

RENDIMIENTOS DE GRANO DE MAIZ, SORGO Y GIRASOL. CAUSAS DE SU VARIACION EN DIFERENTES NIVELES TECNOLOGICOS DE PRODUCCION

José L. de León*

Milton R. Gonnert

INTRODUCCION

En Uruguay existe suficiente información experimental en maíz, sorgo y girasol como para sacar conclusiones valederas acerca de su manejo más adecuado. El uso de prácticas mejoradas de manejo a nivel de gran cultivo ha corroborado esa información, mostrando su efecto en el incremento de los rendimientos de grano. Es necesario medir esos incrementos y, a la vez, su estabilidad a través de los años. Estas medidas podrán servir en el futuro para calcular la rentabilidad y riesgo de la nueva tecnología. Al mismo tiempo servirán de base para encarar nuevas líneas de investigación destinadas a atenuar los factores que más limitan y alteran esos incrementos de productividad.

MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se basa en información de cultivos lograda en dos fuentes:

a) ensayos realizados en la Estación Experimental La Estanzuela (EELE), (1). Como dato de rendimiento para cada año, se promediaron los 10 materiales de más alto rendimiento del ensayo final correspondiente a cada cultivo. A partir de 1970/71, se tomaron los 15 materiales superiores para maíz y sorgo. Estos valores se consideran como el rendimiento máximo alcanzable por cada cultivo en cada año, utilizando la mejor tecnología disponible hasta el momento,

b) estadísticas nacionales para el Depto. de Colonia, de la Dirección de Investigaciones Económicas Agropecuarias (DIEA) (8). Comprende la totalidad del área sembrada de cada uno de los cultivos considerados. Se tomó el Depto. de Colonia como muestra del país por las siguientes razones:

1) se asegura una comparación más valedera de los datos de estadísticas de DIEA en Colonia con los datos de ensayos y registros climáticos tomados en la EELE.

2) Colonia posee una muy extensa área ocupada por los principales cultivos del país.

3) Las medias de los rendimientos de cultivos del Depto. de Colonia son muy similares a las del área nacional para los últimos 11 años. La correlación entre ambos para los distintos años es además significativa para todos los cultivos considerados (ver cuadro 1).

Cuadro 1. Rendimiento de grano (kg/ha) y coeficiente de correlación de los cultivos de maíz, sorgo y girasol en el Depto. de Colonia y en el área nacional (65/66 a 75/76).

Cultivos		Rendimiento (kg/ha)	Coeficiente correlación r
MAIZ	Colonia	933	0,94**
	Area nacional	950	
SORGO	Colonia	1.394	0,88**
	Area nacional	1.359	
GIRASOL	Colonia	572	0,61*
	Area nacional	549	

* Significativo al nivel 5%.

** Significativo al nivel 1%.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el cuadro 2 se presentan los promedios de rendimiento y su variación entre años, para los tres cultivos considerados y dos niveles tecnológicos de producción. De acuerdo con la información que se pudo obtener, se dispuso de períodos desde 6 hasta de 24 años.

En ensayos, el sorgo rinde algo más que el maíz y ambos superan ampliamente el rendimiento del girasol.

En chacras, el sorgo se destaca sobre el maíz y éste supera levemente al girasol.

La variación entre años es similar para los tres cultivos cuando se utiliza la mejor tecnología disponible.

* Jefe de Proyecto (M. Sc.) y Técnico (Ing. Agr.) Proyecto Cultivos hasta julio 1979, respectivamente. Estación Experimental Agropecuaria La Estanzuela.

Cuadro 2. Parámetros estadísticos de maíz, sorgo y girasol en ensayos (EELE) y en chacras (DIEA) del Departamento de Colonia.

	MAÍZ		SORGO		GIRASOL	
	Ensayos	Chacras	Ensayos	Chacras	Ensayos	Chacras
Período considerado	66/67-76/77	53/54-75/76	66/67-76/77	66/67-75/76	71/72-76/77	54-55/75-76
Número de años	10	24	10	10	6	17
Rendimiento promedio (kg/ha)	4.468	802	5.249	1.478	2.209	606
Coefficientes de variación de rendimientos (CV) entre años (%)	30,8	46,6	27,1	26,5	26,1	19,1

En condiciones de menor utilización de tecnología, el maíz incrementa marcadamente su variabilidad, el sorgo permanece igual y el girasol la disminuye, pero esto es debido muy probablemente al escaso número de años considerados para esta situación.

Si tomamos los rendimientos de ensayos como los resultados potenciales que cada cultivo puede alcanzar con un buen nivel tecnológico de producción, vemos que existen diferencias marcadas entre estos valores y los rendimientos obtenidos a escala nacional.

En base a ensayos realizados en la EELE y los rendimientos alcanzados en el Depto. de Colonia según estadísticas de DIEA, se ha elaborado un índice tecnológico (IT). Este índice, expresado como porcentaje, es el cociente del rendimiento del Depto. de Colonia sobre el rendimiento de ensayo para el mismo año. El valor promedio de ese cociente para varios años es el IT del cultivo. Dicho índice nos da una idea del grado de tecnificación promedio con que se explota cada cultivo o, en otras palabras, nos dice qué porcentaje del potencial del cultivo es aprovechado por los agricultores del país. En el cuadro 3 se aprecian los IT de los tres cultivos de verano considerados.

Cuadro 3. Índice tecnológico de maíz, sorgo y girasol en chacras del Departamento de Colonia.

Cultivo	IT (%)	Rango (%)	Número de años
Maíz	24	10-41	9
Sorgo	30	10-41	9
Girasol	31	21-44	5

Según este IT, los cultivos más tecnificados serían el girasol y el sorgo, y el menos tecnificado el maíz. A su vez, el girasol muestra un rango más estrecho que el sorgo, aunque considerado en un menor número de años. El maíz y el sorgo tienen idéntico rango.

En condiciones de utilización intermedia de tecnología, se pueden considerar a los cultivos de los productores de semilla de CALPROSE (Depto. de Colonia). En este caso, se tiene información para maíz y girasol. Efectuando el cociente de los rendimientos alcanzados en estas condiciones y los logrados en ensayos, se obtuvo el cuadro 4.

Cuadro 4. Índice tecnológico promedio de maíz y girasol en el área de certificación de semillas (CALPROSE).

Cultivo	IT (%)	Rango (%)	Número de años
Maíz	48	25-70	10
Girasol	42	34-63	5

El maíz mostró un incremento importante en su IT al pasar del área nacional a la de certificación de semillas. En estas últimas condiciones, como el índice lo expresa, el maíz aprovecha casi la mitad de su potencial de producción, mientras en el área nacional sólo usaba un 24% de éste. El girasol también incrementó su IT al pasar del área nacional a la de certificación

de semillas, aunque ese incremento fue sustancialmente menor que el experimentado por el maíz.

Balace hídrico de los suelos

De los elementos del ambiente que más pueden afectar los rendimientos en forma diferente de un año a otro, sin duda que el clima ocupa un lugar muy destacado. Dentro de los componentes climáticos existen ya evidencias empíricas y experimentales abundantes que muestran que las precipitaciones, a través del balance hídrico de los suelos, son las que más alteran los rendimientos de los cultivos de verano, especialmente durante el ciclo reproductivo y primeras etapas del llenado de grano (1, 9, 4, 11, 2, 5).

Puede observarse (cuadro 5 y figuras 1, 2 y 3) a través de los coeficientes de regresión y correlación, la alta dependencia de los rendimientos en ensayos y en chacras de los tres cultivos respecto de la deficiencia hídrica estival.

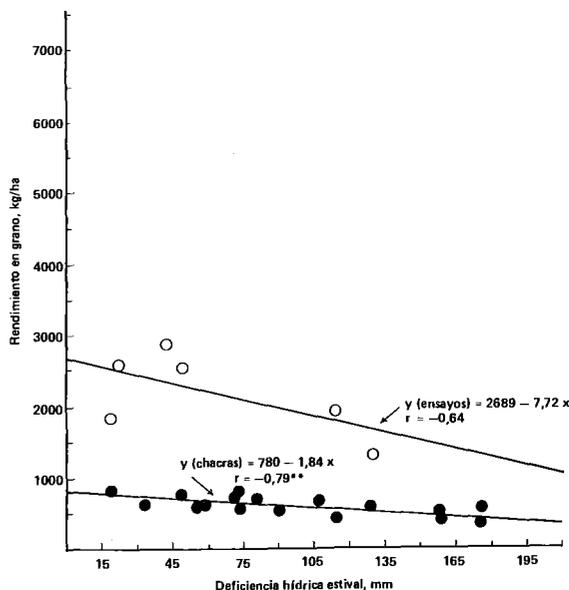


Figura 1. Diagrama de dispersión de puntos y recta de regresión para el cultivo de girasol en ensayos (La Estanzuela) y en chacras del Departamento de Colonia.

En ensayos, la relación no alcanza al nivel de significancia para el girasol, aunque sin duda el número de años considerados es muy pequeño como para detectarla.

Puede observarse también que las pendientes (coeficientes) de regresión, aumentan sustancialmente al pasar de chacras a ensayos, lo que indica que al elevar el nivel tecnológico de producción se incrementan notablemente los rendimientos máximos (ver interceptos). Como se verá seguidamente, los rendimientos de ensayos son igualmente afectados por el déficit hídrico estival que los de chacras con la sola diferencia que por cada unidad de deficiencia hídrica el descenso ab-

Cuadro 5. Análisis de regresión lineal de la deficiencia hídrica estival¹ sobre los rendimientos de maíz, sorgo y girasol en ensayos (EELE) y en chacras del Departamento de Colonia.

	MAIZ		SORGO		GIRASOL	
	Ensayos	Chacras	Ensayos	Chacras	Ensayos	Chacras
Número de años (n)	10	24	10	10	6	17
Intercepto, kg/ha (α)	5.847	1.200	7.073	1.995	2.689	780
Coefficiente de regresión lineal (β)	-19,29*	-4,34**	-25,51**	-5,82**	-7,72	-1,84**
Límites de confianza (95%) para los \hat{y} para $x = \bar{x}$ (kg/ha y porcentaje)	$\pm 2.608(58)$	$\pm 666(83)$	$\pm 1.833(35)$	$\pm 114(8)$	$\pm 535(24)$	$\pm 162(27)$
Coefficiente de correlación lineal (r)	-0,67*	-0,57**	-0,86**	-0,79**	-0,64	-0,79**
Coefficiente de determinación (R_1^2)	0,45	0,32	0,74	0,62	0,41	0,62

¹ Calculado por el balance hídrico de Thornthwaite y Mather (12), para una lámina de agua de 200 mm en la EELE, durante los meses de diciembre, enero y febrero (Proyecto Clima).

* Significativo al nivel 5% de probabilidad.

** Significativo al nivel 1% de probabilidad.

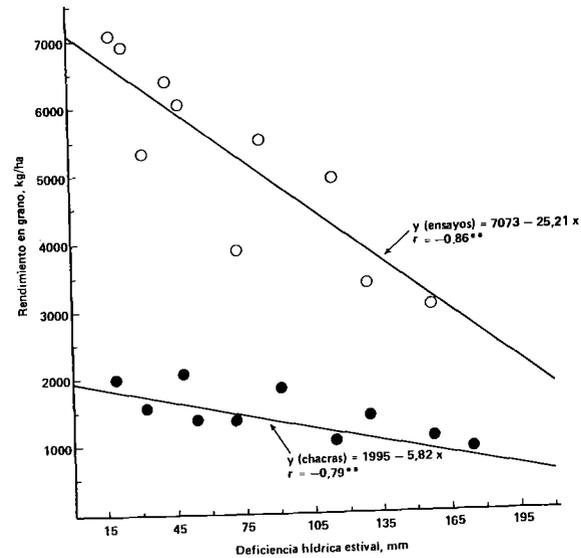


Figura 2. Diagrama de dispersión de puntos y recta de regresión para el cultivo de sorgo en ensayos (La Estanzuela) y en chacras del Departamento de Colonia.

soluto de los rendimientos de ensayos es siempre mayor que en chacras.

El coeficiente de regresión del sorgo tecnificado es sustancialmente mayor que el del maíz tecnificado. Por cada 10 mm de incremento en la deficiencia hídrica estival, el sorgo reduce 255 kg/ha su rendimiento, mientras que el maíz lo hace en 193 kg/ha.

En términos de porcentaje, por cada 10 mm de deficiencia hídrica estival, el sorgo reduce su rendimiento en un 3,6% respecto de su máximo potencial y el maíz lo hace en 3,3%. Es decir, que en términos relativos, ambos cultivos son afectados casi por igual por la deficiencia hídrica estival.

Para el caso del girasol, en ensayos el valor de β no es significativo, no obstante, muestra que por cada 10 mm de deficiencia hídrica estival reduce 77 kg/ha su rendimiento, lo que en porcentaje a su máximo potencial significa un 2,5%.

Si consideramos el efecto de la deficiencia hídrica estival sobre los rendimientos de chacras, vemos que en girasol reduce 18 kg/ha por cada 10 mm de deficiencia, en sorgo reduce 58 kg/ha y en maíz 43 kg/ha. En términos porcentuales, estas reducciones significan por cada 10 mm de deficiencia mermas del 2,4% para girasol, 2,9% para sorgo y 3,6% para maíz respecto de su rendimiento máximo potencial.

Como conclusión parcial puede afirmarse que en términos porcentuales, la incidencia de las deficiencias hídricas estivales sobre la depresión de rendimien-

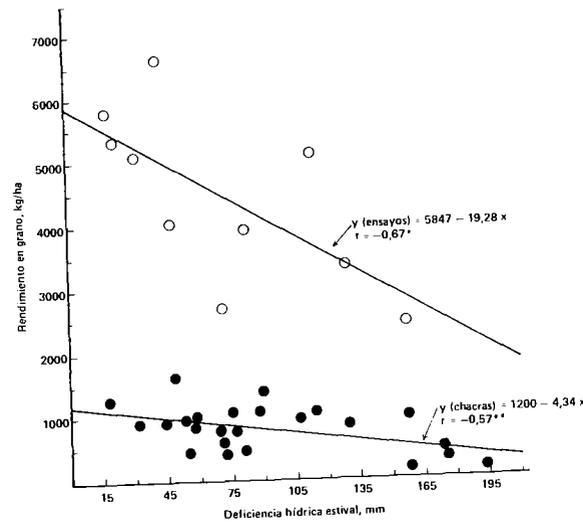


Figura 3. Diagrama de dispersión de puntos y recta de regresión para el cultivo de maíz en ensayos (La Estanzuela) y en chacras del Departamento de Colonia.

tos no varía mayormente entre girasol, sorgo y maíz a nivel de chacra y ensayos.

Los valores de coeficientes de correlación (r) para los tres cultivos en chacras, son altamente significativos como lo son sus respectivos coeficientes de regresión.

A nivel de chacras comerciales, solamente con la deficiencia hídrica estival, se explica el 32% de la variación total de rendimiento de maíz ($R_1^2 = 0,32$) entre años, el 62% de la de sorgo ($R_1^2 = 0,62$) y el 62% de la de girasol ($R_1^2 = 0,62$).

Para condiciones de buena tecnología esa asociación permanece para el caso de sorgo, aumentando para maíz (aunque significativa al nivel 5%). El girasol carece de asociación aunque, como ya se mencionó para su regresión, son pocos los años que se consideraron en su evaluación. En estas condiciones de proyección, la deficiencia hídrica estival explica el 45% de la variación total de rendimiento de maíz ($R_1^2 = 0,45$) y el 74% de sorgo ($R_1^2 = 0,74$).

Tanto los valores de r como los límites de confianza para los valores de \hat{y} para $x_j = \bar{x}$ de sorgo y maíz, muestran que el ajuste de las observaciones en sorgo respecto de su recta de regresión es mejor que el ajuste observado en maíz.

Como conclusión parcial podemos decir que el girasol y el sorgo, que muestran menor coeficiente de variación en sus rendimientos que el maíz (cuadro 4), muestran un mejor ajuste de sus rendimientos a los

Cuadro 6. Análisis de regresión múltiple de la deficiencia hídrica estival y los excesos hídricos de primavera¹ sobre los rendimientos de maíz, sorgo y girasol.

	MAIZ		SORGO		GIRASOL	
	Ensayos	Chacras	Ensayos	Chacras	Ensayos	Chacras
Número de años (n)	10	24	10	10	6	17
Intercepto, kg/ha (α)	6.498	1.242	7.540	1.995	2.662	783
Coefficiente de regresión parcial para la deficiencia hídrica estival (β_1)	-23,62	-3,30	-28,69	-5,15	-7,51	-1,78
Coefficiente de regresión parcial para el exceso de agua en primavera (β_2)	-8,11	-1,70	-5,95	-1,08	0,39	-0,11
Coefficiente de correlación múltiple (R_2)	0,75**	0,68**	0,89**	0,83**	0,64N.S.	0,79**
Coefficiente de determinación múltiple (R_2^2)	0,56	0,46	0,79	0,69	0,41	0,62
$R_2^2 - R_1^2$ —> Incremento de la variabilidad explicada, porcentaje:	0,11	0,14	0,05	0,07	0,00	0,00

¹ Calculado por balance hídrico de Thornthwaite y Mather (12), para una lámina de agua de 200 mm en la EELE (Proyecto Clima).

* Significativo.

** Altamente significativo.

N.S.: No significativo.

valores esperados según el déficit hídrico estival (cuadro 5).

Esto lleva a que los rendimientos de maíz dependen proporcionalmente más que los de girasol y sorgo de otros factores o de factores que interaccionen con la deficiencia estival.

En un intento por detectar otros factores o interacción de factores que afectan los rendimientos, se estudió el efecto del exceso de lluvias en primavera. Estos excesos, en general, retardan la época de siembra con el consiguiente desfase del período de floración a un momento del verano con mayor probabilidad de deficiencia hídrica. Por otra parte, existen evidencias señaladas en otros países (3, 6) de la susceptibilidad del maíz a estos excesos en el período inmediato a la emergencia.

En el cuadro 6 se presentan los resultados obtenidos al realizar la correlación múltiple entre rendimiento y la deficiencia hídrica estival conjuntamente con el exceso hídrico de primavera en los meses de octubre y noviembre.

Comparando con los R_1^2 del cuadro 5, se observa que los R_2^2 (correlación múltiple) del cuadro 6, que incluyen los efectos del déficit hídrico estival y del exceso de agua en primavera sobre los rendimientos, aumenta para el caso del maíz, aumenta levemente

para sorgo y no se altera para girasol. Esto muestra que el déficit hídrico estival y el retardo en la época de siembra explican mejor, que sólo el déficit hídrico estival, las variaciones de rendimiento del maíz. En menor medida sucede lo mismo en sorgo y no varía para el caso de girasol. O sea, que el exceso de agua en primavera incide más en los rendimientos de maíz.

Seguidamente se expone otro ejemplo en el que también surge el maíz como más vulnerable al efecto de un factor tecnológico de manejo. Se trata del control de las malezas y su interacción con el déficit hídrico estival sobre los rendimientos de los tres cultivos considerados (cuadro 7).

Los datos muestran una perfecta interacción entre los tres factores: control de malezas, déficit hídrico estival y especie. Como se observa, el maíz es la especie más afectada por el control de malezas y por el tipo de año. El girasol, por el contrario, es el menos afectado por ambos factores. El sorgo figura en una posición intermedia. Se observa, además, que dentro de cada tipo de año la diferencia entre control y no control de malezas es máxima en maíz, mínima en girasol y media en sorgo. En otras palabras, maíz es más sensible al factor control de malezas que sorgo y, a su vez, el sorgo es más sensible que girasol.

En el cuadro 8 se observan los rendimientos en en-

Cuadro 7. Rendimientos promedio de ensayos de control de malezas en la EELE, en años con diferente deficiencia hídrica estival¹ (Proyecto Protección Vegetal).

	MAIZ ²		SORGO ³		GIRASOL ⁴	
	Testigo con malezas	Mejor tratamiento	Testigo con malezas	Mejor tratamiento	Testigo con malezas	Mejor tratamiento
<i>Veranos húmedos</i>						
Rendimiento promedio, kg/ha	2.226	4.412	3.385	5.626	1.809	2.337
Relación respecto al mejor tratamiento en años húmedos = 100%	50	100	60	100	77	100
<i>Veranos secos</i>						
Rendimiento promedio, kg/ha	607	2.131	2.395	4.044	1.312	1.559
Relación respecto al mejor tratamiento en años húmedos = 100%	14	48	42	72	56	67

¹ Calculado por balance hídrico de Thornthwaite y Mather (12), para una lámina de agua de 200 mm en La Estanzuela Proyecto Clima.

² Promedio de 10 ensayos en 2 años húmedos.

Promedio de 6 ensayos en 2 años secos.

³ Promedio de 6 ensayos en 3 años húmedos.

Promedio de 5 ensayos en 3 años secos.

⁴ Promedio de 5 ensayos en 2 años húmedos.

Promedio de 2 ensayos en 2 años secos.

Cuadro 8. Rendimiento en grano de sorgo y maíz en ensayos de riego en la EELE (Proyecto Clima).

	Sorgo Morgan 103 (kg/ha)	Maíz Estanzuela Queguay (kg/ha)
1973/74	8.989	10.533
1974/75	6.257	8.143
Promedio	7.623	9.338
Sorgo = 100	100	122

sayos obtenidos por sorgo y maíz bajo riego durante dos años.

Estos rendimientos se lograron con una tecnología de producción que no es exactamente la misma que para condiciones de cultivo en seco. Fundamentalmente varía la densidad óptima de plantas por hectárea, la que aproximadamente duplica la densidad óptima para cultivo en seco. Se observa entonces que el maíz posee un potencial de rendimiento 22% mayor que el sorgo en esas condiciones. Simultáneamente, se elimina totalmente la dependencia de esos rendimientos del déficit hídrico estival.

Considerando el coeficiente de variación (cuadro 4) de maíz de ensayo en seco de 30,8%, el coeficiente de variación de maíz en 7 años de ensayos bajo riego se redujo a sólo 11,3%. Es decir, que el maíz bajo riego con tecnología adecuada a estas condiciones eleva su promedio de rendimiento a más de 9.000 kg/ha, a la vez que reduce en forma brusca su variación a través de años.

Factores de manejo que afectan la disponibilidad de agua, en forma directa como es el caso del riego, o indirectamente como el control de malezas y la época de siembra, producen su mayor efecto sobre el maíz. Esto no sería diferente de lo que puede acontecer con el efecto de otros factores que de alguna manera inciden sobre la disponibilidad del agua en el suelo, tales como tipo y profundidad del suelo y fertilización.

CONCLUSIONES

En resumen, los tres cultivos estudiados incrementan sustancialmente sus rendimientos unitarios al mejorar el nivel tecnológico de producción.

Entre estos cultivos, los de sorgo y girasol tuvieron un IT similar y mayor que los de maíz a nivel de chacras. Asimismo, estos dos cultivos presentaron un coeficiente de variación de rendimientos entre años sensiblemente menor que el maíz a nivel de chacras y algo inferior al de éste cuando se estudió a nivel de ensayos.

Estas variaciones anuales de rendimiento para los tres cultivos en los dos niveles de productividad fue explicada fundamentalmente por las variaciones entre años del agua disponible en el suelo durante los meses de diciembre, enero y febrero. Dicha explicación fue

mayor en sorgo y girasol que en maíz. Esto se debe a la participación de factores de manejo, que afectan también el agua disponible en el suelo y que presentan variaciones anuales, fundamentalmente a nivel de chacras, resultando el maíz el cultivo más sensible a los mismos, seguido del sorgo y luego el girasol.

Considerando la escasa tecnología aplicada a la mayor parte del área agrícola nacional y desde un punto de vista estrictamente agronómico, los cultivos de sorgo y girasol demuestran una mejor adaptación medida por su mayor IT de producción y menor coeficiente de variación entre años con respecto al maíz.

Al pasar a una producción tecnificada, los tres cultivos demuestran un potencial elevado de rendimiento. Entre los mismos el maíz aparece con una mayor respuesta relativa, seguido del sorgo y, por último, del girasol. Por lo tanto, relativamente el maíz deba ser explotado con mayor precisión tecnológica que el sorgo y el girasol, para lograr un alto potencial de rendimiento.

BIBLIOGRAFIA

- BOERGER, A. 1928. Observaciones sobre agricultura. Imprenta Nacional: 580, Montevideo, Uruguay.
- CAPURRO, E. 1973. Efecto de dos regímenes hídricos en tres etapas durante el ciclo del maíz. Tesis Ing. Agr., Univ. de la República, Fac. de Agronomía, Montevideo, Uruguay.
- CHAUDHARY, T. N., BHATNAYAR, V. K y PRIHAR, S. S. 1975. Agron. P., 67: 745-749.
- DE LEON, J. L. 1969. Maíz: manejo y selección. I Jornada de Cultivos, M.G.A., CIAAB, La Estanzuela, Uruguay.
- HOFSTADTER, R. y GONNET, M. R. 1979. Aspectos de manejo del riego en el cultivo de maíz. La Estanzuela (en prensa).
- LAL, R. y TAYLOR, G. S. 1969. Drainage and nutrient effects in a field lysimeter study: I. Corn yield and soil conditions. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 33: 937-941.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA. Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger", Est. Exp. La Estanzuela, datos experimentales de rendimiento de cultivos y registro de observaciones agrometeorológicas, La Estanzuela, Uruguay.
- Dirección de Investigaciones Económicas Agropecuarias (DIEA). Datos sobre área sembrada, producción y rendimientos de cultivos, Montevideo, Uruguay.
- SALTER, P. J. y GOODE, F. E. 1967. Crop responses to water at different stages of growth. Farnham Royal, Bucks, Inglaterra, 246 pp.
- STEEL, R. D. y TORRIE, J. H. 1960. Principles and procedures of statistics. McGraw-Hill Book Company, Inc., E.U.A.
- SLATYER, R. O. 1969. Physiological significance or internal water relations to crop yield in Eastern. Haskins, Sullivan & Van Bavel: 53-88.
- THORNTHWAITE, C. W. y MATHER, J. R. 1957. Instructions and tables for computing evapotranspiration and the water balance. Drexel Institute of Technology. Climatology, 10 (3): 185-311. Centerton, N. Jersey.