INVESTIGACIÓN

POBLACIÓN Y FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN UN HÍBRIDO DE MAÍZ PARA ENSILAJE EN EL VALLE CENTRAL REGADO[1]

Planting density and nitrogen fertilization of hybrid corn for silage in the irrigated Central Valley

Patricio Soto O.[2], Ernesto Jahn B.[2] y Susana Arredondo S.[2]

ABSTRACT

The effect of three nitrogen fertilization rates and four planting densities on dry matter and protein yield of silage corn (*Zea mays* L.) was evaluated. The densities were as follows: 70,000, 90,000, 110,000 and 130,000 plants ha^{-1}, and the nitrogen rates: 150, 300 and 450 kg N ha^{-1}, giving a total of 12 treatments which were evaluated in 22.4 m^2 plots. Both factors were evaluated in a completely randomized block design with 4 replicates in a 2 x 4 factorial arrangement. Evaluation was performed between October and March 1996-1997. Data were analyzed in an analysis of variance and means were compared using the Duncan test and regression analysis. As nitrogen applied to corn increased, forage yield and protein yield per hectare also increased. This increase was 3.8 t DM ha^{-1} when nitrogen was increased from 150 to 300 kg N ha^{-1}, and 2.0 t DM ha^{-1} as N increased from 300 to 450 kg N ha^{-1}. Higher plant density produces increased forage production per hectare, but protein yield was not affected. Higher levels of N fertilization increased protein percentage in forage. Higher levels of N application reduced efficiency of N use (74%) as compared to 94% when N application was 150 kg N ha^{-1}; N losses presented the opposite tendency. Higher levels of N application reduced the percentage of dry leaves in the plants, varying between 44 and 28% for fertilization of 150 and 450 kg N ha^{-1}, respectively.

Key words: corn, nitrogen, silage, plant density.

RESUMEN

Se evaluó el efecto de tres dosis de nitrógeno y cuatro densidades de plantas sobre el rendimiento de forraje y proteína en un híbrido tardío de maíz (*Zea mays* L.) para ensilaje. Las densidades fueron: 70.000, 90.000, 100.000 y 130.000 plantas ha^{-1}; y los niveles de N fueron 150, 300 y 450 kg de N ha^{-1}, dando origen a 12 tratamientos, los que fueron establecidos en parcelas de 22,4 m^2. Ambos factores fueron evaluados en un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones, con arreglo factorial 2 x 4. La evaluación se realizó entre los meses de octubre y marzo. Se realizó análisis de varianza y en la comparación de medias se usó la prueba de Duncan y curvas de regresión. Los resultados muestran que al aumentar la cantidad de N aplicado al maíz, se incrementa el rendimiento de forraje y de proteína por hectárea. Este incremento fue de 3,8 t MS ha^{-1} al pasar de 150 a 300 kg de N ha^{-1} aplicado y 2,0 t MS ha^{-1} al aumentar de 300 a 450 kg de N ha^{-1}. El incremento de la densidad de plantas produce un aumento en la producción de forraje por hectárea, mientras que la producción de proteína no presenta variación. El aumento de la fertilización nitrogenada incrementa el contenido de proteína del forraje. Los niveles más altos de aplicación de N presentaron una menor eficiencia (74%) en el uso de este elemento comparado con

[1]Recepción de originales: 06 de diciembre de 2000.
[2]Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Casilla 426, Chillán, Chile.
E-mail: psoto@quilamapu.inia.cl

94% con una aplicación de 150 kg N ha^{-1}, mientras que las pérdidas de N presentaron el efecto contrario. El aumento en los niveles de fertilización nitrogenada provocaron la disminución del porcentaje de hojas secas en las plantas variando entre 44 y 28% para una fertilización de 150 y 450 kg N ha^{-1}, respectivamente.

Palabras clave: maíz, nitrógeno, ensilaje, densidad de plantas.

INTRODUCCIÓN

El ensilaje de maíz (*Zea mays* L.) es el recurso energético más utilizado en la alimentación invernal de los sistemas de producción de leche en la zona centro sur (Ruiz, 1993; Soto, 1996). Sin embargo, presenta un bajo contenido de proteína cruda, lo que hace necesario recurrir al uso de suplementación proteica para lograr una alta producción de leche, encareciendo la alimentación invernal (Jahn y Soto, 1993).

Dados los elevados costos de producción del maíz, es esencial tener en cuenta todos los factores que influyen en la obtención de altos rendimientos de forraje cuando es destinado a ensilaje (Jokela y Randall, 1989; Soto, 1996). En su cultivo se deben tener presentes numerosos factores agroecológicos, dentro de los cuales resaltan la fertilización y la densidad de plantas, como las variables de mayor incidencia en un resultado exitoso (Carlonne y Russel, 1987; Tollenaar *et al.*, 1994).

Diversos autores señalan que el aumento de la fertilización nitrogenada produce un incremento en el rendimiento de materia seca, aumentando además el contenido proteico del grano de maíz (Carlonne y Russel, 1987; Bundy y Carter, 1988; Muchow y Sinclair, 1994; Sinclair y Muchow, 1995).

Otro factor importante es la densidad de plantas. Lagos (1981) señaló que los maíces precoces deben llegar a la cosecha con una población de 85.000 a 90.000 plantas ha^{-1}, mientras que los maíces tardíos entre 75.000 y 80.000 plantas ha^{-1}. Karlen *et al.* (1985) y Graybil *et al.* (1991), señalaron que el incremento en la densidad de plantas produce mayores rendimientos de materia seca siempre que no hayan otros factores limitantes, como la fertilización nitrogenada. Los mismos autores señalaron que el rendimiento de materia seca en maíz presenta una curva de respuesta asintótica, es decir, el rendimiento aumenta con la densidad hasta un nivel máximo permaneciendo luego constante aunque la densidad aumente ampliamente. El rendimiento de grano en cambio, llega a un máximo en un nivel intermedio de población, a partir del cual declina.

El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto del aumento del nivel de nitrógeno aplicado y de la densidad de plantas sobre el rendimiento de forraje y de proteína en un híbrido de maíz tardío para ensilaje.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en el Centro Regional de Investigación Quilamapu VIII Región, Chile (36° 52' lat. Sur, 71° 55' long. Oeste), del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, en un suelo serie Arrayan (Dystrandeps) (Ciren CORFO, 1994), bajo condiciones de riego, cuyas características químicas se presentan en el Cuadro 1.

En la preparación de suelo se realizaron labores de rotura, cruza, rastrajes y nivelación. Posteriormente se aplicaron 2 herbicidas de pre-siembra, alachlor (Lasso 5 L ha^{-1}) y atrazina 2 L ha^{-1}, más el insecticida clorpirifos (Lorsban 4E 5 L ha^{-1}), siendo éstos incorporados con un rastraje realizado con un tractor Gravelly.

Cuadro 1. Composición química inicial del suelo
Table 1. Initial soil chemical composition

Componentes	Profundidad	
	0-20 cm	20-40 cm
Nitrógeno, mg kg^{-1}	15	4
Fósforo, mg kg^{-1}	11	7
Potasio, mg kg^{-1}	166	111
Materia orgánica, %	5,1	3,6
pH	5,7	6,0

Entre los días 28 y 29 de octubre, sobre un suelo cultivado con trigo el año anterior, se sembró el híbrido tardío de maíz INIA 160. Cuando el cultivo alcanzó los 15 cm de altura se aplicó el insecticida metamidofos (Monitor 600 1 L ha^{-1}) para el control del gusano del choclo (*Heliothis zea* L.).

Todos los tratamientos recibieron una fertilización básica al establecimiento de 110 kg ha^{-1} de P_2O_5 como Super Fosfato Triple, y 72 kg ha^{-1} de K_2O como muriato de potasio, ambos aplicados en banda en todos los tratamientos. La fertilización nitrogenada correspondió a aplicación de urea, aplicando 50 kg en línea a la siembra y completando a un 50% de la dosis de N correspondiente a cada tratamiento al voleo. El 50% restante se aplicó cuando el cultivo alcanzó los 30 cm de altura, completando la dosis de N de cada tratamiento.

El cultivo fue regado por surco desde el 23 de noviembre al 21 de febrero con intervalos irregulares de acuerdo a las necesidades, cumpliendo un total de 7 riegos.

El diseño experimental empleado correspondió a un factorial completo (2 x 4) en bloques al azar con 4 repeticiones. Los tratamientos fueron cuatro densidades: 70.000, 90.000, 100.000 y 130.000 plantas ha^{-1}; y tres niveles de N: 150, 300 y 450 kg ha^{-1}, dando origen a 12 tratamientos. Éstos se establecieron en parcelas de 3,2 x 7 m (22,4 m^2), con 4 hileras separadas a una distancia de 0,8 m.

Evaluaciones

El maíz fue cosechado el 13 de marzo, al estado de grano pastoso. Las plantas utilizadas para las evaluaciones fueron tomadas de las dos hileras centrales de cada tratamiento, dejando un borde de 1 m en las cabeceras.

La disponibilidad de forraje (kg MS ha^{-1}) se evaluó cortando el material ensilable a mano, a una altura no superior a los 10 cm, pesando inmediatamente este material para obtener la producción de materia verde. Posteriormente las muestras fueron picadas y secadas en un horno de aire forzado a 65 °C por 72 h, para determinar el porcentaje de MS.

Se evaluó la composición química del forraje, determinando el contenido de proteína total por el método de Kjeldahl (A.O.A.C., 1970); la energía metabolizable fue estimada a partir de la fibra detergente ácido (Van Soest, 1963).

Se determinó el porcentaje de hojas secas al momento de la cosecha, con notas de estimación visual.

La eficiencia en el uso del N (E) fue medida en porcentaje y representa el total de N extraído por la planta con respecto al N aplicado, según la siguiente fórmula:

$$E = \frac{\text{N extraído}}{\text{N aplicado}} \times 100$$

Las pérdidas de N se calcularon mediante la diferencia entre el N existente en el suelo más el N aplicado, en contraposición con el N extraído más el N final del suelo (post-cosecha). Por último se evaluaron los costos de producción en cada uno de los tratamientos.

Los resultados obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza. La comparación de medias entre tratamientos se realizó mediante el método de comparaciones múltiples de Duncan, a un nivel de significancia de 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de forraje

La producción de forraje aumentó significativamente ($P \leq 0,05$) a medida que se aumentó la dosis de N (Cuadro 2). Este incremento fue de 3,8 t MS ha^{-1} al pasar de 150 a 300 kg de N ha^{-1} aplicado, y sólo 2,0 t MS ha^{-1} al aumentar de 300 a 450 kg de N ha^{-1}. La interacción dosis de N por población fue estadísticamente significativa ($P \leq 0,05$) (Cuadro 2, Figura 1). Estos resultados concuerdan con lo señalado por Carlonne y Russel (1987), quienes observaron un aumento en la producción de forraje de maíz a medida que se aumentaba 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}.

En relación a la densidad de plantas, Soto (1996) señaló que la respuesta del maíz a la aplicación de fertilizantes nitrogenados depende de la población. En poblaciones bajas no hay respuesta, en cambio, hay un aumento creciente del rendimiento con aplicaciones de N en poblaciones que superen las 70.000 plantas ha^{-1}, lo que concuerda con los resultados de este estudio.

El incremento en la densidad de plantas tuvo un efecto significativo ($P \leq 0,05$) sobre la producción de forraje. Es así como la producción de la población con 130.000 plantas ha^{-1} fue superior a las densidades menores (70.000 y 90.000 plantas ha^{-1}) (Cuadro 2, Figura 1), lo que concuerda con lo señalado por Karlen *et al.* (1985) y Jahn y Soto (1993). Al evaluar seis híbridos comerciales de maíz con distintas densidades de plantas, Graybill *et al.* (1991) obtuvieron una respuesta positiva con altas densidades de plantas, alcanzando un máximo de producción de MS con 80.000 plantas ha^{-1}. Al respecto, Graybill *et al.* (1991) y Tollenaar *et al.* (1994) señalaron que la respuesta de producción de forraje del maíz de acuerdo a la densidad de plantas es asintótica, pero la respuesta a la producción de grano es parabólica; es decir, la producción de MS del maíz aumenta cuando se aumenta la densidad, hasta alcanzar un óptimo, mientras que la producción de grano disminuye cuando se aumenta demasiado la densidad de plantas. Sin embargo, esto no se puede generalizar, dado que la respuesta para distintas densidades de plantas y niveles de N varía de acuerdo al tipo de híbrido que se esté utilizando, dependiendo además de factores climáticos y/o edáficos (Carlonne y Russel, 1987; Tollenaar *et al.*, 1994).

Valor nutritivo

No se observó un efecto significativo ($P > 0,05$) sobre el contenido de energía metabolizable (EM) para las distintas densidades de plantas ni para los niveles de fertilización nitrogenada (Cuadro 3), presentando un promedio de 2,4 Mcal, en todos los tratamientos, lo que concuerda con los valores señalados por Ruiz (1993) para maíz de ensilaje.

Cuadro 2. Producción de forraje (t MS ha^{-1}) en maíz para ensilaje con diferentes poblaciones y dosis de nitrógeno

Table 2. Forage production (t DM ha^{-1}) of corn for silage with different plant densities and nitrogen fertilization rates

Población (plantas ha^{-1})	Nitrógeno (kg ha^{-1})			Media
	150	300	450	
70.000	24,2	26,5	28,8	26,5 c*
90.000	23,6	26,9	30,3	26,9 cb
110.000	25,7	28,9	31,4	28,6 ab
130.000	25,5	31,8	31,4	29,6 a
Promedio	24,7 c	28,5 b	30,5 a	

*Valores con igual letra en filas o columnas no presentan diferencias significativas entre si ($P \leq 0,05$).

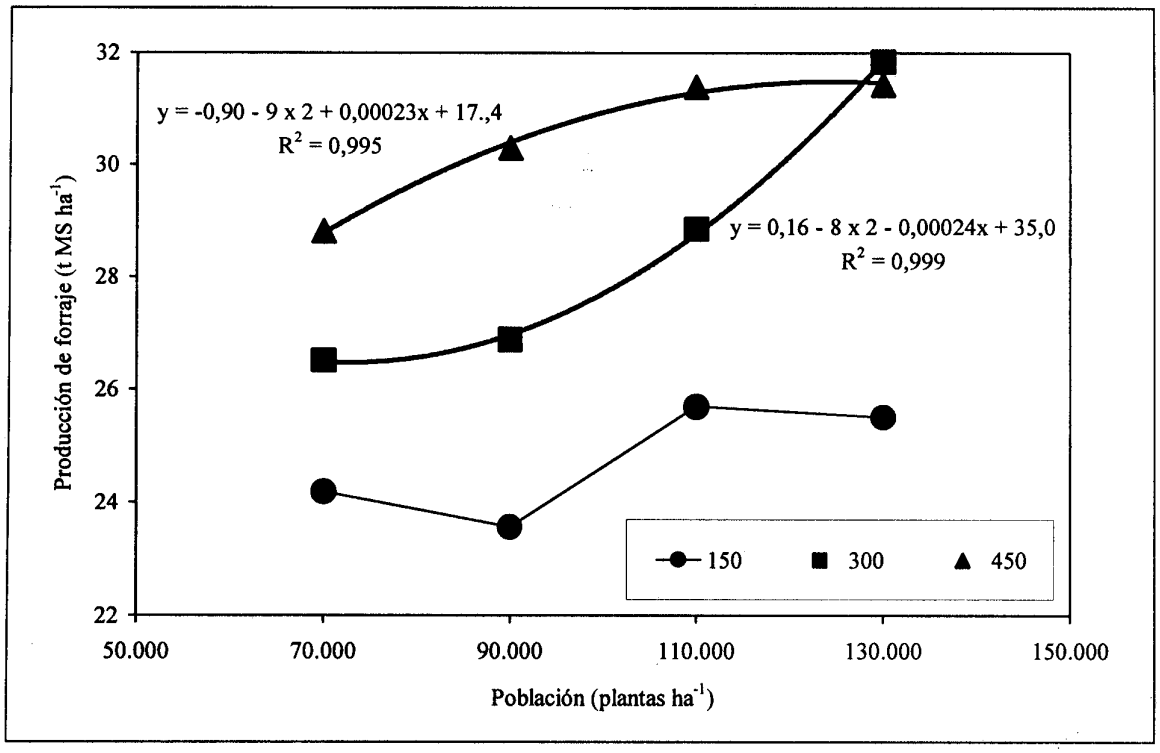

Figura 1. Ecuaciones de regresión entre producción de forraje y población para cada dosis de nitrógeno utilizada.
Figure 1. Regression equations between forage production and plant densities for each nitrogen level.

Cuadro 3. Contenido y producción de energía metabolizable (Mcal ha^{-1}) en maíz para ensilaje con diferentes poblaciones y dosis de nitrógeno
Table 3. Content and production of metabolizable energy (Mcal ha^{-1}) of silage corn with different plant densities and nitrogen fertilization rates

Población (plantas ha^{-1})	Contenido de EM (Mcal kg^{-1})				Producción de EM (miles Mcal ha^{-1})			
	Niveles de N (kg ha^{-1})				Niveles de N (kg ha^{-1})			
	150	300	450	Media	150	300	450	Media
70.000	2,32	2,42	2,49	2,41 a*	56	64	72	64 b
90.000	2,45	2,46	2,50	2,47 a	58	66	76	66 ab
110.000	2,41	2,45	2,45	2,44 a	62	71	77	70 ab
130.000	2,44	2,48	2,40	2,44 a	62	79	75	72 a
Promedio	2,41 a	2,45 a	2,46 a		60 b	70 a	75 a	

*Valores con igual letra en filas o columnas no presentan diferencias significativas entre si ($P \leq 0,05$).

La producción de EM ha^{-1} resultante al ponderar la producción de forraje (kg MS ha^{-1}) y el contenido de EM señalados en el Cuadro 3, muestra que al aumentar la fertilización nitrogenada se produce un aumento significativo en la producción de EM, lo que es producto del aumento de la producción de MS. Así, al aumentar de 150 a 300 kg de N ha^{-1} se observó un aumento de 10.000 Mcal ha^{-1}, mientras que para el segundo intervalo de 300 a 450 kg de N ha^{-1}, el incremento fue sólo de 5.000 Mcal ha^{-1}. Con respecto a la densidad de población, se observaron diferencias significativas en producción de EM ha^{-1} al aumentar de 70.000 a 130.000 plantas ha^{-1} (Cuadro 3). La producción de EM ha^{-1} aumenta a medida que se incrementa el nivel de nitrógeno y la población (Figura 2), tendiendo a estabilizarse con una población de 110.000 plantas ha^{-1} para las dosis de 150 y 450 kg N ha^{-1}.

Por otra parte, el aumento de la fertilización nitrogenada provocó un aumento significativo en el contenido de proteína del forraje en todas las poblaciones evaluadas. Cabe destacar que en general, los valores de proteína del forraje son bajos. El aumento de la densidad de plantas no presentó un efecto significativo ($P > 0,05$) sobre la producción de proteína ha^{-1} (Cuadro 4). La interacción población por dosis de N no fue significativa y las curvas de respuesta se indican en la Figura 3.

El contenido de proteína aumentó entre un 1,4 y 0,8% para los intervalos comprendidos entre 150 a 300 y 300 a 450 kg de N ha^{-1}, respectivamente. Al respecto, Karlen *et al.* (1985) encontraron que fertilizaciones nitrogenadas entre los 150 y 300 kg de N ha^{-1} tienen un efecto positivo sobre la producción de proteína en maíz, mientras que niveles superiores a 450 kg de N ha^{-1} no producen un aumento en la producción de proteína.

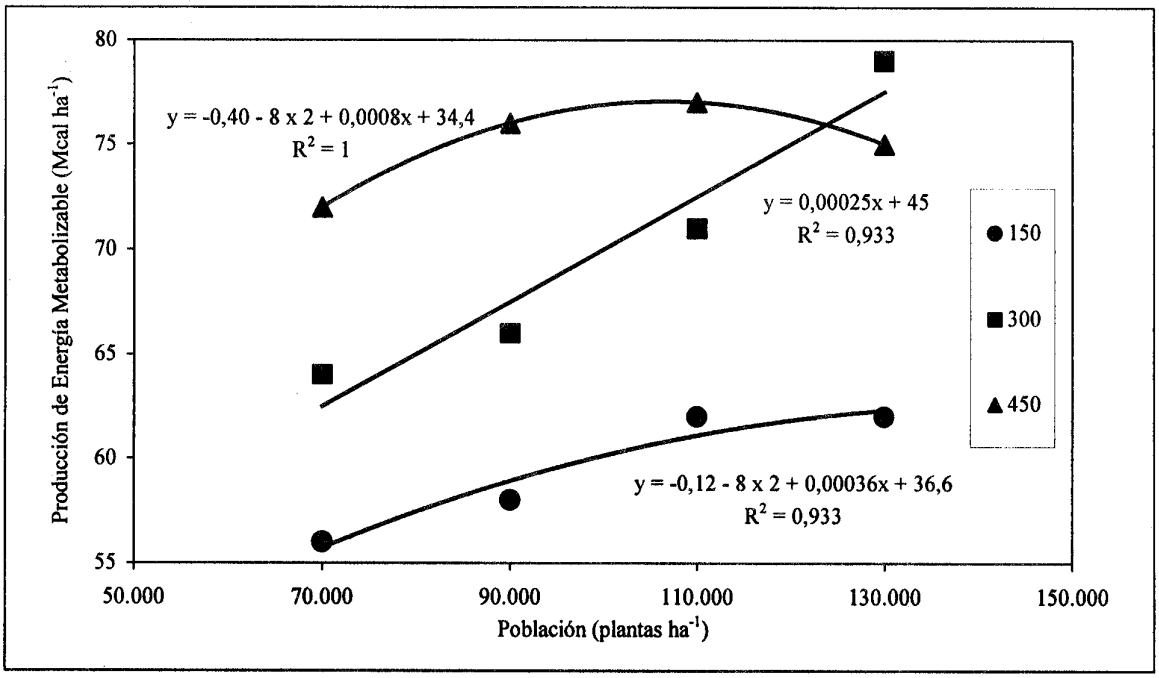

Figura 2. Ecuaciones de regresión entre producción de energía metabolizable y población para cada dosis de nitrógeno utilizada.

Figure 2. Regression equations between metabolizable energy production and plant densities for each nitrogen usage rate.

Cuadro 4. Contenido (%) y producción de proteína (kg ha^{-1}) en maíz para ensilaje con diferentes poblaciones y dosis de nitrógeno

Table 4. Content (%) and protein production (kg ha^{-1}) of corn for silage with different plant densities and nitrogen fertilization rates

Población (plantas ha^{-1})	Contenido de Proteína (%)				Producción de Proteína (kg ha^{-1})			
	Niveles de N (kg ha^{-1})				Niveles de N (kg ha^{-1})			
	150	300	450	Media	150	300	450	Media
70.000	3,4	5,1	5,9	4,8 a*	825	1.349	1.709	1.294 a
90.000	3,8	5,0	5,8	4,9 a	895	1.356	1.762	1.338 a
110.000	3,5	4,9	5,6	4,6 a	911	1.406	1.745	1.354 a
130.000	3,5	4,7	5,3	4,5 a	891	1.475	1.673	1.346 a
Promedio	3,5 c	4,9 b	5,7 a		880 c	1.396 b	1.722 a	

*Valores con igual letra en filas o columnas no presentan diferencias significativas entre si ($P \leq 0,05$).

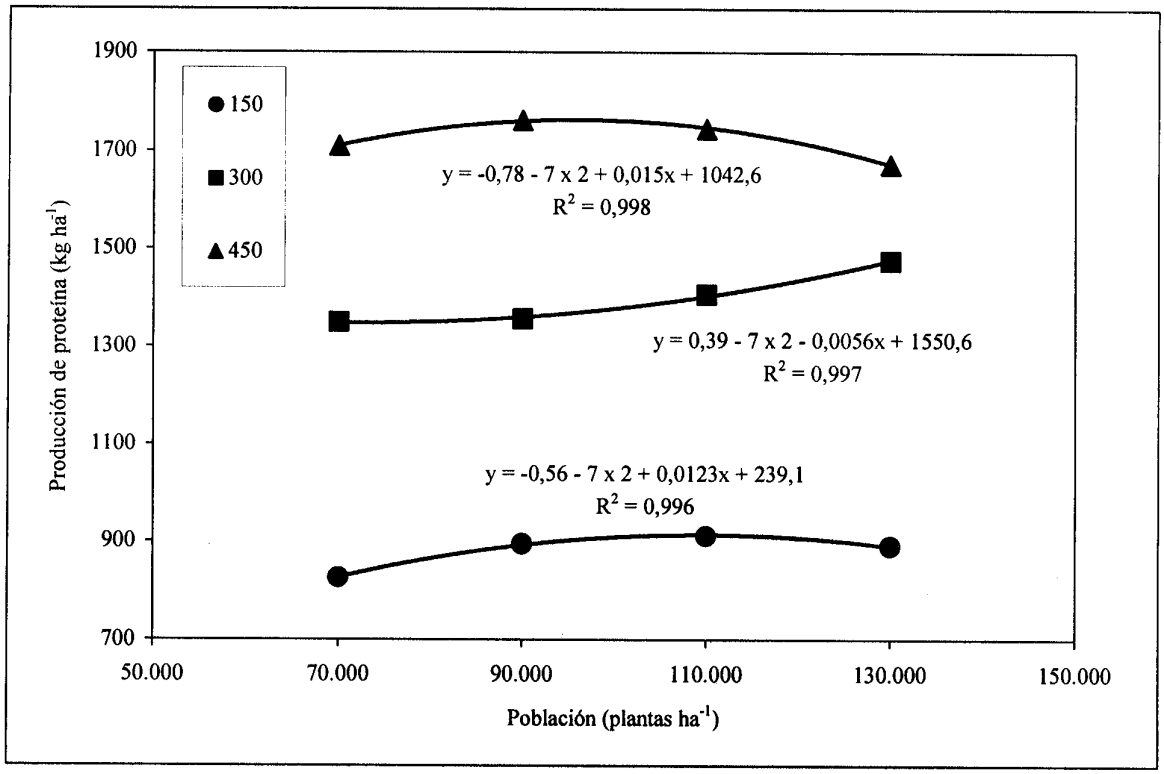

Figura 3. Ecuaciones de regresión entre producción de proteína y población para cada dosis de nitrógeno utilizada.

Figure 3. Regression equations between protein production and plant densities for each nitrogen usage rate.

Porcentaje de hojas secas y producción de mazorcas

El porcentaje de hojas secas, evaluados a través de notas, disminuyeron con el aumento del nivel de N siendo un 44; 34; y 28% para los tratamientos con 150, 300 y 450 kg N ha^{-1}, respectivamente, sin embargo, este porcentaje fue de 25 para la población de 70.000 plantas y 30% para 130.000 plantas con una fertilización de 450 kg N ha^{-1} De acuerdo a los resultados obtenidos, podemos señalar que existe una interrelación 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.

Por otra parte, la densidad de plantas no mostró tener un efecto sobre el porcentaje de hojas secas con valores de 34, 36, 36 y 36% para las densidades de 70, 90, 110 y 130 mil plantas, respectivamente. Sin embargo, este porcentaje fue de 25 para la población de 70.000 plantas y 30% para 130.000 plantas con una fertilización de 450 kg N ha^{-1}.

La producción de mazorcas no se vio afectada por la dosis de N, sin embargo, se observó un incremento en el número de mazorcas al aumentar los niveles de población con valores de 88, 108, 132 y 137 mil mazorcas ha^{-1}, para las poblaciones de 70, 90, 110 y 130 mil plantas ha^{-1}, respectivamente.

Los resultados obtenidos son contradictorios con los señalados por la bibliografía, en el sentido que si el mayor porcentaje de proteína del maíz se encuentra en la mazorca (Jokela y Randall, 1989), se puede pensar que al aumentar el número de mazorcas con el incremento de la población, aumentaría la producción de proteína total por hectárea, lo cual no ocurrió. Sin embargo, concuerda con lo señalado por Elizalde (1990), quien señaló que al aumentar la población se aumenta el número de mazorcas, pero éstas son de menor tamaño, lo cual produciría una merma en la producción de forraje y por ende en la producción de proteína.

Eficiencia en el uso del nitrógeno y pérdida del nitrógeno aplicado

Los valores de residuo de N mineral luego de realizada la cosecha a 20 cm de profundidad, fueron de 17, 28 y 32 kg ha^{-1}, para la fertilización de 150, 300 y 450 kg N ha^{-1}.

Los niveles más altos de N presentaron una menor eficiencia en el uso de este elemento, y por el contrario menores aplicaciones presentaron una mayor eficiencia en el uso de dicho elemento (Cuadro 5). Para la densidad de plantas no se observaron variaciones que pudiesen determinar alguna relación entre este factor y la eficiencia en el uso del N.

Una explicación de los valores obtenidos es que si la eficiencia de recuperación del N alcanza el 60% (Rodríguez y Silva, 1982), y según la ley del mínimo, efectivamente la menor dosis (150 kg N ha^{-1}) otorga la mayor eficiencia, puesto que la relación N aportado y el cosechado es menor a la dosis mayor (450 kg N ha^{-1}).

Los resultados de pérdidas de N nos muestran que existen grandes diferencias entre la dosis menor (150 kg de N) y la dosis mayor (450 kg de N), las que variaron en promedio entre 9,1 y 174,2 kg de N perdido por hectárea, respectivamente, lo cual es notablemente alto. Al relacionar esta diferencia con los valores obtenidos en el uso de este elemento por parte de la planta, podemos señalar que a mayores dosis de N se observa un menor aprovechamiento de éste y por consiguiente mayores pérdidas, a pesar de observar un aumento en el contenido de proteína de la planta.

Cuadro 5. Eficiencia de uso del nitrógeno (%) y pérdida de nitrógeno (kg N ha^{-1}) en maíz para ensilaje con diferentes poblaciones y dosis de nitrógeno

Table 5. Efficiency of nitrogen use (%) and nitrogen losses (kg N ha^{-1}) of silage corn with different plant densities and nitrogen fertilization rates

Población (plantas ha^{-1})	Eficiencia uso del N (%)				Pérdida de N (kg ha^{-1})			
	Niveles de N (kg ha^{-1})				Niveles de N (kg ha^{-1})			
	150	300	450	Media	150	300	450	Media
70.000	88	72	61	74	18,0	84,1	176,4	92,8
90.000	95	72	63	77	6,8	83,0	167,7	85,8
110.000	97	75	62	78	4,2	75,1	170,6	83,3
130.000	95	79	59	78	7,4	63,8	182,2	84,5
Promedio	94	75	61		9,1	76,5	174,2	

Costos de producción

En los costos de producción de ensilaje de maíz, el ítem de mayor relevancia corresponde a la preparación del ensilaje, seguido por la fertilización nitrogenada (Velasco *et al.*, 1996).

Los costos de producción de forraje por kilogramo de MS, no presentaron ninguna variación en ambos factores estudiados (fertilización y población) (Cuadro 6). Si bien la producción de MS por hectárea tiende a aumentar, para ambos factores, el costo de dicha producción también aumenta. Este aumento es proporcional al incremento en la producción para ambos factores estudiados, obteniéndose un costo promedio de $ 17 por kg de MS.

Los costos de producción de proteína presentaron una clara variación, ya que a medida que aumentó la fertilización nitrogenada éstos disminuyeron en promedio 70,6% para el rango de 150 a 300 kg de N ha^{-1} y 89,5% para el segundo rango de fertilización aplicado (300 a 450 kg de N ha^{-1}) (Cuadro 7). Por otro lado, el aumento de la población de plantas no presentó variaciones en los costos de producción de proteína, obteniéndose un precio promedio de $ 354 a $ 367 por kg de proteína.

Cuadro 6. Costo de producción de forraje base MS ($ kg^{-1}) y costo por hectárea (miles de $ ha^{-1}) en maíz para ensilaje con diferentes poblaciones y dosis de nitrógeno

Table 6. Forage production cost on a DM basis ($ kg^{-1}) and cost per hectare (thousand $ ha^{-1}) of silage corn with different plant densities and nitrogen fertilization rates

Población (plantas ha^{-1})	Costo de producción de forraje base MS ($ kg^{-1})				Costo por hectárea (miles de $ ha^{-1})			
	Niveles de N (kg ha^{-1})				Niveles de N (kg ha^{-1})			
	150	300	450	Media	150	300	450	Media
70.000	17	17	18	17	412	462	513	462
90.000	18	18	17	18	422	473	524	473
110.000	17	17	17	17	433	483	534	483
130.000	17	16	17	17	443	494	545	494
Promedio	17	17	17		427	478	529	

Cuadro 7. Costo de producción de proteína ($ kg^{-1}) en maíz para ensilaje con diferentes poblaciones y dosis de nitrógeno
Table 7. Cost of protein production ($ kg^{-1}) of silage corn with different plant densities and nitrogen fertilization rates

Población (plantas ha^{-1})	Nitrógeno (kg ha^{-1})			Media
	150	300	450	
70.000	499	343	301	358
90.000	472	349	297	354
110.000	475	344	306	357
130.000	498	335	326	367
Promedio	486	343	307	

El factor que influye mayoritariamente en la producción de proteína es la fertilización nitrogenada, dado que aumenta el costo de producción por hectárea, pero disminuye el costo de la proteína. En el Cuadro 8 se presenta la relación costo beneficio para los promedios obtenidos en los costos por hectárea y la producción de proteína respecto a la fertilización nitrogenada; se aprecia que esta relación, reflejada en el costo de proteína, disminuye a medida que se aumenta la fertilización con N, lo cual se traduce en un menor precio por kilogramo de proteína producida.

Cuadro 8. Relación costo/beneficio en el aumento de la fertilización nitrogenada en maíz para ensilaje con diferentes poblaciones y dosis de nitrógeno
Table 8. Cost/benefit relation with increased nitrogen fertilization of silage corn with different plant densities and nitrogen fertilization rates

Item	Niveles de Nitrógeno (kg ha^{-1})		
	150	300	450
Costo, $ ha^{-1}	427.789	478.488	529.340
Producción de proteína, kg ha^{-1}	880	1.396	1.722
Costo por kg de proteína	486	343	307

CONCLUSIONES

El incremento de los niveles de fertilización nitrogenada en maíz (150, 300 y 450 kg de N ha^{-1}), aumenta la producción de materia seca y el contenido proteico, y como consecuencia la producción de proteína por hectárea.

La concentración energética no se ve alterada en forma significativa por ninguno de los factores estudiados, sin embargo, su producción es significativamente favorecida por la fertilización nitrogenada.

El porcentaje de hojas secas a la cosecha disminuyó a medida que se aumenta el nivel de fertilización.

La eficiencia del uso del nitrógeno disminuye a medida que son aumentadas las dosis de N aplicadas, mientras que las pérdidas de nitrógeno presentaron el efecto contrario.

Los costos de producción de materia seca no varían, pero los costos de producción de proteína disminuyen al incrementar los niveles de fertilización nitrogenada obteniéndose una relación costo/beneficio cada vez menor.

LITERATURA CITADA

A.O.A.C. 1970. Official methods of analysis. 1015 p. 11th ed. Association of Official Analytical Chemist. Washington D.C., USA.

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.

Carlonne, 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-CORFO. 1994. Descripciones de suelos, materiales y suelos. p. 29-36. Estudio agroecológico precordillera VIII Región. Centro de Información de Recursos Naturales. Corporación de Fomento de la Producción. Santiago, Chile.

Elizalde, H. 1990. Cosecha y confección del ensilaje de maíz. Serie Remehue N° 12 p. 51-57. *In* Seminario de producción y utilización de ensilaje de maíz en la Región de Los Lagos. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Remehue, Osorno, Chile.

Graybill, J.S., W.J. Cox, and D.J. Otis. 1991. Yield and quality of forage maize as influenced by hybrid, planting date, and plant density. Agron. J. 83:559-564.

Jahn, E., y P. Soto. 1993. Cultivo de maíz para ensilaje. Revista Agro Económico N° 16 p. 17-22.

Jokela, W.E., and G.W. Randall. 1989. Corn yield and residual soil nitrate as affected by time and rate of nitrogen application. Agron. J. 81:720-726.

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.

Lagos, C. 1981. Cultivo del maíz: variedades, época de siembra, población y plagas. p. 1-22. *In* Seminario de producción lechera, alimentación de vacas lecheras y cultivos del maíz para ensilaje. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Quilamapu, Chillán, Chile.

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.

Rodríguez, J., y H. Silva. 1982. Fertilización del maíz. El Campesino. Octubre p. 18-22.

Ruiz, I. 1993. Características nutritivas de hojas verdes y secas de maíz destinado a ensilaje. Agricultura Técnica (Chile) 53:356-358.

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.

Tollenaar, M., A.A. Dibo, A. Aguilera, S.F. Weose, and C.J. Swanton. 1994. Effect of crop density on weed interference in maize. Agron. J. 86: 591-595.

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.

Velasco, R., J. González, y J.C. Cruz. 1996. Costos de producción de cultivos VII y VIII Región. Boletín N° 71 p. 161-164. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile.