



FACULTAD DE
AGRONOMIA
UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA

**ESTUDIO DE ADAPTACION DE CULTIVARES
DE MAIZ PARA SILO A LAS CONDICIONES
DE URUGUAY**

por

Martín MEDINA SCAGLIA

TESIS

2001

MONTEVIDEO

URUGUAY



**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**ESTUDIO DE ADAPTACIÓN DE CULTIVARES DE MAÍZ PARA SILO A LAS
CONDICIONES DE URUGUAY**

por

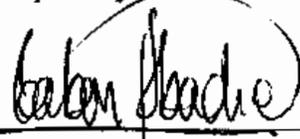
Martín MEDINA SCAGLIA

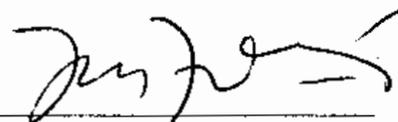
TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo.
(Orientación Agrícola Ganadero)

MONTEVIDEO
URUGUAY
2001

Tesis aprobada por:

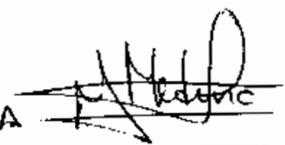
Director: DIEGO VILARÓ
Nombre completo y firma

TABARE ABADIE 
Nombre completo y firma

JORGE FRANCO 
Nombre completo y firma

SERGIO CERETTA
Nombre completo y firma

Fecha: 22/03/01

Autor: MARTÍN MEDINA SCAGLIA 
Nombre completo y firma

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer al Ing. Agr. (MSc) Diego Vilaró, director de este trabajo, por haber posibilitado la realización del mismo, así como por el apoyo científico, humano y logístico brindado a lo largo de todo el trabajo.

Al Dr. Tabaré Abadie por su constante apoyo en este trabajo así como en mis últimos años de carrera. Por otra parte sus aportes a este trabajo fueron fundamentales para la concreción del mismo.

Al Dr. Jorge Franco y al Dr. Sergio Ceretta, por los comentarios y sugerencias, los cuales fueron fundamentales para este trabajo.

También agradecer a estas cuatro personas en conjunto por su gran dedicación, no solo a este trabajo, sino que también en la apuesta de formar nuevos investigadores dentro de nuestra Facultad, brindando sus conocimientos, experiencias, opiniones y sugerencias, no sólo en el ámbito estrictamente científico.

Al Ing. Agr. Juan Carlos Caffarel y al personal de INIA La Estanzuela por brindar incondicionalmente su apoyo sugerencias y todo lo que fuera necesario.

Finalmente agradecer a mi familia y amigos que siempre estuvieron brindando su apoyo, no solo en este trabajo sino durante toda la carrera. Gracias a ellos este trabajo fue posible.

TABLA DE CONTENIDOS

PAGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
INDICE DE TABLAS Y FIGURAS.....	V
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	5
2.1 <u>DATOS DISPONIBLES</u>	5
2.1.1 <u>Serie de datos A</u>	8
2.1.2 <u>Serie de datos B, C y D</u>	8
2.2 <u>ESTUDIO DE LA PRECISIÓN DE LA RED DE EVALUACIÓN DE CULTIVARES DE MAÍZ PARA SILO</u>	9
2.2.1 <u>Estimación de los componentes de varianza</u>	9
2.2.2 <u>Estimación del tamaño adecuado de la red</u>	12
2.3 <u>ESTUDIO DE LA ADAPTACIÓN DE LOS CULTIVARES DE MAÍZ PARA SILO</u>	13
2.3.1 <u>Estudio del comportamiento de los cultivares</u>	13
2.3.2 <u>Estudio de la interacción genotipo por ambiente</u>	15
2.4 <u>CARACTERIZACIÓN DE LOS AMBIENTES DE EVALUACIÓN</u>	17
3. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	18
3.1 <u>ESTIMACIÓN DE LOS COMPONENTES DE VARIANZA</u>	18
3.2 <u>ESTIMACIÓN DEL TAMAÑO DE LA RED DE EVALUACIÓN DE CULTIVARES</u>	20
3.3 <u>ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS CULTIVARES</u>	21
3.4 <u>ESTUDIO DE LA INTERACCIÓN GENOTIPO AMBIENTE</u>	23
3.5 <u>CARACTERIZACIÓN DE LOS AMBIENTES DE EVALUACIÓN</u>	25
4. <u>CONCLUSIONES</u>	35
5. <u>RESUMEN</u>	36
6. <u>SUMMARY</u>	37
7. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	38
8. <u>ANEXOS</u>	42

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1. Fecha de siembra, floración y cosecha de los ensayos de evaluación de cultivares de maíz para silo realizados en los ambientes correspondientes a los años 1992/93 a 1998/99 según ciclo.....	6
Tabla 2. Estimación de los componentes de varianza para 133 cultivares, 3 ciclos y 7 ambientes (1992/93 – 1998/99), para la variable rendimiento en materia seca total (Ton.Há ⁻¹).....	18
Tabla 3. Correlaciones entre precipitaciones (mm) y rendimiento en materia seca total (Kg.Ha ⁻¹) en distintas etapas del desarrollo del cultivo, según ciclo, para la serie de 7 años 1992/93 – 1998/99.....	26
Tabla 4. Correlaciones entre déficit hídrico real (mm) y rendimiento en materia seca total (Kg.Ha ⁻¹) en distintas etapas del desarrollo del cultivo, según ciclo, para la serie de 7 años 1992/93 – 1998/99.....	27
Tabla 5. Correlaciones entre radiación solar (MJ/m ²) y rendimiento en materia seca total (Kg.Ha ⁻¹) en distintas etapas de desarrollo del cultivo, según ciclo, para la serie de 7 años 1992/93 – 1998/99.....	28
Figura 1. Periodos de crecimiento del cultivo utilizados para la creación de variables ambientales.....	7
Figura 2. Efecto del incremento en el número de años en cada experimento sobre la Diferencia Crítica Porcentual para distinto número de repeticiones.....	21
Figura 3. <i>Biplot</i> . Componentes principales para el comportamiento en rendimiento de materia seca total para los cultivares presentes dos y tres años en los ambientes 1992/93 – 1998/99.....	22
Figura 4. <i>Biplot</i> AMMI para representación del efecto de la interacción genotipo ambiente en el rendimiento en materia seca total para los cultivares presentes dos y tres años en los ambientes 1992/93 – 1998/99.....	24

- Figura 5. *Biplot* Componentes Principales para el comportamiento en rendimiento de materia seca total para la media de rendimiento de los cultivares de ciclo corto en los ambientes 1992/93 – 1998/99 y las variables ambientales seleccionadas.30
- Figura 6. *Biplot* Componentes principales para el comportamiento en rendimiento de materia seca total para la media de rendimiento de los cultivares de ciclo medio en los ambientes 1992/93 – 1998/99 y variables ambientales seleccionadas.33
- Figura 7. *Biplot* Componentes principales para el comportamiento en rendimiento de materia seca total para la media de rendimiento de los cultivares de ciclo largo en los ambientes 1992/93 – 1998/99 y variables ambientales seleccionadas.33

1. INTRODUCCIÓN

La utilización de maíz como reserva forrajera se ha incrementado en los últimos años, lo que ha llevado a una búsqueda de cultivares adaptados a este propósito. En este sentido, se trabaja a partir de la oferta de cultivares de maíz para grano disponibles. Los cultivares de maíz para silo se diferencian de los cultivares utilizados para grano en el desarrollo de la parte aérea, llenado de grano, contenido de materia seca, y digestibilidad, logrando una buena relación contenido de grano/calidad del resto de la planta, y un alto rendimiento en materia seca total (Cozzolino y Fassio, 1995). Por esto, desde la zafra 1992/93 a 1998/99, ha existido un aumento del 70% en el número de cultivares evaluados con este propósito por el Programa Nacional de Evaluación de Cultivares – INIA (PNEC) en sus características agronómicas. Frente a esta gran oferta actual y potencial de material genético, así como el uso comercial de esta opción tecnológica a nivel predial, es muy importante identificar los cultivares mejor adaptados a nuestras situaciones de producción con una precisión adecuada.

Se entiende por cultivares adaptados aquellos que presentan mejor comportamiento relativo, generalmente asociado a posiciones en un ranking, en caracteres de importancia económica (cuantitativos o cualitativos), en una serie de condiciones ambientales diferentes (Abadie y Ceretta, 1997). Cuando un grupo de genotipos es evaluado en distintas condiciones ambientales, (años, localidades, y/o épocas de siembra), puede presentar gráficamente dos tipos de adaptación, general o específica. Un cultivar tiene adaptación general cuando muestra tener mejor comportamiento relativo en la mayoría de los ambientes en los que es evaluado. Por el contrario, un cultivar presenta adaptación específica cuando muestra tener mejor comportamiento relativo en un determinado ambiente en donde fue evaluado (Ceretta et al, 1998). El comportamiento relativo diferencial de un cultivar en distintos ambientes

de evaluación está dado por la presencia de interacción GxA (genotipo ambiente), (Fox et al, 1997). Existen dos tipos de interacción GxA, i) *'de no-entrecruzamiento'* (noncrossover) en donde las diferencias entre tratamientos varían en magnitud, pero no en dirección, es decir que no existen cambios en el comportamiento relativo de los cultivares; ii) *'de entrecruzamiento'* (crossover) en donde las diferencias entre tratamientos varían en dirección, es decir, existen cambios en el comportamiento relativo de los cultivares (Hühn et al, 1993). El grado en el cual el comportamiento relativo de un cultivar varía según los ambientes en donde fue evaluado, indica el grado de adaptación de dicho cultivar. De esta manera la adaptación específica está frecuentemente asociada con la ocurrencia de interacciones GxA positivas (Comstock y Moll, 1963, citado por Abadie y Ceretta, 1998). La caracterización de las interacciones GxA es necesaria para comprender la adaptación de los cultivos. Esto es debido a que, desde el punto de vista biológico, el estudio de la adaptación trata de comprender el fenómeno por el cual la expresión de fenotipos superiores resulta de la continua interacción GxA a través del tiempo, (van Eeuwijk, 1996, citado por Ceretta, et al, 1998).

El análisis de ensayos en ambientes múltiples (como es el caso de los estudios de adaptación) se puede realizar en dos etapas. La primera consiste en estimar los componentes de varianza a partir de una tabla cultivares por ambientes. La segunda etapa consiste en interpretar la interacción GxA realizando un análisis con modelos bilineales (van Eeuwijk, 1995), o modelos multiplicativos (Cornelius y Crossa, 1999). La correcta estimación de los componentes de varianza es de gran importancia, ya que permite conocer la magnitud con la que cada factor contribuye a la variación observada, y entender la variación experimental. En el caso de que la tabla cultivares por ambiente sea desbalanceada (no todos los cultivares están presentes en todos los ambientes), Patterson (1997), sugiere estimar los componentes de varianza por el método de Máxima Verosimilitud Restringida (Restricted Maximum Likelihood, REML). Este

método permite: i) tomar en cuenta todas las posibles fuentes de variación; ii) recuperar información sobre las diferencias genotípicas de los totales de años, experimentos, etc.; iii) combinar eficientemente la información; iv) estimar los datos faltantes en las tablas cultivar x localidad x año, mediante BLUPs. El método REML permite estimar los componentes de varianza en modelos mixtos mediante un proceso iterativo en donde la verosimilitud de los datos es maximizada para los efectos aleatorios (Statistica, Stat. Soft., 1998). Los BLUPs son estimaciones de los efectos aleatorios designados en un modelo mixto, las cuales se realizan a partir de componentes de varianza conocidos (Lynch y Walsh, 1998).

Para el estudio de la interacción GxA Zobel et al. (1988), sugiere la utilización del modelo de Efectos Principales Aditivos e Interacción Multiplicativa (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction, AMMI). Crossa et al. (1990), reportan un aumento de precisión con el uso de AMMI en la estimación de los valores predichos en un análisis de ensayos en ambientes múltiples. El modelo AMMI es una herramienta analítica para interpretar la interacción GxA en términos de sensibilidad diferencial de los genotipos a los diferentes ambientes de evaluación (Fox et al, 1997). Este modelo permite la representación gráfica de la interacción GxA por medio de la técnica de *'biplots'*, desarrollada por Gabriel en 1971, a partir de los que se pueden visualizar los patrones generales de comportamiento de los cultivares con respecto a la interacción GxA (Zobel et al, 1988). Cuando existe información externa, genotípica o ambiental, esta puede superponerse al *biplot* de AMMI para ayudar a interpretar la interacción GxA (Vargas et al, 1999). La superposición de información ambiental permite la identificación de ambientes efectivamente diferentes para lograr una mejor utilización de recursos en redes de experimentos (Yan et al, 2000).

El análisis de redes de experimentos, con métodos estadísticos adecuados, permite una buena interpretación del comportamiento de los genotipos en diferentes condiciones ambientales (Ceretta et al, 2000), brindando información valiosa para optimizar la asignación de recursos como número de repeticiones, localidades y años en que se deben evaluar los cultivares (Talbot, 1984, citado por Ceretta et al, 1998). Este trabajo tiene como objetivo general estudiar la adaptación de los cultivares de maíz para silo en condiciones de cultivo en el Uruguay. Los objetivos específicos son:

- Estimar la precisión de la red de evaluación de cultivares de maíz para silo.
- Estudiar el comportamiento de los cultivares de maíz para silo.
- Estudiar la interacción GxA de dichos cultivares.
- Caracterizar en términos de variables ambientales relevantes los ambientes de evaluación utilizados en la red de evaluación de cultivares.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 DATOS DISPONIBLES.

Se contó con la serie de datos de rendimiento en materia seca total (Kg.Há^{-1}) de 133 cultivares de maíz para silo, evaluados en Uruguay dentro de un período de 7 años (1992/1993 – 1998/1999), clasificados por ciclo. Los datos fueron generados por el Programa Nacional de Evaluación de Cultivares – INIA. La clasificación de los cultivares por ciclo se realiza de acuerdo a la duración del período siembra a floración en relación a testigos. Bajo este criterio se distinguen cultivares de tres ciclos, i) corto, que presentan un período siembra floración menor al cultivar Láser D o hasta 3 días más; ii) medio, con un período mayor a tres días con respecto al cultivar Láser D y/o igual a los cultivares Ax 888, M 507, Tilcara; iii) largo, con un período mayor a los cultivares Ax 888, M507 y Tilcara (Comité Técnico Mixto Permanente, 1999). Anualmente la red de ensayos consistió en una única localidad, La Estanzuela (LE) ubicada al sudoeste del país. Por cada año se realizó una única época de siembra, es decir, se cuenta con un único ambiente por año. Los datos disponibles son fecha de siembra, fecha de floración, y fecha de cosecha (ver Tabla 1). Las prácticas generales del cultivo, las cuales se encuentran definidas en un protocolo experimental, consisten en : i) densidad de siembra correspondiente a $90.000 \text{ pl.Há}^{-1}$, $79.500 \text{ pl.Há}^{-1}$, y $71.500 \text{ pl.Há}^{-1}$ para cultivares de ciclo corto, ciclo medio y ciclo largo respectivamente; ii) fertilización de 150 Kg.Há^{-1} de 20-40-40-0 a la siembra y $80-120 \text{ Kg.Há}^{-1}$ de urea en el estado de 8 hojas; iii) control de malezas que permitan tener los ensayos libres de malezas; iv) control químico de plagas dependiendo de la severidad del ataque de lagarta cogollera (*Spodoptera frugiperda*) y lagarta elasmó (*Elasmopalpus lignosellus*); vi) no se realizan controles de enfermedades. Para los ensayos de las zafras 92/93 y 93/94, la cosecha se realizó a madurez fisiológica mediante la evaluación visual de la aparición de punto negro en la zona de inserción del grano en la mazorca. Desde la zafra 94/95 en adelante la cosecha

se realizó a $\frac{3}{4}$ línea de leche en el grano, momento en que se cuenta con el mejor balance calidad/cantidad de materia seca (Berglund y Cross, 1992, Wiersma et al, 1993, Pigurina y Pérez Gomar, 1994, NIAB, 1995). El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar con una restricción en la aleatorización de acuerdo a la clasificación por ciclo, y tres repeticiones.

Tabla 1. Fecha de siembra, floración y cosecha de los ensayos de evaluación de cultivares de maíz para silo realizados en los ambientes correspondientes a los años 1992/93 a 1998/99 según ciclo.

Ambiente	Fecha de siembra			Fecha de Floración			Fecha de Cosecha		
	Ciclo Corto	Ciclo Medio	Ciclo Largo	Ciclo Corto	Ciclo Medio	Ciclo Largo	Ciclo Corto	Ciclo Medio	Ciclo Largo
1992/93	15/10	15/10	15/10	26/12	30/12	8/1	18/2	28/2	8/3
1993/94	5/10	5/10	5/10	15/12	19/12	29/12	6/2	18/2	24/2
1994/95	7/10	8/10	9/10	14/12	19/12	24/12	30/1	10/2	18/2
1995/96	13/9	13/9	13/9	7/12	9/12	12/12	29/1	7/2	21/2
1996/97	24/10	24/10	24/10	25/12	30/12	8/1	30/1	11/2	11/2
1997/98	17/9	17/9	17/9	5/12	6/12	10/12	10/2	3/2	3/2
1998/99	25/9	25/9	25/9	3/12	9/12	12/12	10/2	17/2	27/2

También se contó con los datos meteorológicos diarios para La Estanzuela, proporcionados por INIA - La Estanzuela - Proyecto URU/97/007 – (Variabilidad Climática y Agricultura). A partir de estos datos se crearon variables ambientales que conjugan la variable climática en sí, con diferentes periodos de crecimiento del cultivo. El ciclo de crecimiento del cultivo se dividió en diez periodos: Período 1: siembra a diez días prefloración (S-PF), Período 2: diez días prefloración a floración (PF-F), Período 3: floración a 10 días postfloración (F-POF), Período 4: diez días postfloración a cosecha (POF-C), Período 5: siembra a floración (S-F), Período 6: siembra a diez días postfloración (S-POF), Período 7: siembra a cosecha (S-C), Período 8: diez días prefloración a diez días postfloración (PF-POF), Período 9: diez días prefloración a cosecha (PF-C) y Período 10: floración a cosecha (F-C), (ver figura 1). Para el promedio de los cultivares pertenecientes a cada ciclo (corto, medio y largo), en cada año de evaluación, y para los diez periodos mencionados, se calculó la temperatura media diaria

en °C (T_{med}), temperatura media máxima en °C ($T_{máx}$), temperatura media mínima en °C ($T_{mín}$), radiación solar acumulada en MJ/m^2 (Rad), precipitación acumulada en mm (PP), déficit hídrico potencial acumulado en mm (DHP), y déficit hídrico real acumulado en mm (DHR).

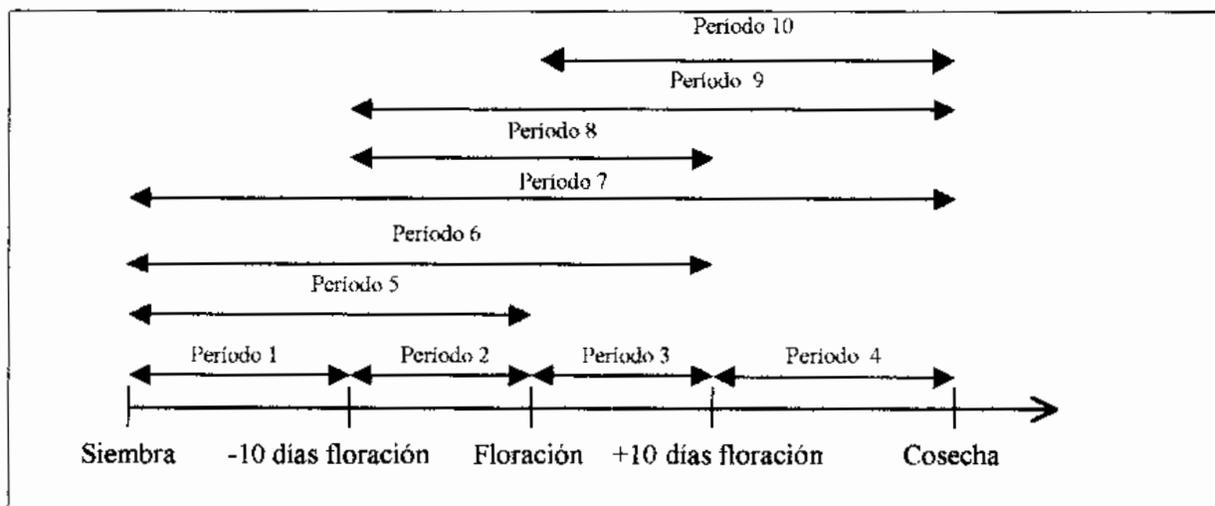


Figura 1. Periodos de crecimiento del cultivo utilizados para la creación de variables ambientales.

Sobre la base de los datos disponibles, rendimiento en materia seca total ($Kg.Há^{-1}$), y datos meteorológicos se construyeron 4 series de datos para realizar los distintos análisis. Con la serie de datos A se procedió a realizar: i) estudio de la precisión de la Red de Evaluación de Cultivares de Maíz para Silo; ii) estudio del comportamiento de los cultivares; iii) estudio de la interacción genotipo ambiente. Con las series de datos B, C, y D, se caracterizaron los ambientes de evaluación con respecto a las variables ambientales relevantes para los cultivares de distintos ciclos.

2.1.1 Serie de datos A.

Consiste en una matriz de 133 cultivares por 7 ambientes, definidos por cada uno de los años de evaluación (1992/93 a 1998/99), en donde las celdas corresponden a la media de rendimiento ajustado de materia seca total de cada cultivar para cada año en el cual fue evaluado. Esta matriz es desbalanceada, es decir, no todos los cultivares se encuentran presentes en todos los ambientes, por lo que existen celdas vacías.

2.1.2 Serie de datos B, C y D.

Para la construcción de estas series de datos se seleccionaron algunas de las variables ambientales combinadas (variable climática en un período determinando), para los cultivares de ciclo corto, medio y largo. La elección de dichas variables se realizó en base a dos criterios: i) la existencia de correlaciones significativas ($P \geq 0.1$), entre la variable rendimiento promedio de materia seca total y las variables ambientales calculadas para cada período (ver punto 2.1); ii) la no-existencia de solapamiento de las variables entre sí.

Esto resultó en tres series de datos: B, correspondiente al promedio de los cultivares de ciclo corto; C, correspondiente al promedio de los cultivares de ciclo medio; D, correspondiente al promedio de los cultivares de ciclo largo. Estas series consisten en una matriz de 4 variables (rendimiento promedio en materia seca total de los cultivares de cada ciclo, precipitación acumulada, déficit hídrico real acumulado, y radiación solar acumulada) por 7 ambientes (1992/93 – 1998/99). Estas series de datos se utilizaron para caracterizar los ambientes de evaluación.

2.2 ESTUDIO DE LA PRECISIÓN DE LA RED DE EVALUACIÓN DE CULTIVARES DE MAÍZ PARA SILO.

2.2.1 Estimación de los componentes de varianza.

La estimación de los componentes de varianza se realizó con la serie de datos A, donde se utilizó el método REML¹, ajustando el modelo:

$$Y_{ikj} = \mu + g(c)_{ik} + c_k + e_j + ce_{kj} + r_{ik}$$

Y_{ikj} = rendimiento en materia seca (Kg.Ha^{-1}), con $i = 1, 2, \dots, 133$; $k = 1, 2, 3$; $j = 1, \dots, 7$.

μ = media general.

$g(c)_{ik}$ = efecto principal del cultivar dentro de ciclo.

c_k = efecto principal de ciclo.

e_j = efecto principal de ambiente.

ce_{kj} = efecto de la interacción ciclo por ambiente.

r_{ikj} = residual (error experimental mas interacción cultivar dentro de ciclo por ambiente).

En este caso, en donde no existen localidades ni épocas de siembra, el efecto del ambiente está dado por el efecto del año. Aquí se definen todos los efectos como aleatorios para poder estimar los componentes de varianza. Se puede definir un modelo mixto general como (Lynch y Walsh, 1998):

$$y = X\beta + Z u + r$$

y : vector de observaciones, de dimensión $nx1$.

β : vector de efectos fijos, de dimensión $px1$.

u : vector de efectos aleatorios, de dimensión $qx1$.

X : matriz de incidencia de los efectos fijos, de dimensión nxp .

Z_i : matriz de incidencia de los efectos aleatorios, de dimensión nxq .

r : vector $nx1$ de residuales. Se asume que sus elementos se encuentran distribuidos independientemente, con distribución Normal ($0, \sigma^2$).

Partiendo del modelo mixto general, los componentes de varianza se estiman por las matrices (Lynch y Walsh 1998):

$tr(\hat{P}) = y^T \hat{P} \hat{P} y$ para la varianza del residual,

$tr(\hat{P} Z_i B_i Z_i^T) = y^T \hat{P} Z_i B_i Z_i^T \hat{P} y$ para la varianza del i -ésimo efecto aleatorio,

\hat{P} : función de la matriz de varianza covarianza estimada ($V = Z_i G_i Z_i^T + R$).

B_i : matriz de constantes conocidas.

R_i : matriz de varianza covarianza de los residuales.

G_i : matriz de varianza covarianza de los efectos aleatorios.

Para estimar el error experimental (ε_{ikj}) se calculó la mediana del error experimental reportado en cada uno de los experimentos, siguiendo el procedimiento utilizado por Ceretta et al. (2000). Posteriormente se estimó el efecto de la interacción cultivar dentro de ciclo por ambiente ($g(c)e_{ikj}$):

¹ Se utilizó el Programa GENSTAT 5, Realise 4.3.

$$g(c)e_{ikj} = r_{ikj} - \epsilon_{ikj}$$

Una vez conocidos los componentes de varianza se procedió a estimar los datos faltantes en la serie de datos A, mediante BLUPs. Estos son estimadores de efectos aleatorios que tienen como propiedades: i) minimizan la varianza de la muestra; ii) son funciones lineales de los fenotipos observados; iii) son insesgados, $E(\text{BLUP}(u))=u$ (Lynch y Walsh, 1998). Utilizando el modelo mixto generalizado, los BLUPs se pueden estimar mediante (Henderson, 1963, citado por Lynch y Walsh 1998):

$$\hat{u} = GZ^T V^{-1} (y - X\hat{\beta})$$

donde:

\hat{u} : vector de los BLUPs.

$\hat{\beta}$: vector de efectos fijos estimados.

Para la estimación de los BLUPs se tomó como fijo el efecto de los cultivares, en el entendido de que se deseaba obtener una estimación del rendimiento de cada cultivar individual y no de una muestra aleatoria de germoplasma. El efecto año se tomó como aleatorio ya que, si bien no se cuenta con un número elevado de años, se desea estimar los efectos para un conjunto de años y no para un año particular. La incapacidad de predecir climáticamente un año hace que este efecto se considere normalmente como aleatorio.

2.2.2 Estimación del tamaño adecuado de la red.

Esta estimación se realizó en base al cálculo de la Diferencia Crítica Porcentual (DCP), utilizando los datos resultantes de la estimación de los componentes de varianza siguiendo el procedimiento utilizado por Ceretta et al, 2000. La DCP es la menor diferencia que es posible detectar entre dos cultivares, expresada como porcentaje de la media, utilizando cierta combinación de repeticiones y años dada una probabilidad $P=\alpha$, (error de Tipo 1) de que esas medias sean en realidad iguales. El cálculo de la DCP se realiza según la siguiente fórmula:

$$DCP = 100 \cdot Z_{(\alpha/2)} \cdot \frac{SED}{\bar{Y}}$$

donde Z es un valor crítico obtenido de la distribución normal correspondiente a α , (en este caso $\alpha = 0.05$), \bar{Y} es la media general de rendimiento, y SED es el error estándar de la diferencia de medias entre un cultivar y uno o más testigos dado por la fórmula:

$$SED = \sqrt{(1+t) \frac{VE}{2t}}$$

donde t es el número de cultivares testigo, (en este caso $t=1$) y VE es la varianza efectiva de la diferencia entre medias, calculada en base a los componentes de varianza estimados en 2.2.1, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$VE = \frac{\hat{\sigma}^2_{(ge)ij}}{n_e} + \frac{\hat{\sigma}^2_{(\epsilon)ikj}}{n_r \cdot n_e}$$

donde n_e es el número de años y n_r es el número de repeticiones.

2.3 ESTUDIO DE LA ADAPTACIÓN DE LOS CULTIVARES DE MAÍZ PARA SILO.

2.3.1 Estudio del comportamiento de los cultivares.

Para el estudio del comportamiento de los cultivares se realizó un Análisis de Componentes Principales (Principal Component Analysis, PCA). El objetivo del PCA es encontrar combinaciones lineales de las variables en estudio, ortogonales entre sí (denominadas componentes principales), por lo que cada combinación lineal explora diferentes “dimensiones” de la variación de los datos. Los componentes principales tienen como propiedad que la suma de la varianza explicada por cada uno de ellos es igual a la varianza de los datos originales (Manly, 1994). De esta manera, la proporción de la varianza total explicada por cada uno de los N componentes principales depende de su valor propio (λ_n), según la relación:

$$\frac{\lambda_n}{\sum_{n=1}^N \lambda_n}$$

Para lograr una interpretación de los datos en pocas dimensiones (dos o tres), se debe seleccionar un número menor de componentes principales a utilizar. Dicha selección se realiza tomando en cuenta la varianza explicada por cada componente principal (valor propio). De esta manera se seleccionan aquellos componentes principales cuyo valor propio es mayor o igual a 1. Este criterio determina que, cuando se trabaja con datos estandarizados, cada uno de los componentes principales

seleccionados explican al menos la misma proporción de la varianza total que la que explica una sola de las variables originales (Sharma, 1996).

Sobre la serie de datos A, tomando en cuenta sólo los cultivares presentes en mas de un ambiente, sustituyendo los datos faltantes por BLUPs, y posteriormente estandarizando por los ambientes, se ajustó el modelo de PCA (Zobel et al, 1988):

$$y_{ikj} = \mu + \sum_{n=1}^N \lambda_n \xi_{in} \eta_{jn} + r_{ikj}$$

Y_{ikj} : rendimiento del i -ésimo cultivar, del k -ésimo ciclo, en el j -ésimo ambiente.

μ : media de rendimiento general.

$g(c)_{ik}$: efecto principal del cultivar i dentro del ciclo k .

λ_n : valor propio del n -ésimo eje PCA.

ξ_{in} : valor de i -ésimo cultivar en el n -ésimo eje.

η_{jn} : valor del j -ésimo ambiente en el n -ésimo eje.

r_{ij} : residual.

La estandarización de los datos tiene como fin eliminar del análisis la variación en rendimiento provocada por el efecto principal de ambientes, y hacer las varianzas comparables. De esta manera se visualiza únicamente los efectos principales de los genotipos dentro de ciclo y los efectos de interacción GxA.

Posteriormente los “scores” de los cultivares y de los ambientes calculados por PCA para cada componente principal, son representados gráficamente (mediante

biplots). Aquí los valores de los cultivares y/o ambientes para cada uno de los componentes principales seleccionados (*scores*), son representados en el espacio por vectores, donde el punto de comienzo es el origen y el de finalización se encuentra determinado por los "*scores*" (Vargas et al, 1999). De esta manera cada cultivar y cada ambiente son interpretados como coordenadas en el espacio (van Eeuwijk, 1995). Esta representación permite observar el comportamiento relativo de los cultivares en ambientes particulares ya que el coseno del ángulo entre dos vectores es un indicador de la correlación que existe entre ellos (Vargas et al, 1999). Los vectores que presentan un ángulo entre ellos menor a 90° , están correlacionados positivamente, los que forman un ángulo recto no están correlacionados y los que presentan un ángulo mayor a 90° presentan correlación negativa. El comportamiento de un cultivar en un ambiente determinado se obtiene proyectando el "*score*" del cultivar sobre el vector del ambiente en consideración. La distancia entre el origen y la proyección del "*score*" sobre el vector ambiental es un indicador del comportamiento de ese cultivar en dicho ambiente (van Eeuwijk, 1995).

2.3.2 Estudio de la interacción genotipo por ambiente.

Para el estudio de la interacción genotipo ambiente, se ajustó un modelo AMMI. Este modelo, primero ajusta efectos aditivos para los genotipos y para los ambientes por medio de un análisis de varianza (Analysis of Variance, ANOVA), y luego ajusta efectos multiplicativos para la interacción GxA mediante un PCA (Crossa et al, 1990), combinando el análisis de varianza con parámetros aditivos y PCA con parámetros multiplicativos en un mismo análisis. Como la interacción GxA puede ser descompuesta en N componentes principales (ejes AMMI), el modelo AMMI es una familia de modelos con cada modelo teniendo N ejes, AMMI- N , (Gauch y Zobel, 1997). El modelo más simple es el AMMI-0 y el más complejo AMMI- F con $F = \min(g-1, e-1)$ ejes. Para

la elección del número de ejes que son retenidos para el análisis de la interacción se utiliza una prueba F para determinar la significancia del cuadrado medio de los ejes, calculando los grados de libertad por el método de Gollob: $GL = g - e - 1 - 2n$ (Zobel et al, 1988).

En este caso, sobre la serie de datos A, con los datos correspondientes a los genotipos presentes en mas de un ambiente, y los datos faltantes sustituidos por sus BLUPs se ajustó el modelo AMMI-2:

$$y_{ikj} = \mu + g(c)_{ik} + e_j + \sum_{n=1}^N \lambda_n \xi_{in} \eta_{jn} + r_{ikj}$$

Y_{ikj} : rendimiento del *i*-ésimo cultivar, del *k*-ésimo ciclo, en el *j*-ésimo ambiente.

μ : media de rendimiento general.

$g(c)_{ik}$: efecto principal del cultivar *i* dentro del ciclo *k*.

e_j : efecto principal de ambiente.

λ_n : valor propio del *n*-ésimo eje PCA.

ξ_{in} : valor de *i*-ésimo cultivar en el *n*-ésimo eje.

η_{jn} : valor del *j*-ésimo ambiente en el *n*-ésimo eje.

r_{ij} : residual.

Posteriormente con los “scores” genotípicos y ambientales calculados por AMMI para la interacción se construyó un biplot.

2.4 CARACTERIZACIÓN DE LOS AMBIENTES DE EVALUACIÓN.

Con cada una de las series de datos B, C, y D se realizó un análisis de componentes principales para caracterizar, en términos de variables ambientales relevantes, los diferentes ambientes. Para ello se ajustó el siguiente modelo PCA:

$$Y_{ve} = \mu_v + \sum \lambda_n \xi_{vn} \eta_{vn} + r_{ve}$$

Y_{ve} : valor de la variable v en el e -ésimo ambiente.

μ_v : media para cada una de las variables v .

λ_n : varianza explicada por el n -ésimo eje PCA (valor propio).

ξ_{vn} : valor de v -ésima variable en el n -ésimo eje.

η_{en} : valor del e -ésimo ambiente en el n -ésimo eje.

r_{ve} : residual.

Con los scores de cada variable y de los ambientes se realizó un *biplot* para la caracterización de los ambientes.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 ESTIMACIÓN DE LOS COMPONENTES DE VARIANZA.

La estimación de los componentes de varianza muestra que los efectos más relevantes son: el efecto principal del ambiente, el efecto principal de cultivar dentro de ciclo, el efecto de la interacción cultivar dentro de ciclo por ambiente, y la interacción ciclo por ambiente (Tabla 2.).

Tabla 2. Estimación de los componentes de varianza para 133 cultivares, 3 ciclos y 7 ambientes (1992/93 – 1998/99), para la variable rendimiento en materia seca total (Ton.Há⁻¹).

Fuente de Variación	Componente de Varianza	Error Estándar	% del Total
Ambiente	14.87	8.86	66.08
Ciclo	0.22	0.51	0.97
Cultivar (Ciclo)	1.46	0.67	6.47
Ciclo x Ambiente	0.78	0.58	3.48
Cultivar(Ciclo) x Ambiente	2.04		9.08
Error	3.13		13.91

El efecto principal de ambiente es el mayor componente de varianza, representando el 66.08% de la varianza total. Esto muestra que para las condiciones de cultivo en Uruguay, este factor es el principal determinante del rendimiento en materia seca total de los cultivares de maíz para silo. Aquí hay que tener en cuenta que la estimación de la varianza correspondiente a este efecto se realizó con un escaso número de grados de libertad (6), lo que puede estar afectando la precisión de la estimación. Esto se ve reflejado en el error estándar, que para este efecto es superior al 50% de la varianza explicada por el mismo. El efecto principal de cultivar dentro de ciclo representa el 6.4% de la varianza total. Esto indica que los cultivares poseen distintos potenciales de rendimiento, el cual es detectado por los ensayos individuales de evaluación de

cultivares (Ceretta, 1996, 1997, 1998, INIA, 1993, 1995, Vilaró, 1994, Vilaró et al, 1999).

El efecto de la interacción entre cultivar y ambiente, que es el segundo factor que determina el rendimiento de materia seca de los cultivares de maíz para silo, representando el 9.08% de la varianza total. El efecto de la interacción de ciclos y ambientes realiza un aporte significativo a la varianza total (3.48% del total). Aquí hay que tener en cuenta que el error estándar es elevado (0.579), lo que indica baja precisión en la estimación de este componente de varianza. Estos resultados sugieren que la adaptación de los cultivares de maíz para silo esta dada por características propias de cada cultivar, así como por características que son comunes a los cultivares de cada uno de los ciclos. Frente estos resultados se confirma i) la importancia del estudio de la interacción cultivar dentro de ciclo por ambiente y ciclo por ambiente para comprender la adaptación de los cultivares de maíz para silo; ii) la necesidad de caracterizar los ambientes de evaluación para poder determinar que factores son los que afectan dichas interacciones.

El error experimental representa el 13.91% de la varianza total. Este es de similar magnitud al error reportado en otros trabajos nacionales como el de Ceretta et al, (2000), en cebada y el de Vilaró et al, (2000), en girasol donde se reportan valores de 12% del total de la varianza. Por otro lado los coeficientes de variación reportados en cada uno de los ensayos individuales de maíz para silo varían entre 5.99% y 16.22%. Esto sugiere que los ensayos individuales logran un control aceptable del error experimental.

3.2 ESTIMACIÓN DEL TAMAÑO DE LA RED DE EVALUACIÓN DE CULTIVARES.

El estudio del tamaño de la red de evaluación de cultivares de maíz para silo muestra que un incremento en el número de años de evaluación logra un aumento de la precisión muy superior al que se logra por un aumento en el número de repeticiones (Figura 2).

El aumento de dos a tres años de evaluación, tomando en cuenta tres repeticiones, logra un incremento de la precisión de aproximadamente 3%, lo que significa que se puede lograr una disminución aproximada de las diferencias detectables en rendimiento de 2900 KgHá⁻¹ a 2350 KgHá⁻¹. En el caso de evaluar los cultivares por un periodo de cuatro años utilizando tres repeticiones permitiría detectar diferencias de aproximadamente 2050 KgHá⁻¹. La utilización de 7 repeticiones durante dos años de evaluación no logra alcanzar la misma precisión que evaluando los cultivares en tres años con tres repeticiones (DCP=13.8 vs 12.5). Esto sugiere que la estrategia de incrementar la precisión por el aumento del número de repeticiones es muy ineficiente comparado con el incremento del número de años. Por otro lado, el número de ambientes muestreados se vería reducido, disminuyendo la “capacidad” de observar la interacción GxA. Teniendo en cuenta estos resultados la utilización de tres años de evaluación con tres repeticiones permitiría una mejor asignación de recursos, logrando un buen balance precisión - número de parcelas necesarias (DCP=12.5: N^op.n= 9).

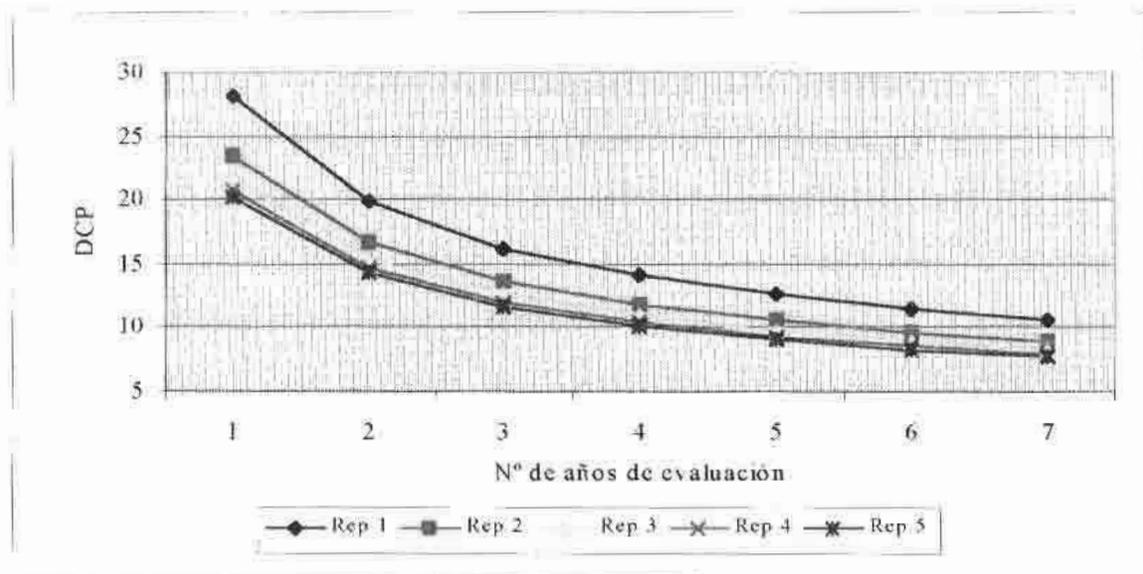


Figura 2. Efecto del incremento en el número de años en cada experimento sobre la Diferencia Crítica Porcentual para distinto número de repeticiones.

3.3 ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS CULTIVARES.

En el estudio del comportamiento de los cultivares se determinaron como significativos los dos primeros componentes principales, explicando el 60 % de la variación total. Como lo muestra la figura 3, dentro de los cultivares de maíz para silo evaluados en el Uruguay, existe un grupo que presentan asociación positiva con todos los ambientes de evaluación, es decir presentan adaptación general. Estos son los cultivares que se encuentran dentro del ángulo formado por los vectores de los ambientes 1997/98 y 1998/99. Es de importancia notar que dentro de este grupo se encuentran cultivares pertenecientes a los tres ciclos, corto, medio, y largo. Por otro lado se observan cultivares que presentan adaptación específica por estar altamente asociados con determinados ambientes, y un grupo importante de cultivares que presentan pobre adaptación a los ambientes de evaluación.

Teniendo en cuenta los resultados publicados por el Programa Nacional de Evaluación de Cultivares (Ceretta, 1996, 1997, 1998, INIA, 1993, 1995, Vilaró, 1994, Vilaró et al, 1999), para los ambientes de evaluación aquí estudiados se ve que, la mayoría de los cultivares que se encuentran en las primeras posiciones del ranking en cada ambiente son aquellos que se encuentran altamente asociados con dichos ambientes. Esto sugiere que el componente de interacción es muy importante en la determinación del rendimiento en materia seca total.

En lo que respecta a los ambientes no es posible formar grupos de ambientes con comportamientos diferenciales, si bien los ambientes 1997/98 y 1998/99 se presentan como los más contrastantes. Esto será discutido en el punto 3.5.

3.4 ESTUDIO DE LA INTERACCIÓN GENOTIPO AMBIENTE.

El ajuste del modelo AMMI para el estudio de la interacción GxA determinó como significativos los dos primeros términos multiplicativos explicando un 60 % parte de la interacción GxA (Figura 4).

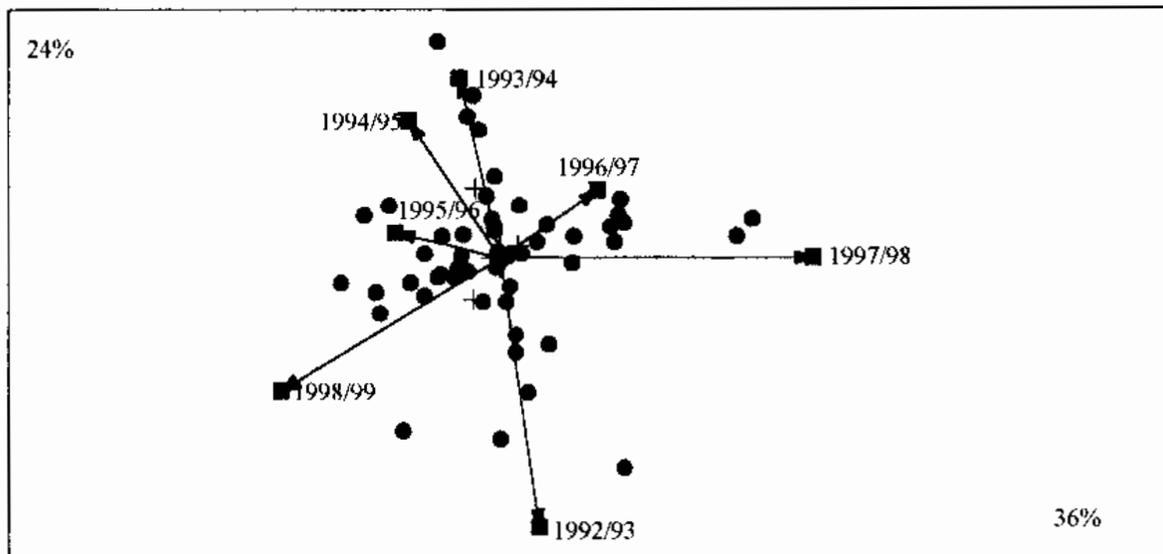


Figura 4. Biplot AMMI para representación del efecto de la interacción genotipo ambiente en el rendimiento en materia seca total para los cultivares presentes dos y tres años en los ambientes 1992/93 – 1998/99. Los puntos en azul representan los cultivares de ciclo corto, los puntos en rojo los cultivares de ciclo medio y los puntos en verde los cultivares de ciclo largo. Las cruces representan el promedio de rendimiento de los cultivares de ciclo corto, medio y largo respectivamente.

Analizando el comportamiento de los cultivares se puede observar que los estos responden de forma diferencial dependiendo del ciclo al que pertenecen. Los cultivares de ciclo medio y largo se encuentran asociados a un rango mayor de ambientes que los de ciclo corto. Por otro lado, cada grupo de cultivares se encuentra mas altamente asociado con un ambiente particular, los de ciclo corto con el ambiente 1993/94, los de ciclo medio con los ambientes 1996/97 y 1997/98, y los cultivares de ciclo largo a los ambientes 1992/93 y 1998/99. Estos resultados sugieren que la interacción ciclo por ambientes es un componente importante de la interacción.

Los ambientes utilizados en este estudio presentan un comportamiento diferencial sobre la interacción GxA, es decir la interacción que muestra cada cultivar está

condicionada en forma diferente por cada uno de los ambientes. Dentro de los ambientes mas contrastantes se encuentran los ambientes 1992/93, 1993/94, 1997/98, y 1998/99. Esto sugiere que existe un conjunto de variables ambientales que afectan de manera diferencial el comportamiento de los cultivares de cada ciclo.

3.5 CARACTERIZACIÓN DE LOS AMBIENTES DE EVALUACIÓN.

En las tablas 3 - 5 se muestran los resultados del estudio de las correlaciones entre las variables ambientales precipitación, déficit hídrico potencial y radiación solar en cada período del cultivo con el rendimiento promedio de materia seca total de cada ciclo en cada ambiente (1992/93 – 1998/99). Se evidencia la importancia que tiene el nivel de precipitaciones en el ciclo del cultivo, así como el déficit hídrico real y la radiación solar. Para las demás variables exploradas, temperatura media máxima, mínima y diaria, así como para déficit hídrico potencial en cada período del cultivo, no se encontraron correlaciones estadísticamente significativas.

Tabla 3. Correlaciones entre precipitaciones (mm) y rendimiento en materia seca total (Kg.Ha⁻¹) en distintas etapas del desarrollo del cultivo, según ciclo, para la serie de 7 años 1992/93 – 1998/99.

Ciclo	S PF	PF F	F POF	POF C	PF POF	PF C	F C	S F	S POF	S C	
Corto	Cr.	-0.01	0.28	0.09	0.77**	0.31	0.79**	0.72*	0.15	0.02	0.50
	Pr.	0.98	0.54	0.86	0.04	0.50	0.04	0.07	0.97	0.96	0.26
Medio	Cr.	-0.44	-0.43	0.52	0.83**	0.17	0.81**	0.82**	-0.45	-0.35	-0.02
	Pr.	0.32	0.34	0.23	0.02	0.72	0.03	0.02	0.31	0.44	0.97
Largo	Cr.	-0.37	0.25	0.59	0.69*	0.81**	0.88**	0.76**	-0.31	-0.22	0.04
	Pr.	0.42	0.59	0.16	0.09	0.03	0.01	0.05	0.50	0.63	0.93

*, ** Correlaciones estadísticamente significativas, $P < 0.10$ y $P < 0.05$, respectivamente.

Cr.: correlación. Pr.: probabilidad. S-PF: período siembra a 10 días prefloración. PF-F: período 10 días prefloración a floración. F-POF: período floración a 10 días postfloración. POF-C: período 10 días postfloración a cosecha. PF-POF: período 10 días prefloración a 10 días postfloración. PF-C: período 10 días prefloración a cosecha. F-C: período floración a cosecha. S-F: período siembra a floración. S-POF: período siembra a 10 días postfloración. S-C: período siembra a cosecha.

Tabla 4. Correlaciones entre déficit hídrico real (mm) y rendimiento en materia seca total (Kg.Ha⁻¹) en distintas etapas del desarrollo del cultivo, según ciclo, para la serie de 7 años 1992/93 – 1998/99.

Ciclo	S	PF	PF F	F	F POF	POF C	PF POF	PF C	F C	S F	S POF	S C
Corto	Cr.	0.12	0.004	0.03	0.03	-0.88**	0.02	-0.76**	-0.83**	0.10	0.09	-0.52
	Pr.	0.80	0.99	0.94	0.94	0.01	0.96	0.05	0.02	0.84	0.85	0.23
Medio	Cr.	0.20	0.56	-0.04	-0.04	-0.89**	0.25	-0.67*	-0.79**	0.30	0.26	-0.42
	Pr.	0.67	0.20	0.93	0.93	0.01	0.59	0.09	0.04	0.51	0.57	0.35
Largo	Cr.	0.32	0.43	-0.38	-0.38	-0.75*	-0.08	-0.69*	-0.75*	0.39	0.24	-0.42
	Pr.	0.48	0.36	0.40	0.40	0.05	0.87	0.09	0.05	0.39	0.61	0.34

*, ** Correlaciones estadísticamente significativas, $P < 0.10$ y $P < 0.05$, respectivamente.

Cr.: correlación. Pr.: probabilidad. S-PF: período siembra a 10 días prefloración. PF-F: período 10 días prefloración a floración. F-POF: período floración a 10 días postfloración. POF-C: período 10 días postfloración a cosecha. PF-POF: período 10 días prefloración a cosecha. S-F: período siembra a floración. S-POF: período siembra a 10 días postfloración. S-C: período siembra a cosecha.

Tabla 5. Correlaciones entre radiación solar (MJ/m^2) y rendimiento en materia seca total (Kg.Ha^{-1}) en distintas etapas de desarrollo del cultivo, según ciclo, para la serie de 7 años 1992/93 – 1998/99.

Ciclo	S	PF	PF F	F	POF	POF C	PF	PF POF	PF C	F	F C	S	F	S	POF	S	C
Corto	Cr.	-0.42	0.09	-0.57	0.08	0.08	-0.31	0.03	0.02	0.02	-0.33	-0.47	0.13	0.13			
	Pr.	0.35	0.84	0.18	0.86	0.86	0.50	0.96	0.97	0.97	0.47	0.35	0.76	0.76			
Medio	Cr.	-0.37	0.16	-0.84**	-0.17	-0.60	-0.60	-0.26	-0.27	-0.33	-0.47	-0.35	-0.35	-0.35			
	Pr.	0.41	0.74	0.02	0.72	0.72	0.16	0.57	0.56	0.47	0.29	0.44	0.44	0.44			
Largo	Cr.	-0.003	-0.71*	-0.38	-0.08	-0.54	-0.54	-0.15	-0.13	-0.09	-0.18	-0.14	-0.14	-0.14			
	Pr.	0.99	0.07	0.40	0.87	0.87	0.21	0.75	0.79	0.84	0.70	0.76	0.76	0.76			

*, ** Correlaciones estadísticamente significativas, $P < 0.10$ y $P < 0.05$, respectivamente.

Cr.: correlación. Pr.: probabilidad. S-PF: período siembra a 10 días prefloración. PF-F: período 10 días prefloración a floración. F-POF: período floración a 10 días postfloración. POF-C: período 10 días postfloración a cosecha. PF-POF: período 10 días prefloración a cosecha. PF-C: período siembra a cosecha. F-C: período siembra a floración. S-F: período siembra a 10 días postfloración. S-C: período siembra a cosecha.

En base a los resultados anteriores se seleccionaron como variables ambientales para la caracterización de los ambientes y comportamiento en promedio de los cultivares de cada ciclo:

- Precipitación.
 - Ciclo corto, medio y largo. Período 10 días prefloración a cosecha.
- Déficit hídrico real.
 - Ciclo corto. Período 10 días prefloración a cosecha.
 - Ciclo medio y largo. Período floración cosecha.
- Radiación solar.
 - Ciclo corto y medio. Período floración a 10 días postfloración.
 - Ciclo largo. Período 10 días prefloración a floración.

La producción de materia seca total de los cultivares de maíz para silo, al igual que el rendimiento en grano en los cultivares con ese fin, se encuentra altamente relacionados con la disponibilidad de agua en periodos previos a floración hasta la cosecha, como lo demuestran las correlaciones existentes con las precipitaciones y el déficit hídrico real (Tablas 3 y 4). El déficit hídrico puede causar una disminución de la fotosíntesis, (por lo tanto en producción de materia seca), y/o una reducción de la funcionalidad de las barbas y/o aborto de los granos recién polinizados, disminuyendo el aporte de la mazorca al rendimiento total en materia seca, (por lo tanto en la calidad del material a ensilar) (Fassio et al, 1998). A su vez, la existencia de correlación negativa entre rendimiento en materia seca total y radiación solar acumulada indica que existen efectos negativos de la radiación en los periodos cercanos a la floración sobre el rendimiento (Tabla 5). Esto puede deberse a que frente a la existencia de alta radiación, combinado con altas temperaturas, la fotosíntesis del estrato superior de hojas cesa por el fenómeno de fotoinhibición (Fassio et al, 1998). Otro aspecto a resaltar es que los

distintos ciclos son sensibles a las mismas variables ambientales en distintos períodos del ciclo de crecimiento del cultivo.

Utilizando estas variables ambientales, se realizó un análisis de componentes principales para cada ciclo para caracterizar los ambientes de evaluación. Para todos los casos se encontraron dos componentes principales como significativos explicando entre 85 % y 95 % de la variación total. Aquí la proyección de los scores de los ambientes sobre los vectores de las variables climáticas permite la caracterización de los mismos en cuanto a precipitación, radiación y déficit hídrico real. Los resultados para cada ciclo se presentan en las figuras 5 a 7.

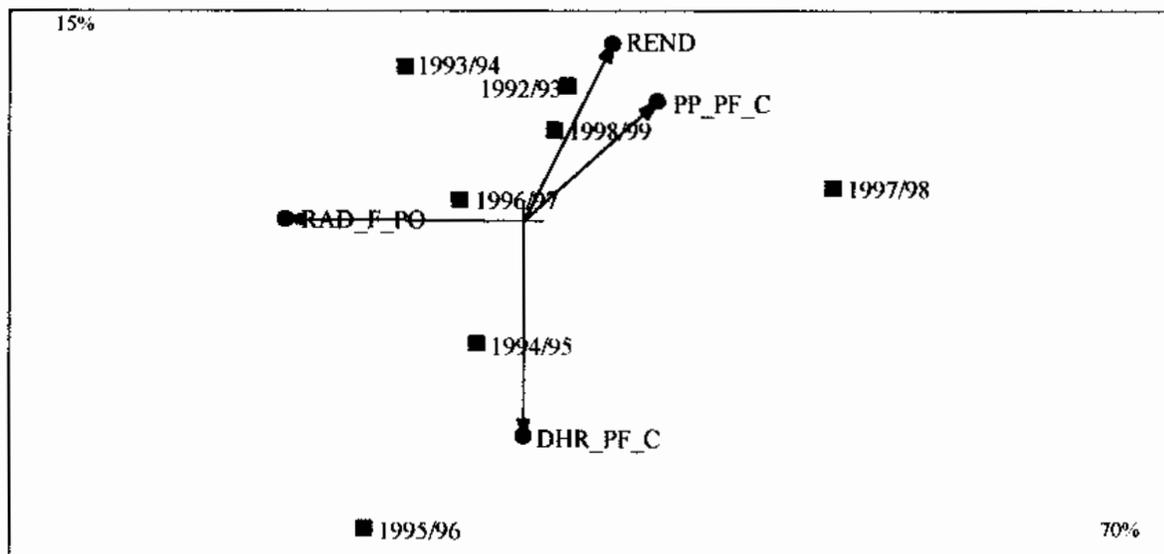


Figura 5. *Biplot* para el comportamiento en rendimiento de materia seca total para la media de rendimiento de los cultivares de ciclo corto en los ambientes 1992/93 - 1998/99 y las variables ambientales seleccionadas.

A partir de la Figura 5, se pueden agrupar los ambientes de evaluación (con respecto al rendimiento promedio de los cultivares de ciclo corto), en un grupo de mayor

rendimiento representado por los ambientes 1992/93, 1993/94, 1997/98, y 1998/99, correlacionados positivamente con el rendimiento, y en un segundo grupo de menor rendimiento representado por los ambientes 1994/95, y 1995/96, correlacionado negativamente con el rendimiento. De esta manera, los ambientes con mayores rendimientos (1992/93, 1993/94, 1997/98 y 1998/99), se encuentran asociados positivamente a las precipitaciones en el período PF-C, y negativamente con el nivel de radiación solar incidente en el período F-POF y con el déficit hídrico real en el período PF-C. Así mismo los ambientes de menor rendimiento (1994/95 y 1995/96), se encuentran correlacionados positivamente con la radiación y el déficit hídrico real y negativamente con la precipitación en el período considerado (Ver Tablas 3-5).

Para el caso de los cultivares de ciclo medio y largo (Ver Figura 6 y Figura 7, respectivamente) al igual que para los cultivares de ciclo corto, el rendimiento en materia seca total está correlacionado positivamente con la precipitación, y negativamente con la radiación y el déficit hídrico real. Existen pequeñas diferencias en cuanto a los momentos de mayor incidencia de cada una de estas variables. Este es el caso del déficit hídrico real que para estos ciclos, medio y largo, afecta el período floración a cosecha. Para el caso de radiación solar existen diferencias entre los cultivares de ciclo corto y medio con los cultivares de ciclo largo, en donde el período de mayor incidencia es diez días postfloración a cosecha.

Aquí se puede realizar el mismo agrupamiento de ambientes, el grupo de mayor rendimiento está conformado por los ambientes 1992/93, 1997/98, y 1998/99; y el grupo de menor rendimiento conformado por los ambientes 1994/95 y 1995/96. Los ambientes de menor rendimiento se encuentran asociados al déficit hídrico real y la radiación, y los ambientes de mayor rendimiento se encuentran asociados a la precipitación en los períodos considerados.

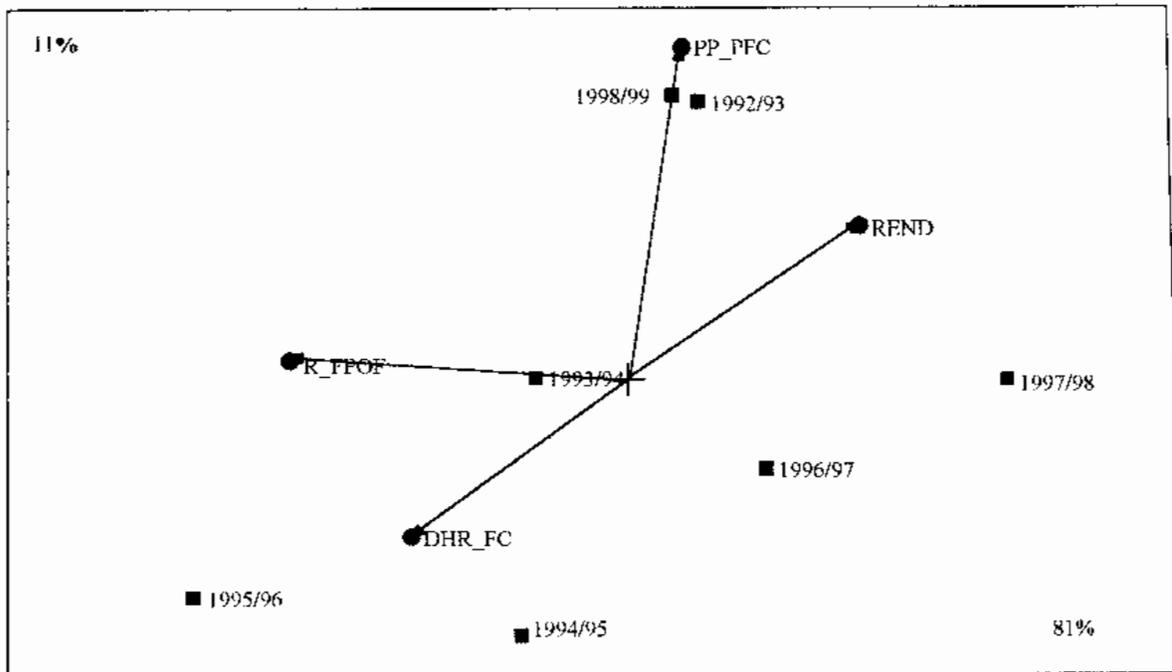


Figura 6. *Biplot* para el comportamiento en rendimiento de materia seca total para la media de rendimiento de los cultivares de ciclo medio en los ambientes 1992/93 – 1998/99 y variables ambientales seleccionadas.

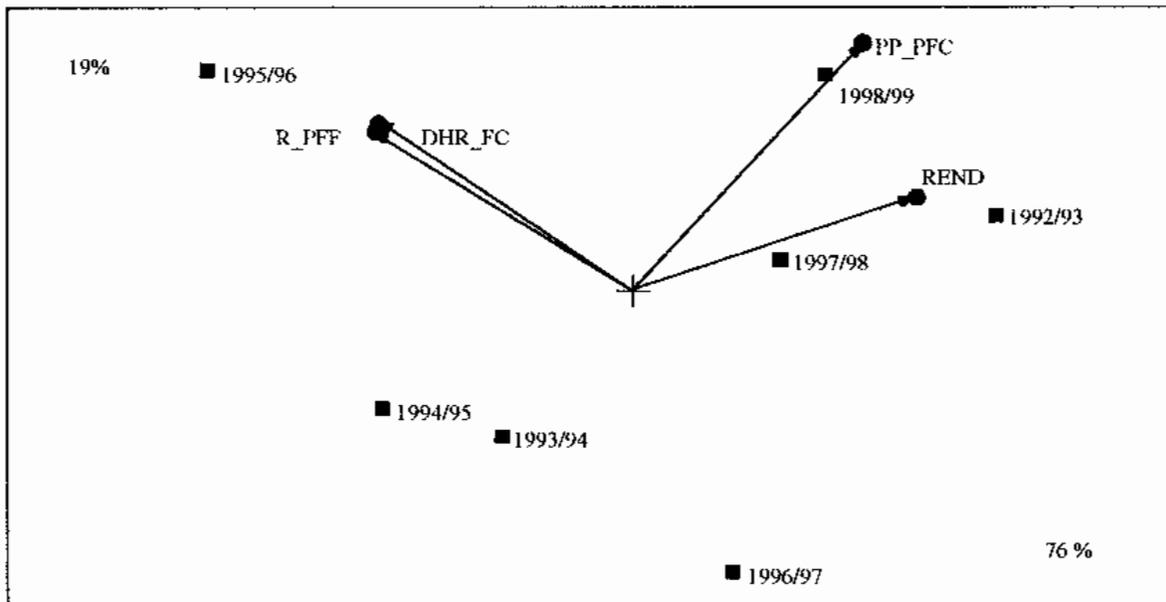


Figura 7. *Biplot* para el comportamiento en rendimiento de materia seca total para la media de rendimiento de los cultivares de ciclo largo en los ambientes 1992/93 – 1998/99 y variables ambientales seleccionadas.

Los ambientes de evaluación estudiados en base a estas variables ambientales afectan de manera similar a los distintos ciclos, existiendo mayor similitud entre los ciclos medio y largo que la existente entre cualquiera de ellos y los de ciclo corto. Por otro lado se ve que las variables ambientales seleccionadas no son las principales determinantes de la interacción GxA. Los ambientes 1992/93, 1997/98 y 1998/99, en esta caracterización se encuentran asociados, mientras que en el estudio del comportamiento de los cultivares (Figura 3), y en el de interacción genotipo ambiente (Figura 4), aparecen como contrastantes. Es decir, existen diferencias que si son captadas por los genotipos de cada ciclo y no lo son por los análisis. Por esto la exploración de estas y otras variables por otras técnicas permitirán una mejor comprensión de las causas de la interacción GxA.

4. CONCLUSIONES

El estudio de la precisión de la red de evaluación de cultivares de maíz para silo, muestra que es posible aumentar la precisión de la red, aumentando el número de años de evaluación.

Es posible identificar cultivares con adaptación general o específica así como cultivares poco adaptados, en todos los grupos de ciclos. Sin embargo, el promedio de los cultivares de ciclo corto presenta menor rendimiento que el promedio de los cultivares de ciclo medio y largo.

Los resultados aquí presentados con respecto a la interacción GxA, confirman la importancia de trabajar con cultivares de adaptación general, ya que el comportamiento de los ambientes con respecto a esta interacción es muy heterogéneo. De los dos componentes de interacción estudiados, la interacción ciclo por ambiente e interacción cultivar por ambiente, ambos se presentan como relevantes. Profundizar en el estudio de la interacción, intentando explicar las causas fisiológicas de la misma, posibilitará avanzar en la comprensión del fenómeno de adaptación, y brindará información de gran utilidad para programas de mejoramiento.

Las variables precipitación, déficit hídrico real y radiación por sí solas no permiten explicar la interacción GxA, pero explican el rendimiento en materia seca total del promedio de cada uno de los ciclos.

5. RESUMEN

Debido al gran aumento del uso de maíz para silo se plantea la necesidad de estudiar la adaptación de este cultivo a las condiciones de Uruguay, así como la precisión de la Red Nacional de Evaluación de Cultivares de Maíz para Silo. Se contó con los datos de rendimiento en materia seca total de 133 cultivares evaluados en el período 1992/93 - 1998/99. La evaluación de la precisión de la Red de Evaluación de Cultivares se realizó utilizando la Diferencia crítica porcentual y estimando los componentes de varianza por REML. Para el estudio del comportamiento de los cultivares en los ambientes de evaluación, así como para la caracterización de dichos ambientes se realizó un Análisis de Componentes Principales. El estudio de la interacción genotipo por ambiente se realizó con un modelo AMMI-2. El estudio de la precisión de la red muestra que es posible incrementar la misma por medio de un aumento en el número de años de evaluación y que en los experimentos individuales se logra un control aceptable del error experimental. Dentro de los cultivares evaluados en el país existe un grupo de ellos que presenta adaptación general, y otro que presenta adaptación específica. Esta adaptación se encuentra determinada por la interacción ciclo por ambiente e interacción cultivar dentro de ciclo por ambiente, mostrando la importancia del factor ciclo, cultivar y ambiente en la determinación del rendimiento en materia seca total. Los ambientes de evaluación se pueden agrupar con respecto al rendimiento en materia seca total por la precipitación, déficit hídrico real y radiación solar. Sin embargo estas variables por sí solas no explican la interacción genotipo por ambiente.

6. SUMMARY

In the last years silage corn has become very important in the Uruguayan intensive production systems. It is necessary to study the adaptation of this crop to the Uruguayan conditions and precision of the National Cultivar Evaluation System of Silage Corn. The data consist in yield of total dry matter of 133 cultivars evaluated between 1992/93 – 1998/99. The Critical Difference in percentage was used to evaluate the precision of the National Evaluation System. The variance components were estimated using REML. Principal Component Analysis was performed to evaluate the behaviour of the cultivars in the evaluation environments and to characterise these environments. An AMMI-2 model was used to study the genotype by environment interaction. The study of precision shows that i) it is possible to improve precision by increasing the number of years of evaluation; ii) the experimental error is controlled successfully in the individual trials. There is a group of cultivars with broad adaptation to our conditions, there are other cultivars that show narrow adaptation, and finally there are an important number of cultivars poorly adapted. The adaptation of a cultivar depends of the cycle by environment interaction and cultivar nested in cycle by environment interaction. These results show the importance of factors: cycle, cultivar and environment, in yield of total dry matter of silage corn cultivar. The variables precipitation, radiation and water deficit characterise the environments in terms of yield, but they do not explain the genotype by environment interaction.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. ABADIE, T., and CERETTA, S. 1997. Exploring crop adaptation through the study of multi-environment trials (METS). In: Third South American Oats Congress. Rebuffo, M., and T. Abadie eds. INIA, The Quaker Oats Company. INIA La Estanzuela, Noviembre 1997. pp 35-40.
2. BERGLUND, D.R and CROSS H.Z. 1992. Corn Production for Grain and Silage. North Dakota State University Extension Service, Fargo 1992. 8 p.
3. BOWMAN, D.T. 1989. Plot Configuration in Corn Yield Trials. Crop Science 29:1202-1206.
4. CERETTA, S. 1996. Evaluación de Cultivares de Maíz para Silo. In: Jornada de Cultivos de Verano. Serie Actividades de Difusión N° 104. INIA La Estanzuela. INIA, Uruguay. pp 21-25.
5. . 1997. Evaluación de Cultivares de Maíz para Silo. In: Jornada de Cultivos de Verano. Serie Actividades de Difusión N° 138. INIA La Estanzuela. INIA, Uruguay. pp 55-61.
6. . 1998. Evaluación de Cultivares de Maíz para Silo. In: Jornada de Cultivos de Verano. Serie Actividades de Difusión N° 169. INIA La Estanzuela. INIA, Uruguay. pp 38-44
7. CERETTA, S., ABADIE, T., OZERAMI, H., and ALBERBIDE, M. 1998. El uso de redes de experimentos para estudiar la adaptación de los cultivos. In Actas da la VII reunión de coordinación de la investigación algodonera en el cono sur. De. Belot, Jean Louis ed. Universidad de la República, Facultad de Agronomía, CIRAD. Paysandú, setiembre 1998. pp 9-13.
8. CERETTA, S., VAN EEUWIJK, F.A., CASTRO, M., VILARÓ, D. and ABADIE, T. 2000. Variabilidad en el rendimiento de cultivares de cebada cervecera en Uruguay. Serie Técnica 117. INIA, Uruguay. 20 p.

9. CLARKE, F.R., and BAKER, R.J. 1996. Spatial Analysis Improves Precision of Seed Lot Comparisons. *Crop Science* 36:1180-1184.
10. COCHRAN, W.G. y COX, G.M. 1983. Diseños experimentales. 2da ed. México, Editorial Trillas. 661 p.
11. COMITÉ TÉCNICO MIXTO PERMANENTE. 1999. Proyecto. Protocolo de Evaluación de Maíz Silo para el Registro Nacional de Cultivares. Agosto de 1999. INIA-INASE.
12. CORNELIUS, P., and CROSSA, J. 1999. Prediction Assessment of Shrinkage Estimators of Multiplicative Models for Multi-Environment Cultivar Trials. *Crop Science* 39:998-1009.
13. CROSSA, J., GAUCH, JR, H.G., and ZOBEL, R.W.. 1990. Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Analysis of Two International Maize Cultivar Trials. *Crop Science* 30:493-500.
14. FASSIO, A., CARRIQUIRY, A.I., TOJO, C. and ROMERO, R. 1998. Maíz: Aspectos sobre Fenología. Serie Técnica 101, INIA La Estanzuela. INIA, Uruguay. 51p.
15. FOX, P.N., CROSSA, J. and ROMAGOSA, I. 1997. Multi-environmental testing and genotype x environment interaction. *In* Statistical methods for plant variety evaluation. R.A. Kempton and P.N. Fox (eds). London, Chapman & Hall. pp. 117-138.
16. GOMEZ, K.A. and GOMEZ, A.A. 1984. Statistical procedures for agricultural research. 2nd ed. IRRI. John Wiley & Sons. 680 p.
17. HELMS, T.C., SCOTT, R.A. and HAMMOND, J.J. 1999. Intrablock Variance among Duplicate treatments for Nearest-Neighbour Analyses. *Agronomy Journal* 91:317-320.
18. HÜHN, M., LOTITO, S. and PIEPHO, H.P. 1993. Relationships between genotype x environment interactions and rank orders for a set of genotypes tested in different environments. *Theoretical and Applied Genetics* 86:943-950.

19. INIA. 1993. Informa Presentado a la Comisión Asesora de Certificación de Semillas. Sector Cereales de Verano. Maíz – Sorgo. INIA La Estanzuela. pp 1-7.
20. INIA. 1995. Informa Presentado a la Comisión Asesora de Certificación de Semillas. Sector Cereales de Verano. Maíz. INIA La Estanzuela. pp 42-50.
21. LYNCH, M., and WALSH, B.. 1998. Genetics and Analysis of Quantitative Traits. Sinauer Associates, Inc. 980pp.
22. MANLY, B.J.F. 1994. Multivariate Statistical Methods. A Primer. 2nd ed. London, Chapman & Hall. 215pp.
23. MEAD, R. 1997. Design of plant breeding trials. In: Statistical methods for plant variety evaluation. R:A: Kempton and P:N: Fox eds. London, Chapman & Hall. pp. 40-67.
24. NIAB, 1995. NIAB Recommended List of Forage Maize 1995. National Institute of Agricultural Botany. Cambridge, 1994. 15 p.
25. PATTERSON, H.D. 1997. Analysis of series of variety trials. In: : Statistical methods for plant variety evaluation. Kempton, A., and Fox P.N. eds. London, Chapman & Hall. pp. 139-161.
26. FIGURINA, G. y PEREZ GOMAR E. 1994. Momento de cosecha de maíz para ensilar. Boletín de Divulgación N° 43. INIA Tacuarembó. 12 p.
27. SHARMA, S. 1996. Applied Multivariate Techniques. 1st ed. John Wiley & Sons, Inc. 493 pp.
28. SNEDECOR, G.W. and COCHRAN, W.G. 1989. Statistical methods. 8th ed. Iowa State University Press, Ames. 503 pp.
29. STATSOFT, INC. 1998. Statistica for Windows (Computer Program Manual). Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2300 East 14th Street, Tulsa, OK. USA.
30. STEEL, R.G.D., and TORRIE, J.H. 1980. Principles and procedures of statistics. A biometrical approach. 2nd ed. McGraw Hill Book Company. 633 pp.
31. STROUP, W.W., BAENZIGER, P.S., and MULITZE, D.K. 1994. Removing Spatial Variation from Wheat Yield Trials: A Comparison of Methods. Crop Science 34:62-66.

32. VAN EEUWIJK, F.A. 1995. Linear and bilinear models for the analysis of multi-environment trials: I. An inventory of models. *Euphytica* 84:1-7.
33. VAN EEUWIJK, F.A., KEIZER, L.C.P. and BAKKER, J.J. 1995. Linear and bilinear models for the analysis of multi-environment trials: II. An application to data from the Dutch Maize Variety Trials. *Euphytica* 84:9-22.
34. VARGAS, M., CROSSA, J., VAN EEUWIJK, F.A., RAMÍREZ, M.E. and SAYRE, K. 1999. Using Partial Least Squares Regression, Factorial Regression, and AMMI Models for interpreting Genotype x Environment Interaction. *Crop Science* 39:955-967.
35. VILARÓ, D. 1994. Evaluación de Cultivares de Maíz para Silo. *In: Jornada de Cultivos de Verano. Sector Cereales de Verano. Serie Actividades de Difusión N° 22. INIA La Estanzuela, Uruguay. pp 69-73.*
36. VILARÓ, D., M. LABANDERA, y M. SASTRE. 1999. Resultados Experimentales de Evaluación de cultivares. Maíz para Silo 1999. INIA La Estanzuela. INIA, Uruguay. 14 p.
37. VILARÓ, D., CERETTA, S., y ABADIE, T. 2000. Póster: Estudio de la Adaptación de Cultivares de Girasol en Uruguay. *In: XVII Seminario Panamericano de Semillas. Rueda de Negocios y Foro Mundial sobre Biotecnología y Marketing de Semillas. 20-22 Noviembre, Punta del Este. Uruguay.*
38. WIERSMA, D.W., CARTER, P.R., ALBRECHT, K.A. and Coors, J.G. 1996. Kernel Milkline Stage and Corn Forage Yield, Quality, and Dry Matter Content. *J. Prod. Agric.* 6:94-99.
39. YAN, W., HUNT, L.A., SHENG, Q. and SZLAVNICS, Z. 2000. Cultivar Evaluation and Mega-Environment Investigation Based on the GGE Biplot. *Crop Science* 40:597-605.
40. ZOBEL, R.W., WRIGHT, M.J. and GAUCH, JR, H.G. 1988. Statistical Analysis of a Yield Trial. *Agronomy Journal* 80:388-393.

8. ANEXOS

ANEXO I. Contribución a la varianza total por los componentes principales encontrados como significativos en el análisis PCA de l comportamiento de los cultivares de maíz para silo evaluados dos o más años en el período 1992/93 a 1998/99, en cuanto a rendimiento en materia seca total (Ton.Há⁻¹).

	Componente Principal 1	Componente Principal 2	Residual	Total
Valor Singular	1.786	0.816	1.091	2.246
Valor Propio	3.189	0.666	1.191	5.046
Relación con el total	0.632	0.132	0.236	1.000
Acumulado	63.194	76.402	23.598	100.000

ANEXO II. Scores de los ambientes para los componentes principales encontrados como significativos en el análisis PCA, para los cultivares de maíz para silo evaluados dos o más años en el período 1992/93 a 1998/99, en cuanto a rendimiento en materia seca total (Ton.Há⁻¹).

	Componente Principal 1	Componente Principal 2
1992/93	1.984	0.060
1993/94	1.739	0.119
1994/95	1.451	0.356
1995/96	1.484	0.521
1996/97	1.995	-0.469
1997/98	1.942	-1.547
1998/99	1.818	1.279

ANEXO III. Scores de los cultivares evaluados dos o más años en el período 1992/93 a 1998/99, para los componentes principales encontrados como significativos en el análisis PCA del comportamiento de los mismos en cuanto a rendimiento en materia seca total (Ton.Há⁻¹).

Cultivar	Componente Principal 1	Componente Principal 2	Cultivar	Componente Principal 1	Componente Principal 2
2210 (EE 9502)	-0.491	0.624	IPB Sedent 20000	0.004	1.283
A-950	-1.230	-0.070	IPB Silero 710	-0.058	-0.401
A-952 (XPA-9656)	1.158	0.725	M 307	-2.841	-0.957
ACA 923	-0.824	0.342	M 369	1.498	1.341
Agrobel 2050	0.836	-0.001	M 370	1.604	1.411
Agrobel 3000	-2.116	0.332	M 506	2.298	0.145
Ambaio	1.498	0.102	Morgan 507	1.903	-0.401
Atar 481	0.154	0.303	Morgan PM 9260	-0.303	-0.082
Atlas	1.181	-1.214	Nevado 612	1.809	1.439
Aurora	-1.633	-0.057	NK 367	-1.462	-0.077
Avant	0.811	1.006	Pioneer 3063	-1.569	0.668
AX 788	2.052	0.068	Pioneer 3069	-0.581	-0.117
AX-845	0.012	-0.218	Pioneer 3379	-3.761	-0.232
Blanco Cangüe	4.172	0.811	Pioneer 3452	2.395	0.061
Boyero 3L94	2.211	0.454	Pioneer 3468	-0.752	0.064
C-901	-1.790	-0.404	Pioneer 6875	-0.130	-0.050
Cargill 350	0.105	1.054	Record 160	-0.473	-0.005
DK 4F37	0.828	0.266	Semiden 5	-1.067	-0.047
DK 636	-0.926	-0.018	Suco (E-12BO13)	1.268	-1.126
DK 754S	1.055	-2.401	Tambero 1	1.498	-1.261
DK 821	2.774	-0.762	Tilcara	-1.134	0.583
Dk 834 (Exp. 783)	-2.939	-0.145	Trihíbrido 92	0.821	-0.691
E Bagual	-4.149	0.251	Triumph 2010	0.502	0.885
EM 7300	-1.317	-1.409	Triumph 2035	-0.559	-0.081
Esc. 23	-4.084	-0.187	Tronadorr G422	-0.320	0.031
Exp. 85	-0.080	-0.012	Tropico 327	0.583	0.286
Hércules	1.188	1.727	Zeneca 8321	1.669	-1.110
INIA Orejano	-0.320	-0.009	Zeneca 8340	3.313	-2.436
INIA Redomón	-1.295	-0.427	Zeneca 8543	-2.994	0.143

ANEXO IV. Contribución a la varianza de la interacción por los componentes principales encontrados como significativos en el análisis AMMI de la interacción GxA para los cultivares de maíz para silo evaluados dos o más años en el período 1992/93 a 1998/99, en cuanto a rendimiento en materia seca total (Ton.Há⁻¹).

	Componente Principal 1	Componente Principal 2	Residual	Total
Valor singular	0.822	0.684	0.868	1.377
Valor Propio	0.675	0.467	0.754	1.897
Relación con el total	0.356	0.246	0.398	1.000
% Acumulado	35.594	60.231	39.769	100.000

ANEXO V. Scores de los ambientes para los componentes principales encontrados como significativos en el análisis AMMI de la interacción GxA para los cultivares de maíz para silo evaluados dos o más años en el período 1992/93 a 1998/99, en cuanto a rendimiento en materia seca total (Ton.Há⁻¹).

	Componente Principal 1	Componente Principal 2
1992/93	0.059	-1.294
1993/94	-0.104	0.860
1994/95	-0.386	0.682
1995/96	-0.518	0.163
1996/97	0.538	0.263
1997/98	1.606	-0.155
1998/99	-1.194	-0.521

ANEXO VI. Scores de los cultivares evaluados en cuanto a rendimiento en materia seca total (Ton.Há⁻¹), dos o más años en el período 1992/93 a 1998/99, para los componentes principales encontrados como significativos en el análisis AMMI de la interacción GxA.

Cultivar	Componente Principal 1	Componente Principal 2	Cultivar	Componente Principal 1	Componente Principal 2
2210 (EE 9502)	-0.640	-0.111	IPB Sedent 20000	-1.332	0.526
A-950	0.000	0.007	IPB Silero 710	0.391	0.108
A-952 (XPA-9656)	-0.649	-0.119	M 307	0.784	0.114
ACA 923	-0.394	0.058	M 369	-1.183	-1.544
Agrobel 2050	0.047	-0.002	M 370	-1.298	-0.414
Agrobel 3000	-0.443	-0.080	M 506	-0.027	0.282
Ambaio	-0.016	-0.061	Morgan 507	0.515	0.255
Atar 481	-0.392	2.088	Morgan PM 9260	0.064	0.001
Atlas	1.265	0.282	Nevado 612	-1.314	-0.217
Aurora	-0.059	0.586	NK 367	-0.007	0.053
Avant	-0.945	-0.159	Pioneer 3063	-0.769	0.108
AX 788	0.031	0.764	Pioneer 3069	0.141	-1.303
AX-845	0.229	0.015	Pioneer 3379	0.055	-0.909
Blanco Cangüe	-0.568	0.253	Pioneer 3452	0.077	-0.003
Boyero 3L94	-0.342	-0.093	Pioneer 3468	-0.169	1.356
C-901	0.266	0.473	Pioneer 6875	0.076	-0.752
Cargill 350	-1.076	0.601	Record 160	-0.033	0.251
DK 4F37	-0.231	-0.406	Semiden 5	-0.026	0.357
DK 636	-0.080	1.208	Suco (E-12BO13)	1.195	0.029
DK 754S	2.458	-0.043	Tambero 1	1.322	0.198
DK 821	1.044	-2.099	Tilcara	-0.636	-0.109
Dk 834 (Exp. 783)	-0.020	-0.004	Trihibrido 92	0.742	-0.125
E Bagual	-0.487	-0.140	Triumph 2010	-0.811	-0.301
EM 7300	1.299	0.427	Triumph 2035	0.068	-0.281
Esc. 23	-0.101	1.544	Tronadorr G422	-0.054	-0.100
Exp. 85	0.023	-0.422	Tropico 327	-0.196	-1.710
Hércules	-1.659	-0.086	Zeneca 8321	1.183	0.175
INIA Orejano	-0.010	-0.015	Zeneca 8340	2.630	0.114
INIA Redomón	0.408	-0.869	Zeneca 8543	-0.345	0.245

ANEXO VII. Contribución a la varianza total de los componentes principales encontrados como significativos en la caracterización de los ambientes de evaluación por medio de variables ambientales, con respecto al rendimiento en materia seca total (Ton.Há⁻¹) del promedio de los cultivos de ciclo Corto en el período 1992/93 a 1998/99.

	Componente Principal 1	Componente Principal 2	Residual	Total
Valor Singular	0.839	0.394	0.376	1.000
Valor Propio	0.704	0.155	0.141	1.000
Relación con el total	0.704	0.155	0.141	1.000
Acumulado	70.387	85.888	14.112	100.000

ANEXO VIII. Scores de los ambientes en los componentes principales encontrados como significativos en la caracterización de los ambientes de evaluación por medio de variables ambientales, con respecto al rendimiento en materia seca total (Ton.Há⁻¹) del promedio de los cultivos de ciclo Corto en el período 1992/93 a 1998/99.

	Componente Principal 1	Componente Principal 2
1992/93	0.641	0.174
1993/94	0.204	0.632
1994/95	-0.604	-0.149
1995/96	-1.647	-0.259
1996/97	-0.120	0.203
1997/98	1.094	-0.715
1998/99	0.431	0.114

ANEXO IX. Scores de las variables ambientales utilizadas para caracterizar el comportamiento de los ambientes de evaluación con respecto al rendimiento en materia seca total (Ton.Há⁻¹), del promedio de los cultivares de ciclo Corto, para los Componentes Principales encontrados como significativos.

	Componente Principal 1	Componente Principal 2
RENDIMIENTO	0.941	0.154
PP_PF_C	0.861	-0.085
RAD_F_POF	-0.734	0.610
DHR_PF_C	-0.807	-0.466

PP-PF-C: Precipitación en el período diez días prefloración a cosecha.

RAD F-POF: Radiación en el período floración a diez días postfloración.

DRH PF-C: Déficit hídrico real en el período diez días prefloración a cosecha.

ANEXO X. Contribución a la varianza total de los componentes principales encontrados como significativos en la caracterización de los ambientes de evaluación por medio de variables ambientales, con respecto al rendimiento en materia seca total (Ton.Há⁻¹) del promedio de los cultivares de ciclo Medio en el período 1992/93 a 1998/99.

	Componente Principal 1	Componente Principal 2	Residual	Total
Valor Singular	0.900	0.339	0.273	1.000
Valor Propio	0.810	0.115	0.075	1.000
Relación con el total	0.810	0.115	0.075	1.000
Acumulado	81.018	92.532	7.468	100.000

ANEXO XI. Scores de los ambientes en los componentes principales encontrados como significativos en la caracterización de los ambientes de evaluación por medio de variables ambientales, con respecto al rendimiento en materia seca total (Ton.Há⁻¹) del promedio de los cultivares de ciclo Medio en el período 1992/93 a 1998/99.

	Componente Principal 1	Componente Principal 2
1992/93	0.783	0.385
1993/94	-0.245	0.119
1994/95	-0.833	-0.304
1995/96	-1.641	0.175
1996/97	0.185	-0.328
1997/98	1.026	-0.477
1998/99	0.725	0.430

ANEXO XII. Scores de las variables ambientales utilizadas para caracterizar el comportamiento de los ambientes de evaluación con respecto al rendimiento en materia seca total (Ton.Há⁻¹), del promedio de los cultivares de ciclo Medio, para los Componentes Principales encontrados como significativos.

	Componente Principal 1	Componente Principal 2
RENDIMIENTO	0.952	-0.027
PP_PFC	0.853	0.502
RAD F- POF	-0.917	0.003
DHR F-C	-0.875	0.456

PP-PF-C: Precipitación en el período diez días prefloración a cosecha.

RAD F-POF: Radiación en el período floración a diez días postfloración.

DRH F-C: Déficit hídrico real en el período floración a cosecha.

ANEXO XIII. Contribución a la varianza total de los componentes principales encontrados como significativos en la caracterización de los ambientes de evaluación por medio de variables ambientales, con respecto al rendimiento en materia seca total (Ton.Há⁻¹) del promedio de los cultivares de ciclo Largo en el período 1992/93 a 1998/99.

	Componente Principal 1	Componente Principal 2	Residual	Total
Valor Singular	0.872	0.435	0.226	1.000
Valor Propio	0.760	0.189	0.051	1.000
Relación con el total	0.760	0.189	0.051	1.000
Acumulado	76.004	94.904	5.096	100.000

ANEXO XIV. Scores de los ambientes en los componentes principales encontrados como significativos en la caracterización de los ambientes de evaluación por medio de variables ambientales, con respecto al rendimiento en materia seca total (Ton.Há⁻¹) del promedio de los cultivares de ciclo Largo en el período 1992/93 a 1998/99.

	Componente Principal 1	Componente Principal 2
1992/93	1.233	0.187
1993/94	-0.443	-0.361
1994/95	-0.849	-0.292
1995/96	-1.443	0.547
1996/97	0.344	-0.693
1997/98	0.500	0.077
1998/99	0.658	0.535

ANEXO XV. Scores de las variables ambientales utilizadas para caracterizar el comportamiento de los ambientes de evaluación con respecto al rendimiento en materia seca total (Ton.Há⁻¹), del promedio de los cultivares de ciclo Largo, para los Componentes Principales encontrados como significativos.

	Componente Principal 1	Componente Principal 2
RENDIMIENTO	0.961	0.232
PP_PF-C	0.784	0.611
R_PF-F	-0.859	0.416
DHR_F-C	-0.874	0.394

PP-PF-C: Precipitación en el período diez días prefloración a cosecha.

RAD PF-F: Radiación en el período diez días prefloración a floración.

DRH F-C: Déficit hídrico real en el período floración a cosecha.