

**MEJORAMIENTO DEL PORCENTAJE DE PROTEÍNA EN MAÍZ
PARA ENSILAJE CON EL AUMENTO Y PARCIALIZACIÓN
DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA¹**

**Improvement of protein percentage in corn silage with an increase in and
partitioning of nitrogen fertilization¹**

Patricio Soto O.^{2*} Ernesto Jahn B.² y Susana Arredondo S.²

ABSTRACT

In clay soils with poor drainage two trials were carried out with the objective of determining the effect of nitrogen application on maize (*Zea mays* L.) for silage on forage yield and protein content. In Trial 1, the treatments were two corn silage hybrids of different growing periods, SX-43 and INIA-150, sown at 90.000 plants ha⁻¹ and four N rates: 0, 100, 200 and 400 kg N ha⁻¹. In Trial 2, the treatments were two N rates: 200 and 400 kg of N ha⁻¹, and three forms of N application: a) 1/2 at sowing + 1/2 at 30 cm plant height; b) 1/3 at sowing + 1/3 at 30 cm plant height + 1/3 at 60 cm plant height; and c) 1/4 at sowing + 1/4 at 30 cm plant height + 1/4 at 60 cm plant height + 1/4 at flowering. One treatment was without N. In Trial 1 N application increased DM yield ($P < 0.05$), but no significant response was observed with N rates between 100 and 400 kg N ha⁻¹, due to soil limitations. Forage production and protein percentage increased significantly with N application. In Trial 2, DM production in corn silage increased with higher N rates ($P < 0.05$). Forage protein percentage was increased by higher N rates and partitioning of the application. On increasing the partitioning of N from two to four applications, protein percentage of forage was increased by 23 and 37% for 200 and 400 kg of N ha⁻¹, respectively.

Key words: corn, nitrogen, protein, silage, *Zea mays* L.

RESUMEN

En suelos arcillosos de mal drenaje se realizaron dos ensayos con el objetivo de determinar la respuesta de maíz (*Zea mays* L.) para ensilaje a la aplicación de N en el rendimiento y contenido de proteína del forraje. En el Ensayo 1 los tratamientos correspondieron a dos híbridos de maíz para ensilaje de distinta precocidad, SX-43 e INIA-150, sembrados con una población de 90.000 plantas ha⁻¹ y cuatro dosis de N: 0, 100, 200 y 400 kg N ha⁻¹. En el Ensayo 2, los tratamientos fueron dos dosis de N: 200 y 400 kg N ha⁻¹, y tres formas de aplicación de nitrógeno: a) 1/2 a la siembra + 1/2 a 30 cm de altura de las plantas; b) 1/3 a la siembra + 1/3 a 30 cm de altura de las plantas + 1/3 a 60 cm de altura de las plantas; y c) 1/4 a la siembra + 1/4 a 30 cm de altura de las plantas + 1/4 a 60 cm de altura de plantas + 1/4 en floración. Además se incluyó un tratamiento sin aplicación de N. En el Ensayo 1, la aplicación de N aumentó el rendimiento de MS ($P < 0,05$), sin embargo, no hubo respuesta significativa entre 100 y 400 kg de N, debido a limitantes de suelo. La producción y el porcentaje de proteína del forraje aumentó significativamente con la aplicación de N. En el Ensayo 2, la producción de MS en el maíz aumentó con la aplicación de N ($P < 0,05$). El porcentaje de proteína del forraje se incrementó con mayores dosis de N y su parcialización. Al aumentar la parcialización del N de 2 a 4 aplicaciones se incrementó el tenor proteico del forraje en 23 y 37% para las dosis de 200 y 400 kg N ha⁻¹, respectivamente.

Palabras clave: maíz, nitrógeno, proteína, ensilaje, *Zea mays* L.

¹ Recepción de originales: 17 de diciembre de 2002.

² Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Casilla 426, Chillán, Chile.
E-mail: psoto@quilamapu.inia.cl *Autor para correspondencia.

INTRODUCCIÓN

En el sector de suelos arcillosos de mal drenaje, ubicados en el llano central de riego de la VII Región, se ha mantenido por muchos años una rotación de cultivos que incluye solamente arroz (*Oryza sativa*) y pradera natural. Esto ha producido una pérdida progresiva de la fertilidad del suelo y un deterioro de la cubierta vegetal existente en la pradera natural (Soto y Acuña, 1996). Se han estudiado alternativas forrajeras que pueden configurar sistemas eficientes de producción animal. La producción de leche ha demostrado ser una alternativa para la reconversión de estos suelos, la cual requiere un abastecimiento seguro de forraje para la suplementación invernal (Soto y Jahn, 1997). Por otra parte, en la zona centro sur del país, en los últimos años, ha aumentado considerablemente el cultivo del maíz (*Zea mays* L.) para ensilaje, debido a su alto rendimiento de materia seca (MS) y dado que es un excelente alimento energético para la alimentación invernal de vacas lecheras (Soto, 1996). El progreso alcanzado por el mejoramiento genético de plantas en diversas especies ha sido notable, reflejándose especialmente en maíz (Luchsinger, 1992). Todos los híbridos comerciales pueden destinarse a la producción de grano y forraje, dependiendo de la precocidad, época de siembra, condiciones climáticas y de suelo, densidad de siembra, fertilización, manejo del cultivo, etc.

El principal problema que presenta la producción de maíz para ensilaje es su bajo nivel de proteína cruda, lo cual encarece la alimentación invernal. Al respecto, Jahn *et al.* (1995) señalaron que los niveles de proteína en el ensilaje de maíz en la zona eran considerablemente más bajos que los señalados por la literatura extranjera. Diversos autores señalaron que el aumento de la fertilización nitrogenada produce un incremento en el rendimiento de MS, aumentando además el contenido proteico del grano de maíz (Carlone y Russel, 1987; Bundy y Carter, 1988; Muchow y Sinclair, 1994; Sinclair y Muchow, 1995).

El N es esencial en la obtención de proteína en el maíz, y se requiere una dosis adecuada de fertilización nitrogenada para obtener el máximo de

proteína (Cox *et al.*, 1993). Al respecto, Binder *et al.* (2000) y Scharf *et al.* (2002) señalaron que es conveniente aplicar los fertilizantes nitrogenados en parcialidades para obtener una mayor producción de maíz, ya que el consumo de N es mínimo al inicio del crecimiento de la planta, aumentando luego hasta alcanzar un máximo entre la floración y la formación inicial de grano (Hanway, 1963).

Diversos autores han estudiado la parcialización de la dosis de N en maíz. Russelle *et al.* (1983) encontraron una mayor producción en maíz cuando el N fue aplicado en la etapa V8 ó V16 (Hanway, 1963) que en la etapa V4 o en la siembra. Por otra parte, Randall *et al.* (1997) encontraron producciones similares aplicando el fertilizante en la siembra o 30% en la siembra y el 70% pasada la etapa V16 (etapa de grano lechoso).

Los objetivos del presente estudio fueron determinar la respuesta a la aplicación de dosis crecientes de N y su parcialización en híbridos de maíz para ensilaje, y su efecto sobre el rendimiento de materia seca y contenido de proteína del forraje.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron dos ensayos en un predio ubicado 5 km al sur de la ciudad de Parral, VII Región (36°11' lat. Sur, 71°49' long. Oeste, 174 m.s.n.m.) en un suelo de la serie Parral, de textura franco arcillosa (Palexeralfs) (CIREN-CORFO, 1983), para estudiar la aplicación de fertilizantes nitrogenados en maíz para ensilaje. En la preparación de suelo se realizaron labores de rotura, cruza, rastrajes y nivelación.

Ensayo 1. Se sembró el 31 de octubre de 1994, sobre un suelo proveniente de pradera natural sucesional de arroz seguida por un cultivo de avena (*Avena sativa*) para forraje verde invernal. Se aplicó insecticida clorpirifos en dosis de 250 g por 100 kg de semilla y herbicida de pre-siembra alachlor más atrazina en dosis de 4,5 y 2 L ha⁻¹, respectivamente, incorporado con un rastraje realizado con un tractor de investigación (Gravelly, professional 10, USA), previo a la siembra. El análisis inicial de suelo arrojó los siguientes re-

sultados: 2 mg kg⁻¹ de N, 7 mg kg⁻¹ de P, 52 mg kg⁻¹ de K y un pH de 5,5. Se compararon ocho tratamientos en un arreglo factorial de 2 x 4, en que el factor 1 correspondió a dos híbridos de maíz para ensilaje, SX-43 e INIA-150, semiprecoz y semitardío respectivamente, sembrados con una población de 90.000 plantas ha⁻¹, y el factor 2 fueron cuatro dosis de N: 0, 100, 200 y 400 kg de N ha⁻¹, en parcelas de 3,2 x 7 m (cuatro hileras a 0,8 m).

El diseño experimental fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La fertilización básica al establecimiento correspondió a 110 kg de P₂O₅ ha⁻¹ y 60 kg de K₂O ha⁻¹. La fertilización nitrogenada aplicada como urea, fue de 22,5 kg de N en línea a la siembra, completando el 50% de la dosis correspondiente a cada tratamiento al voleo a la siembra. El 50% restante se aplicó cuando el cultivo alcanzó los 30 cm de altura, completando la dosis correspondiente a cada tratamiento.

Ensayo 2. Se estableció el 4 de noviembre de 1995 sobre un suelo proveniente de una rotación avena-maíz-avena, en que la avena se utilizó como forraje verde invernal. Se sembró el híbrido de maíz INIA-150, con una población de 100.000 plantas ha⁻¹.

La aplicación de insecticida se realizó de la misma forma que en el Ensayo 1, y como herbicida se aplicó atrazina-metolaclo en dosis de 5 L ha⁻¹ de presiembra incorporado. La fertilización básica por hectárea a la siembra correspondió a 110 kg de P₂O₅, 130 kg K₂O, 22 kg de S, 18 kg de MgO, y 24 kg de N como salitre sódico aplicado en línea. La fertilización nitrogenada correspondiente a los tratamientos se aplicó como urea.

Los siete tratamientos se distribuyeron en bloques completos al azar con cuatro repeticiones en un arreglo factorial completo de 2 x 3. Los factores fueron dos dosis de N: 200 y 400 kg de N ha⁻¹; y tres formas de aplicación: a) 1/2 a la siembra + 1/2 a 30 cm de altura de las plantas (S - 30); b) 1/3 a la siembra + 1/3 a 30 cm de altura de las plantas + 1/3 a 60 cm de altura de plantas (S - 30 - 60), y c) 1/4 a la siembra + 1/4 a 30 cm de altura de las plantas + 1/4 a 60 cm de altura de plantas + 1/4 en floración (S -

30 - 60 - flor), además de un control. El tamaño de las parcelas fue de 3,2 x 7 m (cuatro hileras a 0,8 m).

Evaluaciones. En el momento en que el maíz alcanzó el estado de grano pastoso a duro se evaluó la población, desechando las hileras borde y 0,5 m a cada extremo de las hileras centrales, quedando una superficie de cosecha de 16 m². Se realizó una estimación visual del porcentaje de hojas secas; posteriormente las plantas se cortaron a una altura de 10 cm y se pesaron inmediatamente para obtener el peso fresco total. Del total de plantas cortadas se obtuvieron 10 plantas al azar, las que inmediatamente se picaron para la determinación del porcentaje de MS, y para la obtención de muestras destinadas a análisis bromatológico.

El porcentaje de MS se determinó colocando las muestras en un horno de aire forzado a 65°C por 48 h. La composición química del forraje se determinó mediante el método microkjeldal (A.O.A.C., 1970) para la proteína total, y la energía metabolizable se estimó a partir de la fibra detergente ácido (Van Soest, 1963).

Los resultados obtenidos se sometieron a ANDEVA utilizando el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 1987). La comparación de medias entre tratamientos se realizó mediante el método de comparaciones múltiples de Duncan.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de forraje

Ensayo 1. No se presentaron diferencias significativas en producción de MS entre las dosis de 100 a 400 kg de N ha⁻¹, pero éstas fueron significativamente superiores ($P \leq 0,05$) a los tratamientos sin N, alcanzando producciones de 20,5 y 21,8 t MS ha⁻¹, para los híbridos SX-43 e INIA 150, respectivamente, con la dosis máxima de N (400 kg) (Cuadro 1). La falta de respuesta en producción de MS en dosis superiores a 100 kg de N ha⁻¹, se debe probablemente a otras limitantes del suelo. Al respecto, Carlone y Russel (1987) señalaron también un aumento en la producción de forraje de maíz a medida que se aumenta la

fertilización nitrogenada, señalando incrementos de un 78% en la producción de forraje para niveles de 0 a 80 kg de N ha⁻¹, y 16% para niveles de 80 a 160 kg de N ha⁻¹. No se observaron diferencias significativas entre los dos híbridos utilizados.

Ensayo 2. La mayor aplicación de N aumentó en forma significativa ($P \leq 0,05$) la producción de MS, alcanzando la aplicación de 400 kg N ha⁻¹ un nivel óptimo de fertilización para este ensayo, sin embargo, no se vio un efecto significativo al parcializar estas dosis (Cuadro 2).

Los resultados obtenidos en ambos ensayos concuerdan con lo señalado por Carlone y Russel (1987), O'Leary y Rehm (1990), Tollenaar *et al.* (1994) y Soto *et al.* (2002), quienes encontraron un aumento en la producción de MS del maíz a medida que se aumenta la fertilización nitrogenada. Al respecto, Muchow (1988) señaló que la fertilización nitrogenada afecta la producción de MS del maíz, ya que ésta tiene influencia sobre el desarrollo del área de la hoja, la mantención de su área y la eficiencia fotosintética. Por otra parte, Cox *et al.* (1993) señalaron que la producción económica máxima de MS en maíz ocurre con dosis sobre 150 kg de N ha⁻¹, sin embargo, la calidad del maíz para ensilaje se incrementa con dosis de 0-200 kg de N ha⁻¹.

Cuadro 1. Producción de MS de forraje, proteína total (%) y proteína cruda (kg ha⁻¹) de dos híbridos (SX-43 e INIA-150) de maíz para ensilaje con cuatro dosis de nitrógeno. Ensayo 1.

Table 1. Forage DM production, total protein (%) and crude protein (kg ha⁻¹) of two hybrid (SX-43 and INIA-150) silage corn with four nitrogen doses. Experiment 1.

N (kg ha ⁻¹)	Materia seca (t ha ⁻¹)			Proteína (%)			Proteína cruda (kg ha ⁻¹)		
	SX-43	INIA-150	Media	SX-43	INIA-150	Media	SX-43	INIA-150	Media
0	14,2	15,0	14,6 b ₁	4,5	4,3	4,4 c	642	648	645 c
100	19,3	21,4	20,4 a	5,6	5,3	5,5 b	1.075	1.149	1.112 b
200	20,0	19,7	19,9 a	6,8	6,3	6,5 a	1.350	1.243	1.296 b
400	20,5	21,8	21,2 a	6,8	7,3	7,1 a	1.396	1.615	1.505 a
	18,5 a	19,5 a		5,9 a	5,8 a		1.115 a	1.163 a	

¹ Valores con igual letra en filas o columnas no presentan diferencias significativas entre sí según prueba de Duncan ($P \leq 0,05$).

Cuadro 2. Producción de MS y de proteína cruda en maíz para ensilaje (híbrido SX-43) con diferentes aplicaciones de N en cantidad y distribución. Ensayo 2.

Table 2. Production of DM and crude protein in corn silage (hybrid SX-43) with different applications of N in quantity and distribution. Experiment 2.

Tratamiento	Materia seca (t ha ⁻¹)	Proteína cruda (kg ha ⁻¹)
Sin fertilización	7,5 c ₂	248 ₃
S-30 ¹ (200 kg N ha ⁻¹)	18,8 b	639
S-30-60 (200 kg N ha ⁻¹)	18,2 b	673
S-30-60-flor (200 kg N ha ⁻¹)	17,3 b	727
S-30 (400 kg N ha ⁻¹)	21,6 a	972
S-30-60 (400 kg N ha ⁻¹)	22,6 a	1.062
S-30-60-flor (400 kg N ha ⁻¹)	22,0 a	1.364

¹ S-30: 50% a la siembra + 50% a 30 cm de altura de las plantas; S - 30 - 60: 1/3 a la siembra + 1/3 a 30 cm de altura de las plantas + 1/3 a 60 cm de altura de plantas; S - 30 - 60 - flor: 1/4 a la siembra + 1/4 a 30 cm de altura de las plantas + 1/4 a 60 cm de altura de plantas + 1/4 en floración.

² Valores con igual letra en columnas no presentan diferencias significativas entre sí según prueba de Duncan ($P \leq 0,05$).

³ Valores promedio de cuatro repeticiones.

De acuerdo a la parcialización de la dosis de N, los resultados obtenidos no concordaron con lo señalado por Russelle *et al.* (1983), ni Scharf *et al.* (2002), quienes observaron un aumento en la producción de maíz al parcializar la dosis de N, pero concordaron con lo señalado por Randall *et al.* (1997), quienes no encontraron diferencias en la producción de maíz al aplicar el N a la siembra, o al parcializar la dosis un 30% en la siembra y el 70% pasada la etapa V16, que corresponde a la etapa de grano lechoso.

Al respecto, cabe señalar que la facilidad de movimiento del agua y NO_3^- en el suelo depende de la porosidad de éste, por lo que un suelo drenado tiene un mayor potencial para lixiviar que un suelo mal drenado, pero este último tiene un mayor potencial para la desnitrificación (Laegreid *et al.*, 1999). Es por esto que, tal vez, la parcialización en la aplicación de N no tuvo un efecto en la producción ni en la calidad del maíz.

Porcentaje y producción de proteína

Ensayo 1. A medida que aumentó la fertilización nitrogenada el porcentaje de proteína del maíz fue mayor ($P \leq 0,05$), incrementándose de 4,4 a 7,1%, con dosis de 0 a 400 kg ha^{-1} , respectivamente (Cuadro 1). En Chile no hay antecedentes experimentales que indiquen que el % de proteína aumenta al incrementar el nivel de fertilización nitrogenada; los datos del presente trabajo demuestran claramente que el aumento de la fertilización nitrogenada producen un aumento del contenido de proteína del forraje. No hubo interacción entre híbrido y dosis de N. El contenido medio de proteína fue similar para los dos híbridos (Cuadro 1). La producción de proteína resultante al ponderar la producción de forraje (kg MS ha^{-1}) y el contenido de proteína, señaló que la fertilización nitrogenada produjo un aumento significativo ($P \leq 0,05$) en la producción de proteína total por hectárea (Cuadro 1), debido a un aumento en el tenor proteico del forraje.

Por otra parte, la energía metabolizable no fue afectada por el aumento en la dosis de N, presentando un rango promedio de 2,2 - 2,3 Mcal ($P \leq 0,05$) en todos los tratamientos, lo que concuerda con los valores señalados por Ruiz (1993) y Soto *et al.* (2002) para maíz de ensilaje.

Ensayo 2. Se observó un aumento en la producción de proteína al incrementar el nivel de fertilización con N (Cuadro 2). Este aumento se debe principalmente a un incremento en el tenor proteico del forraje. Con la aplicación normal, a la siembra y 30 cm del altura del maíz, con un total de 200 kg N ha^{-1} se obtuvo un 3,4% proteína, y esto se incrementó a 4,2 % al aplicar 400 kg N ha^{-1} , lo cual significa un 32% de aumento. Cuando el N se aplica en dos parcialidades en comparación con 4 parcialidades se observó un aumento de 23 y 37% en el tenor proteico para las dosis de 200 y 400 kg N ha^{-1} . Al aplicar la dosis de 400 kg de N se obtuvo un 6,2% de proteína en el forraje.

En ambos ensayos, se observó el mismo efecto, un aumento en el contenido y/o producción de proteína al aumentar la dosis de N, lo que concuerda con los resultados obtenidos por Soto *et al.* (2002) para maíz de ensilaje. Al respecto, Karlen *et al.* (1985) encontraron que fertilizaciones nitrogenadas entre los 150 y 300 kg N ha^{-1} tienen un efecto positivo sobre la producción de proteína en maíz, mientras que niveles superiores a 450 kg N ha^{-1} no producen un aumento en la producción de proteína; señalaron además, que la fertilización nitrogenada no tiene efecto sobre la producción de energía metabolizable.

Porcentaje de hojas secas, densidad y altura de plantas

Ensayo 1. El aumento de los niveles de fertilización nitrogenada provocó una disminución significativa ($P \leq 0,05$) en el porcentaje de hojas secas (Cuadro 3), siendo ésta más importante para el híbrido SX-43, el que presentó sólo 0,5% de hojas secas para la dosis más alta de N. El híbrido INIA-150 presentó un mayor porcentaje de hojas secas, pero en menor proporción con la dosis de 400 kg de N ha^{-1} . Al respecto, Soto *et al.* (2002) encontraron un efecto significativo de la fertilización nitrogenada en el porcentaje de hojas secas de maíz para ensilaje. De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede señalar que existe una relación entre estos tres factores, es decir, el aumento de la fertilización nitrogenada conlleva a la disminución de hojas secas y a un aumento del porcentaje de proteína por hectárea, lo que corrobora lo señalado por Ruiz (1993) para hojas de

maíz. A su vez, Uhart y Andrade (1995) señalaron que el estrés de N disminuye el índice de área, la duración y la tasa fotosintética de la hoja, disminuyendo la intercepción de radiación y provocando una baja eficiencia en el uso de la radiación.

En el mismo ensayo se observó para cada híbrido individualmente, que la densidad de plantas del híbrido de maíz INIA-150 no se vio afectada aparentemente por la dosis de N, mientras que el híbrido SX-43 presentó una mayor densidad de plantas a medida que se aumentó la dosis de N (Cuadro 3). No se observó un efecto de la fertilización sobre la altura de las plantas (Cuadro 3).

Ensayo 2. No se observó una respuesta significativa a la parcialización o a la dosis de N en la densidad de plantas, mientras que en la altura se observó un efecto significativo ($P \leq 0,05$) para la

aplicación de N (Cuadro 4), ya que para ambos niveles de fertilización (200 ó 400 kg N), la altura fue superior al tratamiento control.

CONCLUSIONES

En suelos arcillosos de mal drenaje, el incremento de los niveles de fertilización nitrogenada en maíz para ensilaje aumenta la producción de materia seca y el porcentaje de proteína, y como consecuencia la producción de proteína por hectárea.

La aplicación parcializada de N no mejora la producción de forraje ni el tenor proteico del maíz para ensilaje.

El porcentaje de hojas secas a la cosecha del maíz para ensilaje se vio afectado por la fertilización nitrogenada, disminuyendo su porcentaje a medida que aumenta el nivel de fertilización.

Cuadro 3. Porcentaje de hojas secas, altura y densidad de plantas de dos híbridos (SX-43 e INIA-150) de maíz para ensilaje con cuatro dosis de nitrógeno. Ensayo 1.

Table 3. Percentage of dry leaves, height and density of plants of two hybrids (SX-43 and INIA-150) of silage corn with four nitrogen doses. Experiment 1.

N (kg ha ⁻¹)	Hojas secas (%)			Altura plantas (m)			Densidad (plantas ha ⁻¹)		
	SX-43	INIA-150	Media	SX-43	INIA-150	Media	SX-43	INIA-150	Media
0	35,00	32,50	33,8 a ¹	2,97	3,05	3,1 a	60.937	46.875	53.906 b
100	11,25	22,50	16,9 b	2,86	3,15	3,0 a	75.937	63.437	69.688 a
200	4,00	12,75	8,4 c	2,98	3,31	3,0 a	76.875	58.750	67.813 a
400	0,50	3,75	2,1	2,88	3,15	3,0 a	80.312	63.437	71.875 a
	12,69 a	17,88 a		2,92 b	3,17 a		73.516 a	58.125 b	

¹ Valores con igual letra en filas o columnas no presentan diferencias significativas entre sí según prueba de Duncan ($P \leq 0,05$).

Cuadro 4. Altura y densidad de plantas en maíz para ensilaje (híbrido SX-43) con diferentes aplicaciones de N en cantidad y distribución, Ensayo 2.

Table 4. Height and density of plants of silage corn (hybrid SX-43) with different applications of N in quantity and distribution, Experiment 2.

Tratamiento	Altura plantas (m)	Densidad (plantas ha ⁻¹)
Sin fertilización	2,22 c ²	81.563 a
S-30 ¹ (200 kg N ha ⁻¹)	2,82 b	80.000 a
S-30-60 (200 kg N ha ⁻¹)	2,80 b	80.625 a
S-30-60-flor (200 kg N ha ⁻¹)	2,72 b	77.187 a
S-30 (400 kg N ha ⁻¹)	2,93 a	80.312 a
S-30-60 (400 kg N ha ⁻¹)	2,93 a	79.375 a
S-30-60-flor (400 kg N ha ⁻¹)	2,84 a	71.562 a

¹ S-30: 50% a la siembra + 50% a 30 cm de altura de las plantas; S-30-60: 1/3 a la siembra + 1/3 a 30 cm de altura de las plantas + 1/3 a 60 cm de altura de plantas; S-30-60-flor: 1/4 a la siembra + 1/4 a 30 cm de altura de las plantas + 1/4 a 60 cm de altura de plantas + 1/4 en floración.

² Valores con igual letra en columnas no presentan diferencias significativas entre sí según prueba de Duncan ($P \leq 0,05$).

LITERATURA CITADA

- A.O.A.C. 1970. Official methods of analysis. 1015 p. 11th ed. Association of Official Analytical Chemist. Washington D.C., USA.
- Binder, D.L., D.H. Sander, and D.T. Walters. 2000. Maize response to time of nitrogen application as affected by level of nitrogen deficiency. *Agron. J.* 92:1228-1236.
- Bundy, L.G., and P.R. Carter. 1988. Corn hybrid response to nitrogen fertilization in the Northern Corn Belt. *J. Prod. Agric.* 1:99-104.
- Carlone, M.R., and W.A. Russell. 1987. Response to plant densities and nitrogen levels for four maize cultivars from different eras of breeding. *Crop Sci.* 27:465-470.
- CIREN. 1983. Descripciones de suelos. Estudio agrológico complementario. Vol. 2. Publicación CIREN Nº 45. Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). Santiago, Chile.
- Cox, W.J., S. Kalonge., D.J.R. Cherney, and W.S. Reid. 1993. Growth, yield and quality of forage maize under different nitrogen management practices. *Agron. J.* 85:341-347.
- Hanway, J.J. 1963. Growth stages of corn (*Zea mays* L.). *Agron. J.* 55:487-492.
- Jahn, E., P. Cofre, y P. Soto. 1995. Calidad del ensilaje de maíz con diferentes poblaciones y niveles de fertilización nitrogenadas. p. 23-24. XX Reunión Anual SOCHIPA A.G., Coquimbo, Chile. 19 y 20 de octubre. Sociedad Chilena de Producción Animal, Temuco, Chile.
- Karlen, D.L., C.R. Camp, and J.P. Zublena. 1985. Plant density, distribution and fertilizer effects on yield and quality of irrigated corn silage. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 16:55-70.
- Laegreid, M., O.C. Bockman, and O. Kaarstad. 1999. Agriculture, fertilizer and the environment. p. 79-182. CABI Publishing and Norsk Hydro ASA, London, Great Britain.
- Luchsinger, A. 1992. Productividad de híbridos de maíz de distinto ciclo vegetativo. I. Rendimiento de forraje y grano y otras características agronómicas. *Agric. Téc. (Chile)* 52:265-274.
- Muchow, R.C. 1988. Effect of nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semi-arid tropical environment. I. Leaf growth and leaf nitrogen. *Field Crops Res.* 18:1-6.
- Muchow, R.C., and T.R. Sinclair. 1994. Nitrogen response of leaf photosynthesis and canopy radiation use efficiency in field-grown maize and sorghum. *Crop Sci.* 34:721-727.
- O'Leary, M.J., and G.W. Rehm. 1990. Nitrogen and sulfur effects on the yield and quality of corn grown for grain and silage. *J. Prod. Agric.* 3:135-140.
- Randall, G.W., T.K. Iragavarapu, and B.R. Bock. 1997. Nitrogen application methods and timing for corn after soybean in a ridge-tillage system. *J. Prod. Agric.* 10:300-307.
- Ruiz, I. 1993. Características nutritivas de hojas verdes y secas de maíz destinado a ensilaje. *Agric. Téc. (Chile)* 53:356-358.
- Russelle, M.P., R.D. Hauck, and R.A. Olson. 1983. Nitrogen accumulation rates of irrigated corn. *Agron. J.* 75:593-598.
- SAS Institute. 1987. SAS/STAT Guide for personal computers. Version 6. 93 p. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA.
- Scharf, P.C., W.J. Wiebold, and J.A. Lory. 2002. Corn yield response to nitrogen fertilizer timing and deficiency level. *Agron. J.* 94:435-441.
- Sinclair, T.R., and R.C. Muchow. 1995. Effect of nitrogen supply on maize yield. I. Modeling physiological responses. *Agron. J.* 87:632-641.
- Soto, P. 1996. Forrajes suplementarios de invierno. p. 109 - 137. *In* Ruiz, I. (ed.) Praderas para Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile.
- Soto, P., y H. Acuña. 1996. Praderas para suelos arroceros. p. 506 - 518. *In* Ruiz, I. (ed.) Praderas para Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile.
- Soto, P., E. Jahn. 1997. Fertilización nitrogenada en maíz para ensilaje en un suelo arrocero. p. 21-22. XXII Reunión Anual SOCHIPA A.G., Chillán, Chile. 19 y 20 de octubre. Sociedad Chilena de Producción Animal, Temuco, Chile.
- Soto, P., E. Jahn, y S. Arredondo. 2002. Población y fertilización nitrogenada en un híbrido de maíz para ensilaje en el valle central regado. *Agric. Téc. (Chile)* 62:255-265.
- Tollenaar, M., A.A. Dibo, A. Aguilera, S.F. Weise, and C.J. Swanton. 1994. Effect of crop density on weed interference in maize. *Agron. J.* 86:591-595.
- Uhart, S.A., and F.H. Andrade. 1995. Nitrogen deficiency in maize. I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning, and kernel set. *Crop. Sci.* 35:1376-1383.
- Van Soest, P.J. 1963. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for determination of fiber and lignin. *J. Assoc. Off. Agric. Chem.* 46:829-834.