 (tn/día), PRODUCTOS DE MAÍZ, Chacabuco, Buenos Aires, 1000 (tn/día).

La actividad industrial utiliza su capacidad a pleno, por lo que se esperan nuevas inversiones en el corto plazo. Sin embargo los montos necesarios son muy altos: construir

una planta nueva de 1000 toneladas/día de molienda demanda alrededor de 100 millones de dólares. Asimismo los plazos de ejecución de ampliaciones y nuevas instalaciones son largos, no inferiores a 3 años. Como producto de inversiones realizadas en los últimos años, las empresas cuentan con tecnología de punta y en su mayoría con certificaciones de distintos sistemas de calidad como ISO y OHSAS.. En la estructura de costos, el cereal es el componente más relevante, ya que representa alrededor del 50%. Son también importantes los costos relacionados con el capital (mantenimiento, intereses, amortizaciones), energía y combustibles. El uso de productos químicos en general es bajo, pero son significativas las enzimas. Por las características del proceso, la mano de obra tiene baja incidencia.

Para el caso de la molienda seca, las principales empresas, su localización y capacidad de procesamiento son ARCOR, .San Pedro, Buenos Aires, 300 (tn/día); F y A Basile SA., Buenos Aires, 300 (tn/día); Indalar SA, Armstrong, Santa Fe, 130 (tn/día), Leones de Bleck, V. Makenna, Córdoba, 90 (tn/día), Los Arrayanes. Quilmes, Buenos Aires, 100 (tn/día), Molino Don Andel, Villa Ramallo, Buenos Aires, 100 (tn/día), Molino Indelma S.A, Sanford, Santa Fe, 70 (tn/día), Rivara, Alberti, Buenos Aires, 130 (tn/día), Suc. de Ricardo Ross, Gualeguaychú, Entre Ríos 30. Existen además alrededor de 60 molinos con una capacidad de molienda promedio de 25 toneladas por día. La planta de ARCOR, de San Pedro y la de F y A Basile S.A, en Chacabuco, cuentan con certificación 9001:2000 Una de las modalidades de abastecimiento de la industria es la producción de maíz por contrato. La molienda seca ya está trabajando en este formato y también se dan algunos casos en la molienda húmeda.

Formación del Precio

La formación del precio del maíz en Argentina sigue una estructura similar a la del resto de los granos, cuyo destino preponderante es el comercio de exportación. Para el maíz, también su principal destino es la exportación, liderando en los últimos años al resto de los granos. Para los ciclos 2006/07 y 2007/08 y en millones de

toneladas, se exportaron 15 de maíz, 10 de trigo y 8 de poroto de soja. Por lo tanto, se deben considerar en primer lugar, los principales factores determinantes del precio de exportación en los puertos argentinos (precio FOB) y luego la relación con el precio interno (FAS).

Formación del precio FOB (Puertos de Argentina)

Los principales factores a considerar en la formación del precio FOB puertos argentinos de maíz son a) la situación de oferta y demanda mundial y b) el volumen del saldo exportable.

La situación de oferta y demanda mundial de maíz depende de lo que suceda en el mundo pero principalmente en los Estados Unidos, primer productor y exportador mundial del cereal. Las áreas de siembra, el clima y la producción dominan cada campaña hasta que se defina la oferta de cada año. El consumo, la industrialización y la alimentación animal y humana, constituyen la demanda, sumando a ello el comercio internacional, cerrando el balance con los remanentes al final de cada ciclo. Estos argumentos constituyen la base del análisis fundamental, esencial para determinar los cuadros de escasez o de sobre abundancia, cuyo remanente o stocks finales dan los argumentos para definir los precios del cereal. Bajo los supuestos de un mercado competitivo, los precios resultan las señales que disponen los agricultores para ajustar las siembras y aumentar/disminuir la producción, constituyendo un mercado que se tiende a autoregular.

La situación anterior resulta fuertemente influenciada por las política agrícolas que cada país viene utilizando, y en el caso de los EEUU, tienen una gran influencia doméstica y para el comercio exterior.

La política estadounidense para el maíz y los cereales en general, se apoya en dos bases: la sustentación de los precios y el control de superficies de siembra. La sustentación de precios sirve como base para el establecimiento del monto de subsidio que reciben los productores estadounidenses. De acuerdo a las condiciones de mercado, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) establece el porcentaje del área base que el productor debe retirar de la producción para enrolarse en los

programas oficiales. A partir de la Ley Agrícola de 1995, los productores cuentan con sistemas de préstamos a tasas preferenciales (loan rate) que les permite guardar la mercadería a partir de determinado precio, el que se viene fijando por el gobierno en base al promedio de los últimos cinco años. Durante el último quinquenio, se levantaron algunas restricciones procurando hacer al mercado más vinculado a los precios y con menor intervención del Estado. Sin embargo persistieron los precios de soporte y las subvenciones, que se fijan todos los años y donde se destacan los de los cereales menores, tratando atenuar la reversión de área que vienen experimentando.

En forma más reciente y en función de las políticas ambientales y de la bioenergía, se propuso el plan de 20 por 10, enunciado y vigente con la administración Bush, donde se propuso reducir 20% el consumo de petróleo en los EEUU, en el término de diez años y reemplazarlo por las fuentes renovables en base a la bioenergía (USDA, 2007) Outlook conference 2007.

Junto al desarrollo de la industria del etanol en los EEUU se propuso un subsidio en el orden de 0,57 U\$S por galón para la fabricación de este tipo de alcohol, basado casi integralmente en el uso de maíz estadounidense. Esta política bioambiental propuso un uso industrial del maíz para la fabricación de combustible que incrementó notablemente las proyecciones de consumo. La instalación de plantas de elaboración de etanol en ese país fueron crecientes y las proyecciones de uso del cereal sólo con este fin se remontan a 150 millones de toneladas para el ciclo 2010. Los efectos de esta política fueron inmediatos. En la campaña 2007/08 se alcanzó una producción extraordinaria y récord de 332 millones de toneladas (267 año anterior), basadas en un incremento de la siembra a 35 millones de hectáreas (28,6 año anterior) por arriba de las tradiciones 29 a 31 utilizadas en ese país con el cereal. Los efectos en los precios fueron directos y a partir de octubre de 2006, se inició un nuevo ciclo de elevados precios que continúa hasta el presente (marzo de 2008). Según los meses de comparación, las alzas fueron desde los 80 a 90 u\$s/t antes del inicio de la suba, hasta cerca de 240 a 270 u\$s/t,

según las cotizaciones vigentes de los primeros meses de 2008. La casi triplicación de los precios del maíz en los EEUU ha provocado un cambio drástico en el balance del cereal. Esto influyó en los demás cereales, y también en los oleaginosos, determinando un ciclo de altos precios que a juicio de los analistas continuará por algunos años, siempre que en los EEUU las variables de política sobre los biocombustibles se mantengan inalteradas.

El saldo exportable de maíz de los EEUU en 2007/08 fue de 63 millones y se canalizó a los puertos de exportación del Golfo de México, donde se constituyen las firmas agro exportadoras y la infraestructura más importante para este servicio.

El precio del cereal en el Golfo de México se cotiza en FOB (libre en la bodega del barco) y tiene el recargo por el transporte desde las zonas productores, el acondicionamiento, las cargas y servicios de puerto (fobbing). Bajo situaciones normales, el cereal cotiza 20 a 30 dólares más que en Chicago, pero depende de la oferta, de la época del año y de las urgencias de embarques, pudiendo ampliar esa brecha y/o reducirla.

La divulgación de los precios FOB Golfo de México y el conocimiento de la oferta real de exportación, el ritmo de embarques, y los flujos de salidas del cereal, constituyen otro argumento muy importante que ayuda a definir el precio del maíz en el mercado doméstico de los EEUU. Además, el mundo agro exportador e importador toma referencia de dichos precios para sus negocios de importación, empleando a los corredores y firmas agro-exportadoras para canalizar este comercio. Dado que este país genera el 60% del saldo exportable mundial de maíz, los precios FOB en el Golfo son la referencia fundamental para el resto de los países exportadores, los que establecen sus ofertas de compras o de ventas, con un fuerte vínculo a las variaciones de dicho referencial. En ocasiones las ofertas del maíz desde otros puertos exportadores, como Brasil y Argentina pueden estar, por arriba o por debajo de los precios Golfo. En las diferencias hay componentes de fletes, tiempos y servicios como así también, preferencias y sistemas de financiamiento. Una gran parte de la ayuda alimentaria que posee los EEUU genera precios

de exportación para ciertos destinos por debajo de los precios de mercado.

Argentina como segundo exportador mundial tiene una relación directa con el precio FOB Golfo de los EEUU, utilizando esta paridad para fijar el precio FOB Puertos Argentinos para la oferta exportable de maíz. La relación existente entre los precios FOB del maíz en Argentina y en los Estados tiende a una paridad. Se actualizan en forma diaria siguiendo a las variaciones de Chicago, pero puede llegar a situarse por debajo o por encima, dependiendo de las urgencias puntuales que rigen las operaciones.

Para un importador asiático, por ejemplo, interviene además del precio FOB del cereal en el Golfo o en Rosario, el costo del flete y los tiempos y características del embarque desde ambas procedencias. Los puertos Sudamericanos tienen capacidad de carga menor, son puertos de río con dragados que no permiten entrada de barcos grandes (king side) y una menor frecuencia respecto a los servicios desde y hacia el Golfo. Esta es una de las razones por la cual el cereal desde la Argentina (puertos argentinos) pueda resultar menor al de los EEUU. Existen factores que hacen a la diferencia de precio FOB entre el maíz Argentino con su par Norteamericano o de otras procedencias. La existencia de un mercado segmentado por calidad para el maíz colorado duro argentino (o maíz "Plata"), la certificación de libre o no de OGM, la contra estación, pueden determinar diferencias tanto en la cotización de exportación (FOB ptos argentinos), como en el descuento con respecto al precio de otros orígenes. Como todo mercado de commodities, depende del saldo exportable que posee el país en determinada temporada. Cuanto mayor sea la producción de maíz de Argentina para esa temporada, mayor sería el saldo exportable, y debido a la necesidad de colocación con precios competitivos derivaría en una oferta con mayor descuento de precios con respecto a las cotizaciones en el Golfo de Méjico.

El diferencial promedio entre el FOB Golfo de Méjico y el FOB Puertos Argentinos en el periodo 1990/98 se hizo más errático oscilando entre 3 dólares por encima o por debajo para

el FOB Puertos Argentinos comparado con los 5 u\$s/t de premios sobre el cereal argentino del quinquenio 1970/75. Durante los ciclos 2000 a 2007, para el mes de abril de cada año, se acentuó el descuento sobre el cereal en puertos argentinos (Cuadro 22).

CUADRO 22. Evolución de los Precios del maíz FOB Puertos Argentinos y Golfo de México. En dólares por toneladas.

Ciclo	FOB Ptos Argentinos	FOB Golfo De México	Diferencial Golfo - P. Arg
1970/71	59.0	53.0	-6.0
1975/76	118.0	115.0	-3.0
1994/95	127.0	124.0	-3.0
1998/99	109	112	+3
2001/02	87	89	+2
2002/03	98	102	+4
2003/04*	105	120	+15
2007/08	234	245	+11

Fuente: Bolcereales.com.ar/precios.asp (2007). * mes de marzo 2007.

Formación del precio FAS: Las retenciones a la exportación.

Las retenciones¹¹ son impuestos a la exportación que se han utilizado durante varias décadas en la agricultura Argentina y han formado parte de las políticas aplicadas al sector agrícola. Junto al valor de la moneda local respecto al dólar, o paridad cambiaria, han contribuido a generar un cambio efectivo menor para la exportación de los productores de origen agropecuario, pero también se han aplicado a las exportaciones de hidrocarburos y a productos de la minería.

Durante el período 1992/2000 de la paridad uno a uno de la moneda local con el dólar, establecida por la Ley de Convertibilidad,

¹¹, Las mismas han sido aplicados en forma permanente a partir del año 1967, con la sanción de la ley 17.198 cuando se estableció este impuesto para numerosas mercaderías. Si bien esta ley se encuentra derogada, sus disposiciones fueron receptadas por el Código Aduanero (Ley 22.415 -Adla, XLI-A, 1325) en su art. 724 y subsiguientes. En el art. 755 del mismo cuerpo legal, se fijó una extensa serie de facultades al Poder Ejecutivo que le otorgan, lisa y llanamente, la prerrogativa de hacer y ejecutar la ley. Se lo faculta para gravar, desgravar, modificar derechos y/o conceder exenciones referidas a los impuestos a la exportación, cubriendo así casi todos los casos posibles. En lo instrumental por imperio del art. 1º del Decreto N° 2752/1991, se delegó en el Ministerio de Economía Obras y Servicios Públicos, las facultades conferidas por el citado artículo 755 del Código Aduanero (SANABRIA, P., 2008)

las retenciones bajaron a un nivel mínimo en décadas, siendo de 3,5% para los granos oleaginosos sin procesar y nulos para gran parte de los productos del agro y sus derivados.

A partir del año 2001 y tras la caída del plan económico basado en la convertibilidad y la devaluación de la moneda local, se restituyeron los usos de tasas a la exportación de los productos agrícolas, entre ellos el correspondiente al maíz, al igual que para otros granos sin procesar, fijándose en un 20% del valor FOB utilizado para imposición.

Para la formación doméstica de precios de los granos (precios FAS y precios Cámaras) las retenciones constituyeron la herramienta principal para generar una tasa de cambio efectiva menor para los productos agropecuarios de exportación. Al componente impuestos o gravámenes se le sumaron los tradicionales gastos de los servicios de puertos como control sanitario y/o tasas varias que componen el gasto de exportación usualmente conocido como fobbing. El precio resultante deducidos del FOB los impuestos y los servicios resulta conocido como FAS (Free Alongside Ship) o precio dársena, derivado de la sigla que indica "mercadería libre al lado del barco".

A partir del precio FOB, el exportador considerando los derechos, su estimativa de sus costos y gastos establece el precios FAS teórico, al cual puede comprar la mercadería. La transmisión de esta señal a mercado de físico usualmente se realiza en el contexto de las Cámaras Arbitrales, y utiliza a los corredores para comprar la mercadería que debe ser exportada. Los vendedores en dichos recintos llevan las ofertas de los productores, acopios, y/o instituciones y en el negocio diario, se concretan ventas y compras, estableciendo el precio vigente para un determinado día. La divulgación de estos precios denominados Cámaras constituyen las referencias diarias para las ventas que tienen los productores, Las mismas se publican diariamente para plazas por localidad, como por ejemplo Rosario, Buenos Aires, Bahía Blanca, Necochea, etc.

La relación entre el FAS teórico y el precio Cámara resulta muy cercana, pero puede variar en función de las urgencias o demoras en la mercadería, tanto de entrada a la plaza cerealera como a la salida de la exportación.

También, participan en estas compras los corredores de las fábricas contribuyendo todos los demandantes a la formación del precio diario.

Las retenciones intervienen en la formación del precio deprimiendo el valor recibido por los agricultores de toda la mercadería enviada al exterior. Pero como en los recintos de las Cámaras se compra y se vende para la exportación, para la industria y para el consumo, se logra un solo precio, que refleja también para el mercado interno el valor de las retenciones. Esta herramienta es reconocida por su eficacia para deprimir el precio de los productos exportables en el mercado interno, de esta forma los granos y/o alimentos alcanzan un precio doméstico de equilibrio inferior al internacional.

Por su efecto anti-inflacionario sobre los precios domésticos y por ser de rápida y fácil recaudación, los gobiernos se han visto tentados a través de décadas al uso de esta herramienta.

La paridad teórica para la formación de precios en el mercado interno responde a la relación siguiente:

$P_{\text{Dársena}} (\text{FAS}) = P_{\text{Internacional}} (\text{FOB Puerto Argentino}) \times \text{Tasa de Cambio} (\text{Banco Nación}) - \text{Retenciones (\%)} - \text{Gastos de embarque (Fobbing)}$.

Como un ejemplo vigente al mes de marzo de 2008 se puede indicar.

$558 \text{ \$/t (FAS)} = 225 \text{ (FOB u\$s/t)} \times 3,14 \text{ (Tasa Cambio)} \times 20/100 - 7 \text{ (Fobbing)}$

Los exportadores o la industria efectúan compromisos de ventas en el exterior y luego salen a competir en el mercado doméstico para comprar grano y cumplir con los embarques. Algunas necesidades puntuales de mercadería para completar embarques lleva a pagar por encima de la paridad teórica, aunque lo normal sería el pago acorde a la misma logrando además una ganancia razonable.

En resumen, la formación de precios doméstica del maíz tiene en sus argumentos el mercado internacional donde se colocan los excedentes, el precio FOB tanto de Golfo de México como su relación con el FOB en puertos Argentinos, la tasa de cambio efectiva y las retenciones. Los precios en las cámaras resultan de la oferta y de la demanda. Pese a la complejidad, los precios de los granos están globalizados, lo que establece

relaciones diarias casi directas entre el sector internacional y el local.

Aspectos Económicos del Cultivo

El panorama de los precios internacionales y locales a lo largo de las campañas agrícolas mostró que los resultados económicos alcanzados por las empresas rurales con el maíz variaron fuertemente. El precio del maíz para los meses de cosecha entre marzo a junio fue utilizado para el cálculo económico de cada campaña. Los rendimientos fueron considerados como los factibles de obtener con el cultivo y con la tecnología utilizada para el Norte Buenos Aires y Sur de Santa Fe. Los precios de los insumos y de las labores más comunes fueron estimados o corregidos para el mes de cosecha, variando la composición de los mismos según las tecnologías.

Los márgenes brutos y netos

Una medida aproximada de la rentabilidad del cultivo son los márgenes brutos, que según el método utilizado representa los ingresos descontados los gastos de comercialización y sustraídos los costos incurridos en la conducción del cultivo, incluida la cosecha (INTA, 1995). Los ingresos dependen de los rendimientos y de los precios de venta. Los costos dependen de gastos originados en la preparación de la tierra (labores), la siembra (semilla), la conducción del cultivo (tratamientos e insumos) y la cosecha. Además, influyen fuertemente los gastos de la comercialización, cuyos principales factores incluyen el transporte, los impuestos y el acondicionamiento de los granos.

La rentabilidad aproximada de los cultivos con los precios para el 15/03/2008 y para los rendimientos promedios de la zona norte de la provincia de Buenos Aires, se muestra en el Cuadro 23.

Se puede observar que los ingresos cubren los costos directos incluida la cosecha y generaron un margen bruto superior a 480 y 690 u\\$s/ha para los rendimientos de 75 a 95 qq/ha. También los de alquiler a los valores que fueron destacados en dicho ciclo y la modalidad de porcentaje (40%)

arrojan una buena rentabilidad. Se destaca que puntualmente, entre los principales cultivos, los márgenes del maíz fueron los más altos para el ciclo 2007/08.

Si se incluyen los gastos fijos y los gastos de estructura de los establecimientos (Gastos de campo; encargado, movilidad, seguros, mantenimiento, electricidad, telefonía, asesor técnico, gastos de administración, impuestos fijos inmobiliario y tasa vial, tasas y servicios), indicados para la zona de referencia, significarían un gasto fijo adicional de 170,9 u\$s/ha. Los resultados en términos de márgenes netos para el 2007/08, del cuadro de referencia arrojarían ganancias de 313 y 523 u\$s/ha, respectivamente (Agromercado, marzo 2008).

Se puede comprobar que la rentabilidad del cultivo de maíz medida en término de los márgenes brutos y netos de las actividades, se encuentra entre los mas elevados respecto a las demás culturas.

Los márgenes brutos históricos de maíz

Según el IICA que recopiló los datos procedentes de Márgenes Agropecuarios y para la región de referencia los márgenes históricos de rentabilidad del maíz para el período comprendido entre 1990/91 y 2004/05 variaron entre 115 y 460 u\$s/ha. Vale la pena destacar que en 1995/96 y 1996/97 se alcanzaron los mayores márgenes de rentabilidad del maíz tanto expresado en márgenes brutos como en márgenes netos situación que reiteró en el ultimo ciclo.

Según la SAGPyA (2007) en el estudio históricos de los márgenes brutos para 1981/82 a 2006/07, del cultivo de maíz, estos indicadores de rentabilidad son fuertemente influenciados por el precio que se utilizó explícitamente en el cálculo. Dado que éste varía fuertemente en el año, se considera el precio promedio de los

Cuadro 23. Márgenes brutos de los cultivos en dólares por hectárea. Zona Norte Buenos Aires.

Fecha 14/03/2008		TRIGO		GIRASOL		MAÍZ		SOJA	
Rendimiento	Qq/ha	35	45	18	25	75	95	28	38
Precio futuro	u\$/QQ	21.2	21.2	36.1	36.1	15.7	15.7	22.9	22.9
Ingreso Bruto	U\$/Ha	742	954	650	903	1178	1491	641	870
G	%/IB	15	15	12	12	28	28	15	15
Comercialización									
Ingresa Neto	U\$/Ha	631	811	572	794	848	1074	545	740
Labranzas	U\$/Ha	42	42	43	43	36	36	38	38
Semilla	U\$/Ha	43	43	39	39	89	89	21	21
Urea, FDA	U\$/Ha	150	150	78	78	150	150	13	13
Agroquímicos	U\$/Ha	28	28	45	45	30	30	29	29
Cosecha	U\$/Ha	45	57	39	54	59	74	38	52
Costos Directos	U\$/Ha	-308	-320	-244	-259	-364	-380	-139	-153
Margen Bruto	U\$/Ha	323	491	328	535	484	694	406	586
SIEMBRA PORCENTAJE									
Margen Bruto -40%	U\$/Ha	26	109	197	321	290	218	243	352
ARRENDAMIENTO									
Alquiler promedio	qq/Ha	12	12	9	9	30	30	18	18
M B- Alquiler	U\$/Ha	69	236	3	210	13	209	-6	174

Nota: Precios sin IVA, Flete corto 20 Km, Largo 200 Km

Fuente: INTA Informe Quincenal de Granos IG 265, marzo 17, 2008

meses más importantes de la cosecha. Para el rendimiento, se consideró el valor modal y representativo de la actividad (Cuadro 24).

Se puede comprobar en el cuadro adjunto que en la mayor parte de la serie, el margen bruto de maíz se ubicó en segundo lugar después de la soja, que se constituyó en el cultivo más atractivo desde el punto de vista económico para el productor rural.

Según dicha fuente para el período 1980/2007 y para el cultivo del maíz, hubo una fuerte variación entre los componentes de los márgenes brutos, los márgenes netos, los gastos de estructura y los gastos directos.

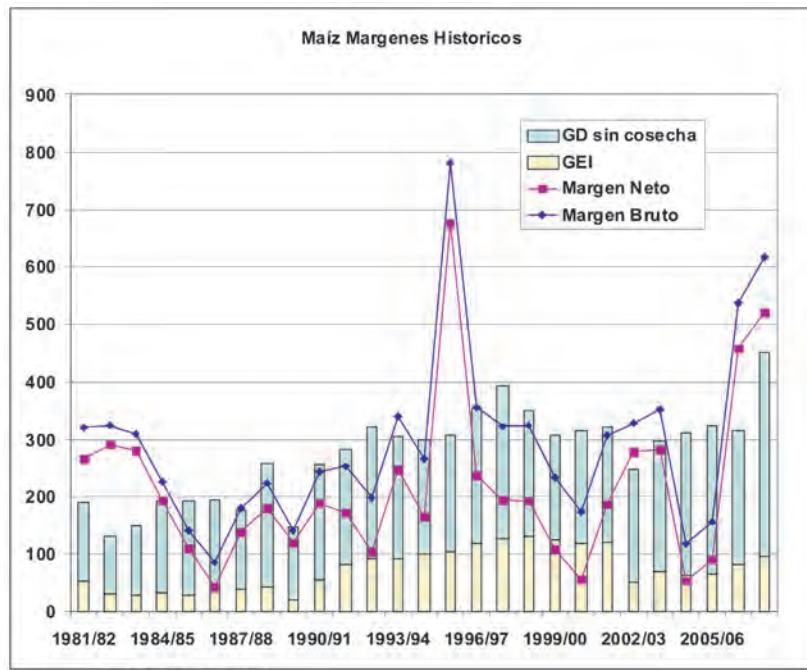
Los márgenes brutos y netos del cereal resultaron siempre positivos, varios años fueron superiores a los 300 u\$s/ha con un extremo superior a 600 u\$s/ha en 1995/96 y uno de 484 u\$s/ha en el último ciclo 2007/08 (Figura 14).

Se puede observar a lo largo de la serie, que los costos directos de maíz tendieron a aumentar alcanzando su valor máximo en el ciclo 2007/08. En general los costos tendieron a subir desde la década de 2000, situación que no ha cambiado

Cuadro 24. Márgenes brutos según cultivos. Período 1981/88 – 2006/07

Campaña	Trigo	Maíz	Girasol	Soja
	(u\$s k /ha)	(u\$s k /ha)	(u\$s k /ha)	(u\$s k /ha)
1980/81			154.85	251.25
1981/82	94.79	319.73	173.90	331.07
1982/83	235.70	323.52	155.32	116.41
1983/84	146.39	308.15	286.14	431.62
1984/85	136.81	225.19	205.67	166.96
1985/86	83.76	140.13	99.82	167.06
1986/87	74.35	84.07	100.49	282.19
1987/88	168.30	179.15	157.42	591.91
1988/89	156.14	223.23	180.79	147.64
1989/90	164.65	141.77	132.59	174.78
1990/91	-13.19	243.88	113.75	317.98
1991/92	187.11	253.29	107.55	351.95
1992/93	239.37	198.35	152.59	288.87
1993/94	182.87	340.61	270.78	345.41
1994/95	193.60	266.30	299.61	263.71
1995/96	422.61	779.94	297.55	523.47
1996/97	136.40	355.39	296.92	378.67
1997/98	176.66	321.76	433.64	427.25
1998/99	80.12	324.23	103.84	255.99
1999/00	69.63	233.99	137.47	259.65
2000/01	183.47	174.02	146.29	260.69
2001/02	147.77	307.13	208.01	294.27
2002/03	136.07	328.12	160.23	449.92
2003/04	286.31	352.15	257.27	428.40
2004/05	55.40	118.58	191.69	353.93
2005/06	71.94	155.82	89.74	293.18
2006/07	124.47	537.50	73.23	403.23

Fuente: SAGPyA (2007).



Fuente: SAGPyA (2007).

Figura 14. Márgenes históricos de maíz. En dólares por hectárea.

y que arrojó para ciclo 2007/08, el costo de producción más alto entre los cultivos de la cosecha gruesa (Figura 15).

Este factor puede haber limitado la expansión del cultivo porque la inversión por hectárea para las tareas de implantación y protección del cultivo es muy alta y el productor no cuenta con subsidios o con un sistema de financiamiento especial.

identificación y los métodos de análisis, que difieren de las establecidas en la norma de calidad hasta ese momento vigente. A los efectos de superar la situación planteada, con fecha 13 de octubre de 1997, y mediante la Resolución de la SAGPyA N° 757, se fijan los criterios y especificaciones analíticas que permiten diferenciar a un maíz como Flint o Plata.

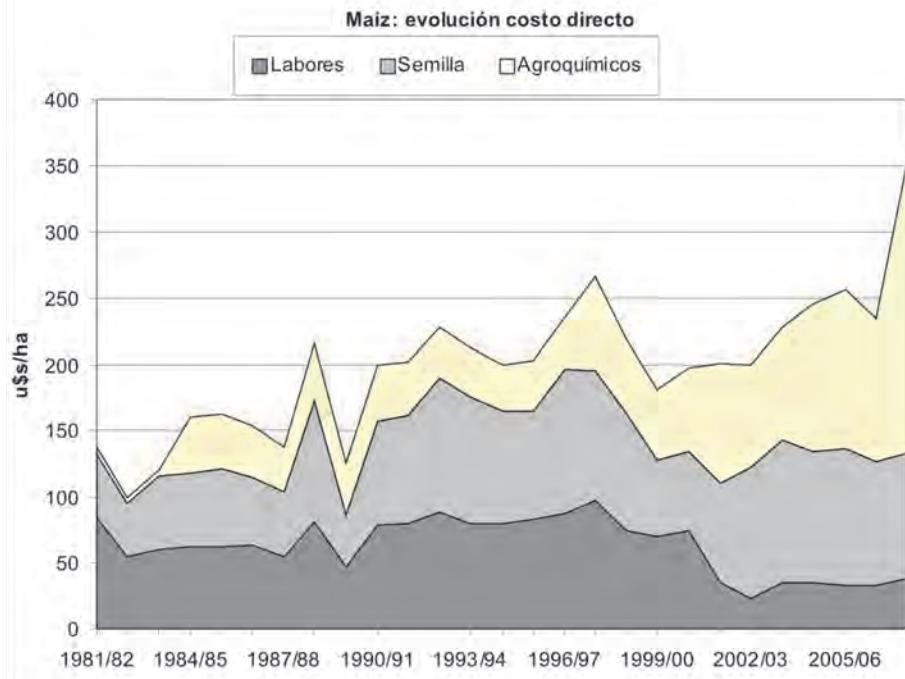


Figura 15. Márgenes históricos de maíz. Evolución costos directos.

El estándar comercial argentino

El estándar vigente en nuestro país hasta el año 1997 clasificaba con frecuencia a los materiales híbridos dentados (de base genética de origen norteamericano) y a las variedades "Plata" tradicionales, dentro de una misma categoría (tipo duro color colorado). Esta clasificación no respondía a las necesidades de algunos compradores del exterior, en particular de la Unión Europea (UE.) que con fecha 14 de abril de 1997 modifica el Reglamento de la Comisión de las Comunidades Europeas (CE) N° 641, privilegiando la compra de maíz flint argentino, al aprobar un reembolso arancelario de 14 ecus por tonelada. En el citado Reglamento se establecen además las especificaciones del Maíz Flint o Plata, los criterios para su

Su artículo 1º es incorporado como Norma XXIX, Maíz Flint, en el Capítulo IV "REGLAMENTOS TÉCNICOS DE IDENTIDAD Y ESPECIFICACIONES" de la Resolución N° 1075 del 12 de diciembre de 1994 de la Ex Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, y su artículo 2º, en la Norma XXVI "METODOLOGÍAS VARIAS" de la misma Resolución.

Para que un maíz sea certificado como Flint de origen argentino, debe cumplir con los siguientes parámetros:

- Granos colorados o anaranjados.
- Corona sin hendiduras.
- Endosperma cárneo dominante.
- Peso hectolítico: 76 kg hl mínimo.
- Test de flotación: 25% máximo.
- Pureza: 95% mínimo.

Por su parte, los compradores de la U.E., exigen además:

- Granos fisurados: 15% máximo.
- Libre de poroto de soja.
- Grado 1 de nuestro estándar.

Calidad comercial del maíz argentino

El maíz argentino ha sido reconocido en el mercado internacional por las características de su grano vítreo, la superficie lisa y el color colorado o amarillo-colorado. Por su parte, su principal competidor, el amarillo dentado o “yellow corn” de origen estadounidense, tiene como rasgos particulares un color amarillo, la parte central del grano de naturaleza almidonosa (que lo hace más blando) y presenta una hendidura en la corona o parte superior del mismo.

Las características diferenciales de calidad del maíz duro colorado argentino con respecto al amarillo dentado son las siguientes:

- Es más duro, lo que lo hace menos propenso a partirse o quebrarse, especialmente en los movimientos de carga y descarga en los elevadores o bodegas de los barcos.
- Su contenido proteico es mayor.
- Contiene un mayor porcentaje de carotenos, pigmento que suministrado en la alimentación, confiere a la piel del pollo parrillero un color amarillo mucho más fuerte y pigmenta más intensamente la yema del huevo.

Los consumidores españoles y los italianos han preferido este tipo de maíz por la calidad mencionada anteriormente, la que se traduce en un mayor precio de los productos avícolas.

Actualmente el comercio de maíz se continúa realizando sobre la base de un estándar comercial oficial por el cual no se discrimina según color o dureza del grano. Una de las últimas modificaciones introducidas en el estándar comercial fue la inclusión del peso hectolítrico como un intento de mantener las características del maíz “Plata”.

Sin embargo, se continuaron realizando algunas exportaciones para destinos europeos con una valorización mayor del maíz tipo duro y colorado, cuya base es el interés anteriormente

citado. Los compradores de Italia y de Reino Unido lo utilizan para la industria de “flakes” valorizando las partidas como especiales por su destino al consumo humano, siendo además una exigencia insalvable la trazabilidad y la ausencia de materiales transgénicos.

Factores que afectan la competitividad del maíz argentino

El maíz, como la mayoría de los granos argentinos se caracteriza por poseer algunas ventajas comparativas en su producción, que posibilitan su comercio creciente en el mercado mundial. Entre los factores exógenos y endógenos que limitan la competitividad de las exportaciones de maíz se pueden señalar a continuación:

- A. Factores exógenos que influyen en el precio.
- Falta de recursos para el financiamiento de las exportaciones.
 - Tipo de cambio de exportación: El tipo de cambio efectivo de maíz se encontraría devaluado respecto a la paridad histórica como consecuencia de la retenciones que se aplican a las exportaciones.
 - La ausencia de tratados comerciales y de convenios bilaterales con compradores de relevancia relacionados al aprovisionamiento de maíz argentino.
 - Demoras y costos portuarios.
 - El costo del flete Golfo de México-Rotterdam para maíz resulta usualmente entre 10 a 35 u\$/s/t inferior al de Puertos Argentinos-Rotterdam.

- A. Factores exógenos que influyen en el costo de producción y comercialización.

- Entre 2000 a 2007 el 72% de la exportaciones de maíz se efectuaron desde los puertos del Río Paraná (up river), en el lugar de un puertos de aguas profundas como los del Sur. Las limitaciones de dichos puertos resultan en ineficiencias siendo necesario completar la carga “top off” en aguas profundas.

- Ineficiencias y altos costos del transporte interno, básicamente camiones.
- Ausencia de financiamiento de la producción y de la comercialización.

A. Factores endógenos que influyen en el precio.

- Diferenciación del producto: el maíz argentino (“plata” o “flint”), de calidad superior al promedio mundial. Esta ventaja no se ve adecuadamente reflejada en la actualidad en los precios de la exportación.
- Resulta conveniente establecer mecanismos de promoción y garantías de calidad para atender a la demanda mundial de maíces especiales.
- La política sobre las retenciones genera un precio doméstico del cereal que le resta competitividad para acceder a los eventos y novedades tecnológicas de países desarrollados y/o al pago de patentes y regalías.

Resumen y Conclusiones

La competitividad del maíz argentino ha aumentado en la última década, lo que quedó demostrado por el crecimiento de las exportaciones argentinas en el comercio mundial.

Las proyecciones realizadas sobre la base de las tasas de crecimiento indican que dicha competitividad podría acentuarse, y a la vez, reducirse las exportaciones de China, Unión Europea y Europa del este.

Las tendencias que se pronosticaron en el mercado internacional para el mediano plazo, muestran un panorama de oferta y de demanda mundial muy ajustado que puede alentar a la firmeza de los precios internacionales del cereal.

El aumento de la producción de maíz de la Argentina generaría mayores saldos exportables, los que tendrían como destino potencial el comercio de exportación.

Los factores que más favorecieron la competitividad del maíz Argentino fueron el bajo costo de la producción del grano y la mayor productividad.

Las políticas del gobierno en los últimos años (impuestos, retenciones, privatización de

los elevadores portuarios, servicios privados de infraestructura), requieren ser complementados con una acción de promoción y marketing sobre el cereal argentino.

Un importante objetivo sería alcanzar acuerdos de largo plazo y contratos con países que requieren la calidad del cereal local.

Las políticas de subsidios de los países desarrollados registraron una mayor incidencia en la producción doméstica que en la exportación.

En un contexto internacional que favoreció a la diferenciación, resulta fundamental consolidar las asociaciones de productores de maíz y establecer mecanismos de promoción y de garantías de calidad para atender a esta parte de la demanda mundial.

Bibliografía

- Bolsa de Cereales de Buenos Aires, Anuario 2004/2005. Maíz evolución histórica. Bs As, 2005.
- Bolsa de Cereales de Buenos Aires. La industria del maíz en la Argentina. Ingaramo, J. 2005.
- CAFAGDA, 2007. Cámara Argentina de fructosas, almidones, glucosas, derivados y afines.
- CBT (2008). Aumento de las garantías por mayor volatilidad de precios. www.cbt.com
- Corn Refiners Association, 1997. Producción de aceite y productos forrajeros de la molienda húmeda del maíz. Inc. USA. Revista A&G Nº 29, Diciembre
- FAO, 2005. Límites de emergencia alimentaria en granos y aceites. Proyecciones para 2015.
- FAO, 2003. Anuario. Los Granos alimentarios. Cap. Maíz.
- FAO, 2007. Perspectivas Alimentarias. Roma, Noviembre.
- FAO 2007. Aumentaron 40% los gastos.. Países de Bajos Ingresos con Déficit de Alimentación (PBIDA). www.fao.org
- Hinrichsen, JJ. S.A Anuario JJ XXXIX Edición 2004, 2005, 2006.
- IICA, 2003. Sector agroalimentario Argentino. Informe de coyuntura. Buenos Aires. Buenos Aires, set/dic..
- INDEC, 2007. Instituto Nacional de Estadística y Censos. www.indec.gov.ar
- INTA, 1995. Márgenes brutos históricos. Carpeta de Economía. Serie Investigaciones Económicas. EEA Pergamino.
- ICPCSA, 2007. Foro mundial energético. www.icpcsa.org
- INTA, 2008. Márgenes brutos de los cultivos para el Norte de Buenos Aires y Sur de Santa Fe. Economía, EEA Pergamino, Informe Quincenal de Mercado de Granos. Marzo 15.
- INTA, 2008. Informe Quincenal de Mercado de Granos. EEA Pergamino. IG 259:265. www.inta.gov.ar/pergamino/novedades.html
- MAIZAR, 2005 Boletín. Marzo
- Márgenes Agropecuarios. 2007. Síntesis Estadística

- 2002 y 2007.
- Márgenes Agropecuarios. 2008. Revista Mensual de enero / marzo.
- OECD-FAO (2007). Agricultural Outlook 2007-2016.
- SAGPyA 2008. Cadena de Maíz. In: Alimentos Argentinos. Buenos Aires.
- SAGPyA 2008. Informe de Evolución de los Cultivos. Series históricas.
- SAGPyA, 1997. La producción avícola. Estudios sectoriales. Serie publicaciones por productos. www.sagpya.mecon.gov.ar/publicaciones
- SAGPyA, 2007. Evolución histórica de los márgenes brutos de los cultivos. Serie Publicaciones.
- SAGPyA, 2004. Exportaciones anuales de maíz por países de destino, ciclos 2000/2007. www.sagpya.mecon.gov.ar/agricultura/exportaciones
- SANABRIA, P (2008). Las retenciones a la exportación ¿Un impuesto inconstitucional? LA LEY 18/03/2008, 1, www.laleyonline.com.ar
- UNL, 1998 Estudio de la cadena industrial de maíz. Reporte de Consultoría para la Federación de Centros de Acopiadores.
- USDA 2008. Outlook Conference 2008. www.usda.gov/outlook08/
- USDA, 2007. Outlook Conference 2007. Proceeding, Corn and prospective Washington DC
- USDA. 2004. World Agricultural Supply and Demand Estimates. Wasde. March 11.
- USDA. 2008. World Agricultural Production. January to March.

El crecimiento que ha experimentado el cultivo de maíz en nuestro país en los últimos años está sustentado por la generación, transferencia y adopción de tecnologías adecuadas a la diversidad de nuestros sistemas productivos. Los aumentos de rendimientos por hectárea son el resultado de la aplicación de tecnologías enmarcadas en un esquema de sustentabilidad de los recursos naturales y del sistema productivo. La contribución a la mejora de los rendimientos del avance de la siembra directa, de la creación y difusión de cultivares mejor adaptados a las condiciones de suelo, clima y adversidades biológicas, y del ajuste de las prácticas de manejo del cultivo, cosecha y post-cosecha de cada región productiva difícilmente pueda estimarse de manera separada, por cuanto el éxito alcanzado se debe a la conjunción de esfuerzos desde diferentes ámbitos y disciplinas. Y poco de ello hubiese sido posible de lograr tan rápidamente sin la insustituible asistencia de asesores profesionales y la decisión de nuestros productores. El maíz es hoy mucho más que un cultivo. Es uno de los tres cereales de los que depende la humanidad para proveerse de alimentos y derivados industriales. Para la economía nacional constituye uno de los rubros productivos más importantes, y su trama productiva e industrial asociada genera valor agregado, empleo y riqueza nacional.

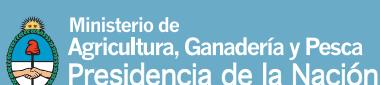
Han transcurrido casi treinta años desde la edición del libro del INTA *El Cultivo de Maíz*. Desde entonces se han generado desde diferentes ámbitos institucionales y privados un buen número de publicaciones orientadas a determinados aspectos del cultivo, o bien a difundir y actualizar las prácticas de manejo del cultivo en cada región. El ritmo de avance de generación de tecnologías de cultivo tiene un dinamismo tal que hace extremadamente difícil alcanzarlo a través de una publicación y mantenerla vigente en el tiempo. Entendemos que esa demanda de alguna manera está y continuará siendo cubierta con publicaciones más específicas en cuanto a su temática y ámbito geográfico de aplicación. Desde el Programa Nacional de Cereales del INTA pretendemos con este libro acercar los conocimientos básicos que subyacen a toda recomendación tecnológica, focalizando lo general, proveyendo pautas que permitan entender el por qué del paquete tecnológico disponible y transferir el conocimiento básico que posibilite el diseño esquemas productivos superadores.

Bases para el Manejo del Cultivo de Maíz vuelca información y conocimiento generado por el INTA en los últimos años, y abarca un espectro de temas que comprende desde los recursos genéticos y el mejoramiento hasta los usos industriales, pasando por los requerimientos climáticos del cultivo, su ecofisiología, su utilización como forraje conservado, los aspectos sanitarios y la economía. Es el resultado del trabajo de profesionales en su mayoría del INTA, pero también del ámbito universitario y del sector privado que han prestado con generosidad sus saberes, espíritu de colaboración y paciencia en el proceso de edición.

Esta obra está destinada a complementar la literatura disponible, pero entendemos que puede ser un valioso auxiliar para profesionales y estudiantes de Agronomía, así como también para productores agrícolas.

*Ing. Agr MSc PhD Guillermo H. Eyhérabide
Coordinador Programa Nacional Cereales
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*

ISBN: 978-987-679-141-0



**Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
Rivadavia 1439 (C1033AAE) - Buenos Aires**