

FACTORES DE SUELO Y PLANTA PARA DETERMINAR LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN MAÍZ DULCE EN LA ZONA CENTRAL DE CHILE

SOIL AND PLANT FACTORS FOR DETERMINE THE NITROGEN FERTILIZATION ON SWEET CORN IN THE CENTRAL ZONE OF CHILE

José Domingo Opazo A.¹; Alfredo Luchsinger L.¹; Orlando Neira V.¹

RESUMEN

Es muy importante desarrollar metodologías adecuadas que permitan realizar un uso óptimo de los fertilizantes, lo cual significa aplicar dosis óptimas, pero no excesivas, para tener una máxima producción, sin riesgo de contaminación. Una de éstas se fundamenta en el procedimiento de Stanford (1973), desarrollado posteriormente en Chile como modelo demanda-suministro. Los objetivos de este estudio fueron determinar los parámetros para la aplicación del modelo, estos son concentración del N en los diferentes tejidos de la planta, calcular los requerimientos internos de nitrógeno (RIN) en dos cultivares de maíz dulce (*Zea mays* L. var. *saccharata* Körn.) y se calcularon las demandas de N para los rendimientos máximos. Los valores de RIN fueron de 1,69 y 1,94% y las demandas de N considerando mazorcas con chalas fueron 223 y 165 kg N ha⁻¹ para los cv. Jubilee y cv. Rodeo, respectivamente. A partir de los tratamientos: dosis 0 y 240 kg N ha⁻¹ se estimó la eficiencia del N fertilizante (55%) y el suministro del suelo (80 kg de N ha⁻¹). La dosis de 240 kg N ha⁻¹ para estas condiciones experimentales fue la óptima para la producción de maíz dulce.

Palabras clave: Nitrógeno en maíz dulce, dosis fertilización nitrogenada, modelos para fertilización.

ABSTRACT

*It is very important developing adequate methodologies for achieving optimum fertilizer use, involving optimal but not excessive rates so as to have a maximum production without risk of polluting the agricultural systems. One of them is based on the Stanford (1973) procedure, subsequently developed in Chile as the demand-supply model. The objective of this was to study the parameters for application of the model, based on: N concentration in different plant tissues, estimation of internal nitrogen requirements (INR) in two cultivars of sweet corn (*Zea mays* L. var. *saccharata* Körn) and nitrogen demand. The value of INR were 1.69 and 1.65% and N demands considering ears with husks were 223 kg N ha⁻¹ and 165 kg N ha⁻¹ in cv. Jubilee and cv. Rodeo, respectively. For treatments: 0 and 240 kg N ha⁻¹, the efficiency of N fertilizers (55%) and N supply of the soil were calculated (80 kg N ha⁻¹). Rate 240 kg N ha⁻¹ was the optimal for sweet corn production under these experimental conditions.*

Key words: Nitrogen in sweet corn, nitrogen fertilization rates, fertilization models

INTRODUCCIÓN

Las dosis recomendadas de fertilización de los cultivos tienen principalmente su origen en ensayos de campo en los cuales se aplica el método científico. Las dosis referenciales recomendadas para una zona agroecológica no pueden ser extrapoladas con exactitud, no obstante que estas dosis incluyan la

experiencia de los especialistas y de los agricultores. Gardner *et al.* (2000) señalan que las recomendaciones del Servicio de Extensión Agrícola en el Estado de Oregon, EE.UU., están basadas fundamentalmente en los resultados de experimentos y en observaciones de los agricultores en sus campos.

La investigación en fertilización de cultivos tiene una dinámica de cambios por diferentes

¹ Universidad de Chile, Campus Antumapu, Facultad de Ciencias Agronómicas, Escuela de Agronomía, Depto. de Producción Agrícola, Santa Rosa 11315, Santiago. E-mail: fitotec@uchile.cl

causas, como son: el mejoramiento genético, nuevas técnicas de riego, siembra más eficiente y otros, todos los cuales buscan alcanzar niveles altos de productividad.

La fertilización nitrogenada es fundamental en los rendimientos de las poáceas, considerándose, además, la relación costo-beneficio y los problemas ambientales que implica contaminar las aguas con nitratos. Para cumplir con lo anterior mediante la utilización de la experimentación tradicional se requeriría de investigación que implica mucho tiempo y altísimos recursos económicos, difíciles de financiar. Por tanto, la aplicación de modelos nos permitiría calcular las dosis para diferentes condiciones agroecológicas dentro de un rango de variación. Lo anterior ha sido estudiado en Chile y publicado por Rodríguez *et al.* (2001). Sin embargo, esta información se debe ajustar o redefinir en el tiempo de acuerdo a los cambios tecnológicos y potenciales productivos de los nuevos cultivares. En ningún caso estos modelos invalidan la importancia de la experimentación de campo.

MODELO DEMANDA-SUMINISTRO

Probablemente la variable más relevante en el modelo propuesto es el requerimiento interno de nitrógeno (RIN), variable desarrollada en la década del sesenta según lo señalado por Stanford y Hunter (1973), quienes indican que uno de los primeros estudios fue en maíz (*Zea mays* L.) para grano, encontrándose que la absorción de N por unidad de materia seca (grano y caña) asociado con el rendimiento máximo fue esencialmente constante (1,2%) para un amplio rango de variedades y condiciones de cultivo.

Los fundamentos del modelo, denominado en Chile como modelo racional o modelo demanda-suministro, se basaron en las investigaciones de Greenwood (1978) y Stanford y Hunter (1973).

Stanford (1982) señala que el enfoque para estimar las necesidades de N de los cultivos puede ser descrita de la siguiente forma:

$$N_c = N_i + N_m + N_f$$

donde, N_c es la absorción de N asociada con un rendimiento máximo esperado; N_i corresponde al N mineral inicial en el perfil de suelo, N_m mineralizado

durante la estación de cultivo y N_f corresponde a la dosis de N aplicada como fertilizante.

El modelo demanda-suministro fue aplicado en la zona central de Chile por Prado y Rodríguez (1978) en trigo. Posteriormente, Matus y Rodríguez (1989) presentaron una forma operacional para aplicar el modelo, que determina la dosis a partir de la ecuación:

$$N_f = \frac{[\text{Demanda } (N_c) - \text{Suministro } (e_i N_i + e_m N_m)]}{\text{Eficiencia}}$$

MAÍZ DULCE

El maíz dulce (*Zea mays* L. var. *saccharata* Körn.) comenzó a cultivarse comercialmente en Chile a fines de la década del sesenta y adquiere importancia unos diez años después, por tanto su información de fertilización es muy escasa en el país. Faiguenbaum (2003), señala que no hay investigaciones en el país que respalden algún tipo de recomendación de la dosis de N en maíz dulce.

El presente estudio tuvo como principal objetivo determinar la respuesta al nitrógeno en el maíz dulce, las variables para la aplicación del modelo demanda-suministro en el cultivo de maíz dulce para el cálculo de las dosis de nitrógeno y la producción comercial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se realizaron en la comuna de Rancagua, VI Región (34°12' lat. S. y 71°50' long. O.). El suelo corresponde a la Serie Rancagua, según CIREN, se describe como un suelo de origen aluvial, ubicado en las terrazas del río Cachapoal, profundo, de topografía plana, textura superficial franco arcillo limosa y bien drenado. Su clasificación taxonómica corresponde a un Mollisol.

En una muestra compuesta de suelo de 0-20 cm de profundidad se determinaron: pH en una relación suelo: agua de 1:2,5, materia orgánica por el método de Walkley-Black, conductividad eléctrica en la pasta de saturación, nitrógeno inorgánico por el método Bremner y Keeney, fósforo disponible por el método de Olsen y el potasio disponible por el método del acetato de amonio 1 M pH 7,0 (Sadzawka (1990). El historial de manejo correspondía a una pradera degradada utilizada con pastoreo directo.

Los cultivares sembrados fueron Jubilee y Rodeo, en ensayos independientes. El cv. Jubilee es semitardío y se destina principalmente a la industria del producto congelado. El cv. Rodeo corresponde a un híbrido precoz y se utiliza comúnmente para consumo fresco; tiene un ciclo de sólo 65 días.

El nitrógeno se aplicó como urea (45-0-0) y se complementó con una fertilización básica de fósforo y potasio usando superfosfato triple (0-46-0) y sulfato de potasio (0-0-50), respectivamente. La siembra se realizó el 23 de noviembre de 1993 usando bastón sembrador, la distancia entre hilera fue de 70 cm (cuatro hileras por unidad experimental), estableciendo una población efectiva de 6 y 7 plantas por m², mediante raleo, para los cv. Jubilee y cv. Rodeo, respectivamente. El tamaño de cada unidad experimental (parcela) fue de 2,8 x 3,0 m.

Las prácticas culturales fueron las normales señaladas por la empresa procesadora de la zona. Se regó por surcos cada parcela separadamente, para evitar un probable escurrimiento superficial de nutrientes, para lo cual se diseñó un sistema de conducción del agua a cada parcela, mediante surcos perpendiculares de salida después de regar la parcela.

Las dosis de nitrógeno fueron 0; 60; 120; 180 y 240 kg N ha⁻¹; la fertilización básica fue de 120 y 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y K₂O, como superfosfato triple y sulfato de potasio, respectivamente. La dosis de N total se parcializó en dos aplicaciones, la primera en la siembra y la segunda en el estado de 8 a 10 hojas. Los fertilizantes se localizaron en una banda a una distancia de 7 cm de la hilera de siembra. La población de plantas se evaluó mediante recuento.

La cosecha se realizó cuando los granos alcanzaron un 73 a 75% de humedad y el rendimiento se determinó como: número de mazorcas, peso de mazorcas con chalas, peso de mazorcas sin chalas y peso de grano. Se consideró como mazorca comercial aquella de buen aspecto, sin problemas de polinización, sin daño de insectos y un peso de 150 g para el cv. Jubilee y 130 g para el cv. Rodeo, lo cual permitió obtener el número de mazorcas comerciales. Las mediciones se hicieron en 20 plantas de las hileras centrales de cada parcela.

La materia seca de los componentes de la parte aérea se determinó en el tratamiento testigo y en el tratamiento en que se obtuvo el rendimiento máximo, que fue el de 240 kg de N ha⁻¹. Se separaron chalas,

hojas, tallos, corontas y granos, la temperatura de secado fue de 65 °C por 48 horas, para esto se usó una estufa con ventilación forzada. En la materia seca total no se incluyeron raíces.

Se obtuvo el contenido de humedad para cada componente, el índice de cosecha, que corresponde a la materia seca (MS) del producto cosechado respecto de la materia seca total (MST) y se analizó el contenido de N por el método de Kjeldahl en el Laboratorio de Análisis Foliar, Departamento de Producción Agrícola, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Se calculó el N para cada componente de la biomasa aérea y se determinó el requerimiento interno de N para la materia seca total (MST) y se determinó la demanda de nitrógeno, según lo señalado por Rodríguez (1993).

El diseño fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, se realizó ANDEVA y la prueba de rango múltiple de Duncan ($P \leq 0,05$) para separación de medias, sugerido por los estadísticos de la Facultad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

POTENCIAL PRODUCTIVO EN MAÍZ DULCE

Los rendimientos más altos se obtuvieron con la dosis mayor de N aplicada en ambos cultivares como se señala en Luchsinger *et al.* (1999), lo que indica la alta respuesta del maíz dulce al nitrógeno, particularmente bajo las condiciones climáticas óptimas que presenta Chile, particularmente una alta radiación. El rendimiento para grano fue más alto en el cv. Jubilee 13,34 t ha⁻¹, lo cual se explica por ser éste un cultivar semitardío y de uso en la industria y el cv. Rodeo más precoz tuvo un rendimiento de 6,34 t ha⁻¹, prácticamente la mitad. Los rendimientos son coincidentes con los obtenidos para el cv. Jubilee por Sáinz (1991).

ANÁLISIS DE SUELO

Los resultados del análisis de suelo permiten confirmar que se trata de un suelo de reacción ligeramente ácida, con alto contenido de materia orgánica y no salino. Las disponibilidades de fósforo y potasio son altas y nitrógeno inorgánico muy bajo (Cuadro 1). Este último valor es coincidente con la alta respuesta a la aplicación de N.

Cuadro 1

Resultados de los análisis de suelo en la muestra previa a los ensayos.

Propiedad	
pH en agua relación 1:2,5	6,3
Materia orgánica, %	5,0
Conductividad eléctrica, dS m ⁻¹	0,48
N inorgánico, mg kg ⁻¹	8
P disponible, mg kg ⁻¹	25
K disponible, mg kg ⁻¹	235

En el Estado de Oregón, EE.UU., para la fertilización de maíz dulce se utiliza el análisis de N-NO₃ (nitratos) en una muestra de suelo y se relaciona con el cultivo anterior, siendo las dosis máximas recomendadas entre 200 a 250 kg de N ha⁻¹ (Gardner *et al.*, 2000), muy similares a las del presente estudio.

VARIABLES DEL MODELO

En el presente estudio se determinaron las variables del modelo que permiten calcular la demanda para el rendimiento alcanzable en un determinado agroecosistema.

ÍNDICE DE COSECHA

El maíz dulce puede ser destinado para consumo fresco en el mercado interno o congelado para exportación o mercado interno, para lo cual se calcularon los índices de cosecha (IC) para las diferentes formas de comercialización, mazorca con chalas o grano (Cuadro 2). Los valores que consideran sólo MS de grano lógicamente son más bajos.

HUMEDAD

La humedad del grano en el estado para cosecha fue de 74% y de la mazorca más chala de 70%, lo que también se refiere a choclo.

CONCENTRACIÓN DE N EN LOS TEJIDOS

En el cv. Jubilee las concentraciones de N fueron más altas en los granos y hojas en el tratamiento fertilizado (Cuadro 3). Esto implicaría que la hoja

Cuadro 2

Índices de cosecha (IC) para dos cultivares de maíz dulce considerando grano, mazorcas y mazorcas con chalas.

Cultivar	IC grano	IC mazorca	IC mazorca + chalas
Jubilee	0,36	0,56	0,70
Rodeo	0,24	0,49	0,75

Cuadro 3

Concentración de nitrógeno en los diferentes componentes de la planta en las dosis 0 y 240 kg de N ha⁻¹

Componente	Cultivar			
	Jubilee		Rodeo	
	Dosis ¹			
	0	240	0	240
	%			
Hoja	1,78	2,80	1,80	1,58
Tallo	0,81	0,94	1,79	1,26
Chala	1,21	1,81	1,01	1,66
Grano	1,99	2,06	2,75	2,95
Coronta	1,17	1,11	0,98	1,29

¹ kg N ha⁻¹. Según metodología se consideran las dosis 0 y la que tuvo el más alto rendimiento.

es un adecuado tejido índice para evaluar el N. No obstante, en el cv. Rodeo los granos tuvieron el valor más alto seguidos de chalas y hojas, lo cual indicaría que la hoja representa lo que finalmente se removiliza al grano que cumpliría la finalidad de un sink (almacenaje) de N. Los valores más bajos de N corresponden a los tallos, siendo el tejido más pobre de N en el caso de maíz dulce.

Mills y McElhannon (1982) estudiaron la absorción del N en el cv. Silver Queen determinando que el 60% del N se absorbe hasta el estado de bandera (emisión de la panoja) y el resto hasta la cosecha.

REQUERIMIENTO INTERNO DE N

El requerimiento interno de nitrógeno (RIN) corresponde a la concentración crítica mínima de N en la biomasa total considerando plantas con nutrición óptima, fertilizadas alcanzando el rendimiento máximo.

Para los rendimientos máximos, alcanzados con 240 kg de N ha⁻¹, el RIN fue de 1,69% y 1,94% para

los cv. Jubilee y cv. Rodeo, respectivamente. Los coeficientes de determinación (R^2) en las funciones cuadráticas fueron de $R^2 = 0,84$ y $R^2 = 0,97$, para los cv. Jubilee y Rodeo, respectivamente. La dosis indicada también coincide con el mayor número de mazorcas comerciales, ver Cuadros 4 y 5.

Cuadro 4
Rendimientos de maíz dulce cv. Jubilee
según la dosis de N

Dosis	Mazorca		Grano	N° Mazorcas comerciales
	Con chalas y pedicelos	Desnudas		
kg N ha ⁻¹	t*ha ⁻¹			
0	8,20 c	6,03 c	2,99 c	24.731 c
60	17,73 b	12,47 b	7,35 b	47.714 b
120	16,74 b	11,78 cb	7,21 b	48.660 b
180	19,31 b	14,29 b	9,40 b	46.940 b
240	29,75 a	20,63 a	13,34 a	71.138 a

Promedios con letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas.
 $P \leq 0,05$ según prueba de Duncan.

Cuadro 5
Rendimientos de maíz dulce cv. Rodeo
según la dosis de N

Dosis	Mazorca		Grano	N° Mazorcas comerciales
	Con chalas y pedicelos	Desnudas		
kg N ha ⁻¹	t*ha ⁻¹			
0	3,20 c ^{7/}	2,38 c	0,91 c	14.625 c
60	8,08 b	6,02 b	2,51cb	35.328 b
120	9,22 b	6,49 cb	2,60cb	38.808 b
180	12,47 b	8,89 b	4,27 b	50.443 b
240	17,86 a	12,33 a	6,34 a	63.191 a

Promedios con letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas.
 $P \leq 0,05$ según prueba de Duncan.

CÁLCULO DE LA DOSIS SEGÚN MODELO

La fórmula descrita en la introducción puede expresarse como:

$$\text{Dosis de N (kg de N ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Demanda} - \text{Suministro}}{\text{Eficiencia}}$$

DEMANDA DE NITRÓGENO

La demanda de N calculada considerando el rendimiento de mazorca más chalas de 30 t ha⁻¹ en el cv. Jubilee fue de 219 kg de N ha⁻¹ y para un rendimiento de 18 t ha⁻¹ en el cv. Rodeo fue de 137 kg de N ha⁻¹, que corresponderían a los rendimientos máximos obtenidos en los ensayos, ver Cuadros 4 y 5.

SUMINISTRO

Greenwood (1978) señala que la respuesta que se puede esperar a la aplicación de N varía mucho con respecto a la cantidad de N inorgánico presente en el subsuelo (100 cm) en primavera, la profundidad alcanzada por las raíces, el potencial de rendimiento y la tasa neta de mineralización del N. Lo anterior conforma en gran parte lo que se refiere a suministro de N.

Al respecto, para un suelo de origen aluvial, bien drenado del valle central Rodríguez (1993) señala un valor de 74 kg de N ha⁻¹, valor muy similar a lo estimado en este estudio. Luchsinger *et al.* (1999), trabajando en las mismas condiciones, considerando los resultados encontrados y despejando el suministro de la ecuación anterior, éste se estimó en 80 kg de N ha⁻¹.

Por otra parte, para el agrosistema cultivo anual, Matus y Rodríguez (1989) señalan un suministro de N promedio de la rotación de 45 kg N/ha, sin embargo, para pradera los mismos autores señalan valores mayores.

EFICIENCIA

La eficiencia calculada mediante los datos de campo fue de 55% para ambos ensayos, como se describe en Luchsinger *et al.* (1999), trabajando en las mismas condiciones.

DOSIS CALCULADAS

Aplicando el modelo se calculó para cv. Jubilee una dosis de 252 kg de N ha⁻¹ y para el cv. Rodeo 104

kg de N ha⁻¹. Rodríguez (1993) recomienda una dosis de 150 kg de N ha⁻¹ para maíz dulce sin considerar el cultivar, bajo condiciones de una disponibilidad baja de N, similar a la situación de disponibilidad de estos ensayos. La dosis menor calculada para un cultivar precoz como cv. Rodeo es lógica, ya que su potencial de rendimiento es menor. Sin embargo, en los experimentos de campo el cv. Rodeo incrementó su rendimiento en forma lineal hasta 240 kg de N ha⁻¹ (Figura 1). La explicación es la baja disponibilidad de N del suelo donde se establecieron los experimentos como se señaló anteriormente. Bianco (1990) señala un rango de dosis de N para maíz dulce entre 100 y 250 kg de N ha⁻¹, muy similar a lo encontrado en esta investigación entre cultivares precoces y semitardíos al aplicar el modelo.

En campos de producción se observa que en dosis más altas que las aplicadas en estos experimentos el tamaño de la mazorca disminuye. Se concluye que se requiere más investigación experimental de campo, no obstante el modelo indica dosis más altas de N. Según lo obtenido en rendimiento de MS de los cultivares, especialmente, habría que estudiar más las dosis en los cultivares precoces.

CONCLUSIONES

El maíz dulce tiene una muy alta respuesta a la aplicación de nitrógeno.

LITERATURA CITADA

- BIANCO, V. 1990.** Mais Dolce. p. 125-142. In: Bianco, V. y F. Pinini (ed.) *Orticultura*, Patron Editore. Bologna, Italia.
- FAIGUENBAUM, H. 2003.** Labranza, siembra y producción de los principales cultivos de Chile. p. 251-252. Impresora y Editora Ograma S.A., Santiago, Chile.
- GARDNER, E.H.; MANSOUR, N.S.; MACK, H. J.; JACKSON, T.L.; BURR J. 2000.** Sweet corn. Estern Oregon-east of Cascade. Fertilizer guide. 3 p. Oregon State University-.Extension Service, Corvallis, Oregon, USA.
- GREENWOOD, D.J. 1978.** A theoretical model for the decline in the protein content in plants during growth. *J. Agric. Sc.* 91: 461-466.
- LUCHSINGER, A.; OPAZO, J.D.; NEIRA, O. 1999.** Respuesta del maíz dulce a la fertilización nitrogenada. *Investigación Agrícola* 19: 9-18.
- MATUS, F. y RODRÍGUEZ, J. 1989.** Modelo simple para estimar el suministro de N en el suelo. *Ciencia e Investigación Agraria*. 16: 33-46.
- MILLS, H. and MCELHANNON, W. 1982.** Nitrogen uptake by sweet corn. *HortScience* 17: 743-744.

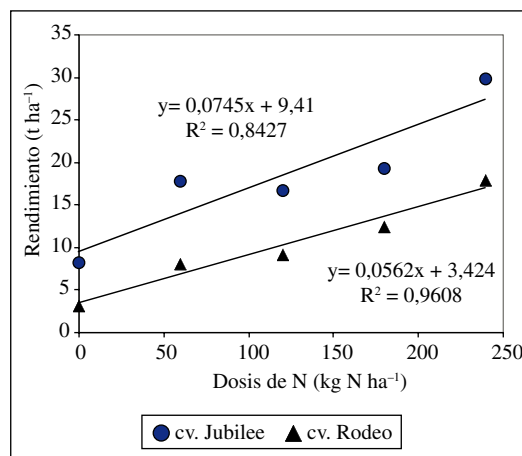


Figura 1. Rendimiento de mazorcas con chalas y dosis de nitrógeno en maíz dulce.

El modelo demanda-suministro es una muy buena metodología para determinar las dosis de nitrógeno en maíz dulce en condiciones similares a las del presente estudio.

Los valores de requerimiento interno de nitrógeno difieren muy poco entre cultivares.

La aplicación de dosis muy altas de nitrógeno, superiores a 260 kg de N ha⁻¹, calculada por el modelo, no implican en maíz dulce un número mayor de mazorcas comerciales. Sin embargo, se sugiere realizar mayor investigación asociada a una zonificación geográfica.

- PRADO, O. y RODRÍGUEZ, J. 1978.** Estimación de las necesidades de fertilización nitrogenada del trigo. *Cienc. e Inv. Agr.* 5: 29-40.

- RODRÍGUEZ, J. 1993.** La fertilización de los cultivos, un método racional. Colección en Agricultura, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile. 291 p.

- RODRÍGUEZ, J.; PINOCHET, D.; MATUS, F. 2001.** Fertilización de los cultivos. LOM Ediciones, Santiago, Chile. 117 p.

- SADZAWKA R., A. 1990.** Métodos de análisis de suelos. 130 p. Estación Experimental La Platina, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Serie La Platina N° 16, Santiago, Chile.

- SÁINZ, H.A. 1991.** Efecto del nitrógeno en el rendimiento y calidad del maíz dulce (*Zea mays* var. Saccharata) para congelado. Tesis Ing. Agr. Chillán, Chile. Universidad de Concepción, Facultad. de Ciencias Agronómicas, Veterinarias y Forestales. 78 p.

- STANFORD, G. and HUNTER, A.S. 1973.** Nitrogen requirements on winter wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties blueboy and redcoat. *Agronomy Journal* 65: 442: 447.

- STANFORD, G. 1982.** Assessment of soil nitrogen availability. pp. 651-688. In: F.J. Stevenson (ed.). Nitrogen in agricultural soils. ASA-CSSA-SSSA Publisher, Madison, Wisconsin, USA. 940 p.