

RIEGO SUPLEMENTARIO EN EL CENTRO DE SANTA FE: MAÍZ PARA SILAJE I- RESPUESTA PRODUCTIVA EN DIFERENTES ÉPOCAS DE SIEMBRA

GIAVENO, C. D.¹, PILATTI, M. A.² & MARANO, R. P.³

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar la respuesta productiva del maíz para silaje a la aplicación de riego suplementario y fertilización estratégica en Argiudoles del centro de la provincia de Santa Fe se realizó un ensayo en tres épocas de siembra, dos condiciones de agua - riego y secano - y diferentes híbridos de maíz en cada época. Se evaluó la producción de materia seca total, producción de granos, índice de cosecha, índice de área foliar y el área foliar específica. Para todas las variables estudiadas fueron encontradas diferencias significativas entre riego y secano, destacándose la producción de granos que se incrementó entre un 130 y 285% y la biomasa total, con aumentos que variaron entre 52 y 155%, dependiendo de la época de siembra e híbrido. Estos resultados permiten concluir que se pueden esperar importantes respuestas productivas a la aplicación de riego suplementario y fertilización estratégica en maíces destinados a silaje.

Palabras clave: silaje de maíz, riego suplementario, época de siembra, híbridos.

SUMMARY

Supplementary irrigation in the central area of Santa Fe: corn for silage. I- Productivity response at different sowing dates.

The objective of this work was to evaluate the productivity response of maize to the supplementary irrigation and strategic fertilization in Argiudols of the central area of Santa Fe. The trial was conducted using three sowing dates, two water status, irrigation and no irrigation and different maize hybrids in each sowing date. The traits studied were total dry matter yield, grain yield, har-

1.- Mejoramiento Genético Vegetal y Animal. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral. Kreder 2805. (3080) Esperanza, provincia de Santa Fe. Telefax: (03496) 426400.

2.- Edafología, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral.

E-mail: mpilatti@fca.unl.edu.ar

3.- Diagnóstico y Tecnología de Aguas. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral.

Manuscrito recibido el 16 de agosto de 2001 y aceptado para su publicación el 12 de agosto de 2002.

vest index, leaf area index and the specific leaf area. High statistical differences for all the variables were observed between irrigation and rainfall traits. The highest responses was found for grain yield (varying between 130 and 285 %) and for total dry matter yield (52 and 155 %) depending on the sowing date and the hybrid. These results allow concluding that depending of the atmospheric requirement variations was possible to expect important productivity responses in maize for silage to the supplementary irrigation and strategic fertilization.

Key words: corn silage, supplementary irrigation, sowing date, hybrid.

INTRODUCCIÓN

La cuenca lechera santafesina se caracteriza por presentar una alta capacidad productiva, limitada por deficiencias hídricas que afectan el rendimiento de los cultivos usados para la producción de leche.

Para paliar la menor oferta invernal de forrajes se utilizan reservas forrajeras del excedente de primavera-verano. En la década del '90, las empresas productoras de leche iniciaron un proceso de intensificación con un incremento vertical de su producción para mejorar los resultados económicos. Para eso se incorporaron, entre otras técnicas, el silaje de maíz por su ventaja de proveer un material voluminoso de buena calidad pero con un elevado costo de producción y una manifiesta inestabilidad productiva causada por sequías estivales. Para disminuir esos efectos puede utilizarse riego suplementario con la correspondiente fertilización estratégica.

Hasta 1994, no había en la Región antecedentes sobre la respuesta de los cultivos forrajeros a la aplicación del riego. Por ello en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Litoral, se iniciaron experiencias con la finalidad de evaluar la respuesta productiva y el resultado económico de la aplicación de riego suplementario en sistemas reales de producción. Los resultados para el cultivo de maíz bajo riego mostraron que existe una importante

respuesta al agregado de agua y nutrientes en épocas críticas, como floración y llenado de granos (Marano *et al.*, 1996); encontrándose diferencias en el potencial de producción de materia seca entre híbridos. Castignani *et al.* (1996) evaluaron los resultados económicos de esas experiencias.

Con el pivote central desplazable pueden atenderse varios círculos de riego, aumentando así el área de maíz irrigado durante una misma temporada. Sin embargo, al compartir el mismo pivote entre dos o más círculos de riego no puede atenderse totalmente la deficiencia hídrica de cada uno de ellos, permitiéndose cierto estrés en el cultivo. Aún no se dispone de información sobre la respuesta productiva -en materia seca de maíz para silaje- de distintos cultivos a esta estrategia de riego sub-óptimo, considerando fechas de siembra escalonadas. Proveer de esa información es el objetivo de este trabajo.

MATERIALES Y MÉTODO

El ensayo se realizó próximo a LLambi Campbell (Santa Fe, Argentina), en un Argejudol ácuico Serie Humboldt (INTA, 1991) en tres épocas de siembra: temprana (18 de setiembre), intermedia (19 de octubre) y tardía (1° de diciembre) con una única densidad de siembra de 80.000 semillas ha⁻¹. El área experimental correspondió a tres lotes

que fueron preparados con labranza reducida y con el mismo manejo de agroquímicos y fertilización en todas las épocas de siembra. En presiembra se aplicaron 3,0 L ha⁻¹ de atrazina 50; 1,6 L ha⁻¹ de acetoclor 84 y 100 mL ha⁻¹ de cipermetrina 25; aplicándose además 140 kg ha⁻¹ de superfosfato triple (0-46-0) y 160 kg ha⁻¹ de urea (46-0-0). En prefloración se agregó urea mediante la técnica de fertirrigación con dosis variables según el requerimiento del cultivo y la oferta edáfica. Las dosis de fertilizantes se calcularon de acuerdo al procedimiento descrito en Imhoff *et al.* (1996) y Pilatti (1999), para una expectativa de rendimiento que consistió en duplicar -con riego y fertilización- a la producción media del Establecimiento que era de 9000 kg de materia seca (MS) ha⁻¹ de biomasa para silo en secano (P. Weidmann, comunicación personal). Por lo tanto, se esperaba producir 18.000 kg MS ha⁻¹, sin considerar raíces ni material no cosechado para silo.

Se utilizó un pivote central móvil, con una superficie irrigada de 23,8 ha y un caudal de bombeo de 100 m³ h⁻¹. El agua, de origen subterráneo, tiene conductividad eléctrica de 0,9 dS m⁻¹, pH de 6,8 y relación de adsorción de sodio de 6, clasificándose como C3S1 (Richards, 1954).

El riego comenzó a aplicarse desde una semana antes de la floración hasta tres sema-

nas después de finalizada; manteniendo el contenido hídrico del Ap dentro del intervalo de agua fácilmente utilizable, según el criterio propuesto por Norero (1980). Se atendieron tres círculos de riego con el mismo pivote, seleccionándose los híbridos y fechas de siembra (Cuadro 1) de modo que no se superponga el período crítico del cultivo al estrés hídrico. En cada círculo se aplicó la misma cantidad de lámina de riego.

Se tomaron muestras del cultivo a razón de 5 repeticiones de 1 m² por tratamiento, cortándose a la altura del cuello de la planta. Se obtuvo la biomasa aérea seca cosechada (BAC) como la suma de los pesos secos de hoja, tallo y fruto y para evaluar la producción de granos (PG) se desgranaron todas las espigas de cada repetición.

Los valores de índice de cosecha (IC) fueron calculados utilizando la fórmula propuesta por Donald & Hamblin (1976). Para la estimación del índice de área foliar (IAF) y del área foliar específica (AFE) se procedió a obtener, para cada repetición, un cuadrado de 100 cm² de hoja verde que se llevó a estufa. Su peso seco fue luego referido al peso seco total de hojas verdes, con lo que se obtuvo la superficie total de hojas verdes. El AFE es la superficie de hoja verde respecto a su peso seco, expresado en cm² g⁻¹.

Se consideró secano al sector de cada lote -cuya forma es rectangular- que se

Cuadro 1: Híbridos de maíz y condición de agua utilizados en cada época de siembra.

Epoca	Híbridos	Condición de agua
18 de setiembre	Nidera 845	Riego y Secano
	Dekalb 752	Riego y Secano
19 de octubre	Nidera 950	Riego y Secano
	Dekalb 762	Riego y Secano
1 de diciembre	Nidera 845	Riego únicamente
	Dekalb 821	Riego únicamente

encontraba fuera del círculo de riego. En la última fecha de siembra no se pudo evaluar el secano debido a la falta de plantas por intensa sequía.

Cada híbrido se ensiló separadamente utilizando un silo bolsa. A los dos meses de ensilado, se extrajo una muestra compuesta por doce extracciones tomadas de diversos sitios de la bolsa y luego analizadas para conocer los valores de pH, porcentaje de materia seca (%MS), proteína bruta (PB), fibra detergente neutro (FDN) y ácido (FDA) y la energía metabolizable (EM). Para determinación %MS se usó el método gravimétrico; para PB, se obtuvo el valor de N total mediante la utilización del método de Kjeldhal (multiplicado por el factor 6,25). Para FDN y FDA se utilizó el Método de Van Soest *et al.* (1978). El valor del porcentaje de digestibilidad (DIVMS) fue estimado mediante la fórmula propuesta por Goering & Van Soest (1970).

Este experimento multifactorial donde los niveles de un determinado factor -en este caso los híbridos utilizados- son similares pero no idénticos a los utilizados en las diferentes épocas de siembra, los resultados fueron analizados en función de un diseño estadístico jerárquico (anidado) que responde al siguiente modelo estadístico matemático (Montgomery, 1991).

$$Y_{ijkl} = m + S_i + A_{j(i)} + H_{k(ij)} + E_{i(jkl)}$$

Donde m es la media poblacional, S_i el efecto de la i -ésima fecha de siembra, $A_{j(i)}$ es el efecto de la j -ésima condición de agua dentro de la i -ésima fecha de siembra, $H_{k(ij)}$ es el efecto del k -ésimo híbrido dentro de agua y dentro de época y $E_{i(jkl)}$ el error experimental. Las medias de los tratamientos fueron comparadas utilizando el test de Tukey al 5 %. Como el experimento estaba compuesto por una complicada combinación de factores, se optó por utilizar el arreglo jerárquico. Los datos fueron analizados

utilizando el procedimiento GLM de SAS (SAS, 1994).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2 puede observarse respuesta al riego suplementario de todas las variables en estudio. La dosis bruta aplicada en la primera, segunda y tercer época de siembra fueron 180 mm, 170 mm y 148 mm respectivamente. Se destaca que la *producción de granos* (PG) presentó diferencias altamente significativas (Cuadro 3) entre riego y secano, en cada época de siembra y con todos los híbridos. En la primera fecha el riego incrementó en 130% (3.679 kg MS ha⁻¹) y 135% (4.497 kg MS ha⁻¹) para los híbridos Nidera 845 y Dekalb 752 respectivamente. En la segunda fecha, como resultado de una demanda atmosférica superior y una menor cantidad de agua aportada por las lluvias, la respuesta fue muy superior, presentando valores de 250% de incremento. En esta época, el híbrido Nidera 950 presentó un incremento de 6.371 kg ha⁻¹ (285 %), y Dekalb 762 con 6.464 kg ha⁻¹ (253 %). En el tercer círculo no fue posible calcular la respuesta al riego por falta de datos de secano.

Los híbridos mostraron alto potencial de rendimiento y de respuesta al agregado de agua y nutrimentos. Si bien los híbridos no se diferenciaron significativamente, los mayores valores de PG y BAC correspondieron a la segunda fecha de siembra (Cuadro 2).

La misma tendencia de respuesta al riego fue observada en la *producción de bioma-sa aérea cosechada* (BAC), en la que fue posible detectar diferencias altamente significativas para el agregado de agua, así como también se observaron diferencias significativas entre las diferentes épocas de siembra. Respecto a los híbridos utilizados, no hubo diferencias significativas entre ellos (Cuadro 3). Bajo riego, BAC

Cuadro 2: Valores promedios de producción de grano (PG), biomasa aérea cosechada (BAC), índice de cosecha (IC), índice de área foliar (IAF) y área foliar específica (AFE) con y sin riego en las diferentes épocas de siembra.

Fecha siembra	Híbrido	PG kg ha ⁻¹		BAC kg ha ⁻¹		IC		IAF		AFE cm ² g ⁻¹	
		Riego	Secano	Riego	Secano	Riego	Secano	Riego	Secano	Riego	Secano
18-09	Nidera 845	6519,2	2840,6	18713,1	12297	0,3	0,2	4,2	2,8	166,2	164,8
	Dekalb 752	7823,7	3326,3	19511,9	12640,3	0,4	0,3	3,9	3	149,3	136,7
19-10	Nidera 950	8604,9	2233,7	18057,0	7074,3	0,5	0,3	4,4	2	149,3	117,7
	Dekalb 762	9016,7	2552,8	19143,0	7557,9	0,5	0,3	5,5	2,6	156	131,6
01-12	Nidera 845	5571	--	14723,4	--	0,4	--	4,3	--	131,6	--
	Dekalb 821	6251,9	--	16019,9	--	0,4	--	5,1	--	151	--
CV		22,4		20,7		15,8		20,9		13,4	

CI: Coeficiente de variación experimental.

Cuadro 3: Resumen de los valores de F y del grado de significación estadística obtenidos para las variables producción de grano (PG), biomasa aérea cosechada (BAC), índice de cosecha (IC), índice de área foliar (IAF) y área foliar específica (AFE).

Fuente de Variación	Valores F					
	G.L.	PG	BAC	IC	IAF	AFE
EPOCA	2	1,7 ^{NS}	4,6 ^{**}	14,1 ^{***}	7,2 ^{***}	10,4 ^{***}
AGUA (EPOCA)	2	96,4 ^{***}	43,5 ^{***}	28,3 ^{***}	25,1 ^{***}	4,5 ^{**}
HÍBRIDO (AGUA EPOCA)	5	0,98 ^{NS}	0,2 ^{NS}	1,1 ^{NS}	1,3 ^{NS}	4,5 ^{**}
ERROR	38					

*, **, ***, diferencias significativas para niveles de probabilidad de 0,05, 0,01 y 0,001 respectivamente y NS diferencias no significativas.

fue equivalente en las dos primeras épocas de siembra, obteniéndose una producción de biomasa de 18-19.000 kg MS ha⁻¹. Las diferencias significativas entre épocas se explica por la notable disminución en BAC de la segunda fecha de siembra en secano que decayó, aproximadamente de 12.000 a 7.000 kg MS ha⁻¹.

En la primera época de siembra la incorporación de riego produjo una respuesta en BAC sensiblemente menor que la observada en la segunda época. Mientras en la siembra de septiembre la respuesta superó el 50% (52 % para Nidera 845 y 59% para Dekalb 752), en la siembra de octubre la diferente demanda hizo que la respuesta superara el 150% (153 % para Nidera 950 y 155 % para Dekalb 762). Los valores de BAC observados para riego (18-19.000 kg MS ha⁻¹) son similares a los informados por Marano *et al.* (1996).

El mayor aumento de PG respecto a BAC cuando se agregó riego y nutrientes es una situación esperada, dado que son materiales seleccionados para priorizar una mayor partición de asimilados hacia el fruto, como se pone de manifiesto en el IC, ya que este índice ofrece una clara idea de cuánto de la biomasa total está representada por grano.

Con excepción de Nidera 845 en la tercera época de siembra, se encontraron valores de IC entre 0,4 y 0,5 (Cuadro 2). Estos resultados están en concordancia con los informados por Andrade *et al.* (1996).

Las plantas regadas presentaron valores de IAF entre 4 y 4,2 en la primera época de siembra y de 4,4 a 5,5 en la segunda, valores muy semejantes a los informados por Arguissain (1990) y Andrade *et al.* (1996) para maíces regados y fertilizados en Balcarce, Argentina. Por el contrario, en secano el valor de IAF en ningún caso fue superior a 3 (Cuadro 2), por esta razón se encontraron diferencias altamente significativas, tanto para época de siembra como para el agregado de agua (Cuadro 3).

La única variable que presentó diferencias significativas entre híbridos fue el área foliar específica (AFE) (Cuadro 3), como consecuencia de los valores que presentan Nidera 845, en la tercera época con riego (132 cm² g⁻¹) y Nidera 950, en la segunda época en secano (118 cm² g⁻¹), respectivamente. Estos valores resultaron contrastantes con los observados en los otros híbridos evaluados.

La evaluación realizada en los silos muestra que el material obtenido a partir del agregado de agua y nutrientes, presenta

Cuadro 4: Valores de pH, proteína bruta (PB), Fibra detergente neutro (FDN), Fibra detergente ácido (FDA), Porcentaje de digestibilidad (DIVMS) y Energía metabolizable (EM) en silajes confeccionados con maíces regados.

Híbrido	MS %	pH	PB %	FDN %	FDA %	DIVMS %	EM Mcal
Media zonal ¹		4,0	--	57,0	36,2	60,7	2,2
Dekalb 752	44.3	3,7	8,9	52,2	38,2	59,1	2,2
Dekalb 762	41.0	3,6	8,6	43,4	30,9	64,8	2,1
Nidera 845	42.5	3,7	8,2	48,7	32,1	63,9	2,1
Nidera 950	43.6	3,6	9,4	42,9	28,1	67,0	2,3

¹ PROPECO (1996).

una tendencia a mejorar la calidad del silaje cuando se los compara con la media zonal (Cuadro 4). En general todos los silajes resultaron ligeramente más ácidos que la media zonal, probablemente debido a que el material ensilado presentaba un mayor porcentaje de humedad que el resto, lo que indujo una mayor producción de ácidos para lograr la estabilidad del ensilado. En relación a los valores de digestibilidad y energía metabo-lizable, se observó que todos los híbridos presentaron valores similares o superiores a la media de la zona, destacándose el híbrido Nidera 950 que presentó los mejores valores de proteína bruta (9,4 %), digestibilidad estimada (67 %) y energía metabolizable (2,3 Mcal).

Los valores de fibra detergente neutro (FDN), expresan el contenido de pared celular presente en la muestra y están, por lo tanto negativamente asociados a la calidad final del alimento. Los híbridos analizados presentaron, en promedio, un valor relativamente alto de FDN de 46,8 %, correspondiendo el menor valor a Nidera 950 (42,9%) y el mayor a Dekalb 752 (52,2 %). Situación similar ocurrió con los valores de fibra detergente ácido (FDA), que expresa el contenido de residuo insoluble, compuesto

básicamente por celulosa, lignina y sílice. En este caso, los híbridos presentaron un valor promedio de 32,3 %. Si se comparan los valores obtenidos, tanto de FDN como de FDA, con los reportados en la literatura se observa que los valores medidos en este experimento son superiores, dado que éstos varían - para FDN- entre 44 y 50 % y para FDA, entre 25 y 26 % (Hunt *et al.*, 1989; Hunt *et al.*, 1992; Johnson *et al.*, 1999 y Carrete *et al.*, 2000).

CONCLUSIÓN

Se observó alta respuesta al riego suplementario en todas las variables analizadas. La mayor fue encontrada para la PG, lo que incidió fuertemente en el IC de los materiales evaluados.

Fueron obtenidas respuestas importantes en BAC, lo que permitió alcanzar la meta de duplicar la producción respecto a la obtenida en condiciones de secano.

El mejor desarrollo logrado bajo riego quedó evidenciado por los mejores valores de IAF observados en los maíces irrigados.

Los híbridos evaluados tuvieron similares

resultados, evidenciando una alta capacidad de respuesta cuando se les agrega agua y nutrientes.

El riego suplementario presentó una escasa influencia sobre la calidad final del material ensilado cuando se lo compara con la media regional.

Considerando la respuesta al riego de los híbridos utilizados, es factible el uso de un pivote central desplazable para atender hasta tres círculos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a La Ramada S.A. por facilitar sus instalaciones para la realización del ensayo y a los Ing. Agr. Osvaldo Felli y Daniel Sánchez por su colaboración en diversas etapas del trabajo experimental.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDRADE, F. H.; A. G. CIRILO; S. A. UHART & M. E. OTEGUI.** 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Dekalbpres. Balcarce. 289 pp.
- ARGUISSAIN, G. G.** 1990. Productividad del maíz en Balcarce. Tesis MSc, Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce. 60 pp.
- CARRETE, J. R.; J. O. SCHENEITER & I. CECONI.** 2000. Producción y calidad de la planta entera y calidad del silaje de híbridos de maíz. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 20:129-130.
- CASTIGNANI, A. M. C.; M. A. PILATTI; M. T. BEVILAQUA & P. WEIDMANN.** 1996. Riego suplementario en el centro de Santa Fe. Producción de maíz como silaje en producción de leche. Análisis económico y financiero. Actas XX Congreso Argentino de Producción Animal.
- DONALD, C. M. & J. HAMBLIN.** 1976. The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. *Advances in Agronomy.* 28 : 361-405
- GOERING, H. K. & P. J. VAN SOEST.** 1970. Forage fiber analysis: Apparatus, reagents, procedures and some applications. Handbook N°379. USDA Agric. USA.
- HUNT, C.; W. KEZAR & R. VINANDE.** 1989. Yield, chemical composition and ruminal fermentability of corn whole plant, ear and stover as affected by maturity. *J. Prod. Agric.* 2: 357-361.
- HUNT, C.; W. KEZAR & R. VINANDE.** 1992. Yield, chemical composition and ruminal fermentability of corn whole plant, ear and stover as affected by hybrid. *J. Prod. Agric.* 5: 286-290.
- IMHOFF, S.; M. PILATTI & M. SOSA.** 1996. Nitrógeno orgánico en molisoles del centro de Santa Fe. *Revista FAVE,* 9 : 10-18.
- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA: INTA.** 1991. Carta de Suelos de la República Argentina. Hojas 3160-26 y 25. Esperanza-Pilar. INTA EEA Rafaela. 135pp.
- JOHNSON, L.; J. HARRISON; C. HUNT; K. SHIMMERS, C. DOGGETT & D. SAPIENZA.** 1999. Nutritive value of corn silage as affected by maturity and mechanical processing: a contemporary review. *J. Dairy Sci.* 82 : 2813-2825.
- MARANO, R. P.; M. A. PILATTI; P. E. WEIDMANN & C. PECORARI.** 1996. Riego suplementario en el centro de Santa Fe. Respuesta productiva del maíz para silaje: resultados del primer año de experiencia. INTA EEA Rafaela, Publ. Misc. 77:11.
- MONTGOMERY, D. C.** 1991. Diseño y análisis de experimentos. Ed. Iberoamérica. Mexico. 589 pp.

- NORERO, A.** 1980. Concepto dinámico de «humedad disponible» y su estimación para fines técnicos. CIDIAT, Venezuela. 26 pp.
- PILATTI, M. A.** 1999. Interpretación agronómica de datos de suelos. Guía de estudios Cátedra de Edafología Facultad de Ciencias Agrarias de Esperanza. 63 pp.
- RICHARDS, L. A.** 1954. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Manual de Agricultura 60. USDA. Ed. Limusa. Mexico. 174 pp.
- SAS INSTITUTE.** 1994. SAS/STAT procedure