

EVALUACIÓN DE FUENTES NITROGENADAS (^{15}N), EN TRES VARIEDADES DE TRIGO, EN UN ANDISOL Y UN ULTISOL DE LA IX REGIÓN. II. PARÁMETROS ISOTÓPICOS Y USO EFICIENTE DE LOS FERTILIZANTES¹

Evaluation of nitrogen sources (^{15}N) on three wheat varieties in an andisol and an ultisol in the IX Region. II. Isotopic parameters and fertilizer use efficiency

Inés Pino N.², Amelia Peyrelongue C.³ y Mirta Buneder B².

S U M M A R Y

A field study was carried out in order to evaluate different N fertilizers sources in three wheat varieties, considering an Andisol and an Ultisol soils, in the IX Region of the country.

The dilution isotopic techniques was used, with AS, 10% at. exc., at rates of 20 kg ha⁻¹ of N. The isotopic parameters such as N in the plant derived from the nitrogen sources, the N in the plant derived from the soil, the fertilizer use efficiencies and the agronomic evaluation between them were determined.

The Nddfu (%) was associated to the varieties and to the soils. In the Ultisol, Dalcahue variety had a better behaviour with SS and, in the Andisol, Laurel variety showed an special affinity with U. In the three varieties, the higher % of N derived from the sources it was in the grain, showing Dalcahue variety a better translocation. The fertilizer use efficiency (FUE) and the physiological efficiency, determined according the isotopic parameters, were higher than the values determined according the conventional methodology.

Key words: N-fertilizers, isotope dilution, wheat.

INTRODUCCIÓN

En un trabajo anterior (Peyrelongue, *et al.*, 1996), se observó, una diferencia en cuanto a la absorción de N para las diferentes fuentes nitrogenadas en cada variedad. Sin embargo, la metodología convencional no permite discriminar el N en la planta proveniente del fertilizante (Nddfu) respecto del N en la planta proveniente del suelo (Ndds). Para esto, es necesario utilizar la metodología isotópica, a objeto de cuantificar la incidencia de cada uno de ellos dentro de la absorción total de N que realiza cada variedad.

Cuando un suelo se fertiliza con un nutriente marcado isotópicamente, es posible distinguir entre las diferentes fuentes nitrogenadas y el suelo, que se encuentran presentes en la planta. Para medir la absorción de un nutriente, a partir de un fertilizante, es

posible marcar el fertilizante con el isótopo apropiado, lo cual es un método directo, sensible y cuantitativo.

Sin embargo, no siempre es posible marcar el nutriente del fertilizante en estudio. Por esta razón, para evaluar fuentes no marcadas, se utiliza una tercera fuente marcada (fertilizante estándar) que se agrega al sistema suelo-planta. El único supuesto, es que la fuente marcada no altere la relación entre el abastecimiento del nutriente de las otras fuentes.

Los fertilizantes nitrogenados son insumos caros que representan un porcentaje importante dentro de los costos de producción de trigo. Por esta razón, el objetivo de este estudio fue investigar el comportamiento de diferentes fuentes nitrogenadas en tres variedades de trigo, en un Andisol y en un Ultisol de la IX Región, y determinar su eficiencia a través del método de dilución isotópica (Zapata, 1990).

¹Recepción de originales: 2 de noviembre de 1995. Trabajo realizado con la Cooperación del Organismo Internacional de Energía Atómica. Proyecto CHI/5/014. Técnicas Nucleares en Agricultura.

²Comisión Chilena de Energía Nuclear, Casilla 188-D, Santiago, Chile.

³Centro Regional de Investigación Carillanca (INIA), Casilla 58-D, Temuco, Chile.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los análisis de suelo y del material vegetal, provenientes de los ensayos de terreno, se realizaron según metodología descrita por Peyrelongue *et al.*,

(1996). Se utilizó el método de dilución isotópica de ^{15}N , marcándose el suelo (Hardarson, 1990), con el fertilizante estándar sulfato de amonio, con 10% átomos exceso de ^{15}N , en una dosis de 20 kg ha^{-1} de N. El fertilizante marcado se aplicó en solución (ml m^{-2}), sobre el suelo previamente humedecido en cada una de las microparcelas.

El tamaño de las macroparcelas en el ensayo convencional fue de 10 m^2 y, el de las microparcelas fue de 1 m^2 para el ensayo con técnicas isotópicas (Fried, M. y Broeshart, H. 1975; Zapata, 1990).

Los análisis isotópicos de N se realizaron en un espectrómetro de masas, en los Laboratorios de Seibersdorf, del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Se determinó el porcentaje de N en la planta derivado de las fuentes no marcadas (%Nddf) y el porcentaje de N en la planta derivado del suelo (%Ndds).

La cantidad disponible de N del suelo (Zapata y Axmann, 1991) se calculó a partir de la siguiente ecuación:

$$\frac{\%Nddf}{\text{Dosis N}} = \frac{\%Ndds}{\text{Valor A}}$$

En consecuencia, se calculó el índice de disponibilidad de nitrógeno de las fuentes no marcadas (A_{fu}) considerando que:

$$\text{Valor } A_{fu} = (A_s + A_{fu}) - A_s$$

donde:

A_{fu} = índice de disponibilidad de nitrógeno de las fuentes no marcadas, expresado en kg kg^{-1} .

A_s = índice de disponibilidad de N del suelo expresado en unidades equivalentes del fertilizante estándar en kg kg^{-1} .

La evaluación agronómica (EA) de la efectividad de las fuentes nitrogenadas se determinó en base a los valores A_{fu} (Zapata y Axmann, 1991; Pino *et al.*, 1995; Zapata y Axmann, 1984; Hardarson *et al.*, 1984). El diseño estadístico fue de bloques completos al azar, con cuatro tratamientos (fuentes nitrogenadas) y cuatro repeticiones por cada tratamiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros isotópicos

Se observa que el porcentaje de Nddf, fluctuó entre un 52 y 61%, para la variedad Dalcahue (Cuadro 1) cultivada en un Ultisol de la macroárea I (Rouanet, 1989).

De manera similar, la variedad Perquenco, cultivada en la misma macroárea y en la misma serie de suelo, presenta un porcentaje de Nddf de 61% con SS (Cuadro 1); sin embargo, el porcentaje de N en la planta derivado de la fuente U es inferior al determinado para la misma fuente en la variedad Dalcahue. De esta manera, Perquenco estaría mostrando una mayor afinidad por el ion nitrato en relación al ion amonio. A diferencia de estas dos variedades, la variedad Laurel cultivada en un Andisol de la macroárea V (Rouanet, 1989) mostró un Nddf de 61% cuando se aplicó U y, sólo de un 41,4 y un 45% cuando se aplicó NA y SS respectivamente (Cuadro 1). Ello podría atribuirse, entre otros factores a las condiciones climáticas en que se desarrolló el cultivo, en especial precipitación, lo que podría haber producido lixivia-

CUADRO 1. Parámetros isotópicos obtenidos para tres variedades de trigo con diferentes fuentes nitrogenadas¹

TABLE 1. Isotopic parameters obtained for three wheat varieties with different nitrogen sources

Variedad	Fuentes N	Nddf (%)	Ndds (%)	Nddf (kg/ha)	Ndds (kg/ha)	EU (F (%)	E.F. (kg)	E.A. (kg/kg)	Valor Afu (kg/ha)
Dalcahue	U	52,12 b	47,88 ab	52,3 bc	48,0 b	32,7 c	75,4 ab	1,5	289 b
	SS	61,14 a	38,86 c	73,4 a	46,6 c	45,9 a	65,4 b	1,0	417 a
	NA	51,72 bc	48,28 a	56,5 b	52,7 a	35,3 b	76,8 a	1,5	284 b
Perquenco	U	47,39 c	52,61 a	44,6 bc	49,5 a	27,8 c	86,2 a	1,7	219 c
	SS	61,00 a	39,00 c	70,8 a	45,2 bc	44,2 a	56,8 c	1,0	380 a
	NA	54,68 b	45,32 b	55,7 b	46,1 b	34,8 b	67,9 b	1,3	293 b
Laurel	U	61,34 a	38,66 c	91,6 a	57,8 c	57,2 a	68,1 c	1,0	409 a
	SS	45,10 b	54,90 b	70,7 b	86,0 a	44,2 b	90,4 b	1,9	212 b
	NA	41,37 c	58,63 a	59,7 c	84,6 ab	37,3 c	104, a	2,3	182 c

¹Promedio de cuatro repeticiones.

ción del ion nitrato a profundidades de menor acceso del sistema radical (Torbert *et al.*, 1992; Johnston y Fowler, 1991).

Esto se aprecia más claramente al observar el Nddf_u y el Ndds expresados en kg ha⁻¹ (Cuadro 1). Las variedades Dalcahue y Perquenco, absorben la mayor cantidad de N a partir del SS. Sin embargo, la variedad Dalcahue parece ser ligeramente más extractiva y eficiente en la utilización de las diferentes fuentes nitrogenadas estudiadas, en relación a la variedad Perquenco.

Esta última, presenta las tasas más altas de absorción de N con SS y NA (71 y 56 kg ha⁻¹ respectivamente), reflejando una mayor afinidad por el ion nitrato, ya que con U los valores de absorción (45 kg ha⁻¹) disminuyen en más de un 30%.

A diferencia de estas dos variedades, la variedad Laurel, en el Andisol, muestra un potencial de utilización mayor para la U (92 kg ha⁻¹), disminuyendo en un 37% con SS. La mejor utilización de la urea podría atribuirse al mayor contenido de materia orgánica del Andisol (Peyrelongue *et al.*, 1996) y, a condiciones climáticas favorables para la hidrólisis de la urea (Burns *et al.*, 1972; Dalal, 1975; Zantua *et al.*, 1977). Cabe destacar además, que esta última variedad presentó una mayor absorción de N desde el suelo, lo que reflejaría la mayor disponibilidad de este nutriente, producto de la mineralización de la materia orgánica asociado probablemente a un sistema radical más activo que el de las otras dos variedades (Novoa y Loomis, 1981; Van Cleemput *et al.*, 1991).

En relación al índice de disponibilidad de nitrógeno (Valor A₁₀), éste difiere para las variedades Dalcahue y Perquenco, aún cuando ambas se desarrollaron en el Ultisol de la macroárea I. La variedad Laurel, muestra un mayor índice de disponibilidad de N cuando se aplicó U (409), en cambio, estos valores son inferiores para SS y NA (212 y 182, respectivamente), a diferencia de lo observado en las variedades Dalcahue y Perquenco (Cuadro 1).

Distribución del nitrógeno en la planta

En la variedad Dalcahue, los valores de Nddf_u en el grano son bastante altos al aplicar SS, comparativamente con la aplicación de U y NA (Figura 1).

En Perquenco, la absorción de N proveniente de las fuentes nitrogenadas fue algo menor, con valores de Nddf_u en el grano de 51 kg para SS y sólo de 35 kg para U (Figura 2), de lo cual se infiere una menor capacidad de absorción de nitrógeno (Torbert *et al.*, 1992) en esta variedad. En cuanto al Nddf_u en

tallos+hojas, éste no difiere mayormente en las variedades Dalcahue y Perquenco (Figuras 1, 2). A diferencia de estas últimas, Laurel presentó el valor más alto de Nddf_u en el grano (Figura 3) y, una mayor acumulación de N en tallos+hojas.

Ahora bien, si se considera como 100%, el N total derivado de las fuentes en estudio, es posible determinar que, en promedio, el porcentaje de N proveniente de los fertilizantes que se trasloca hacia el grano es de 72,6%. De esta manera, el nitrógeno remanente en la paja adquiere una menor importancia.

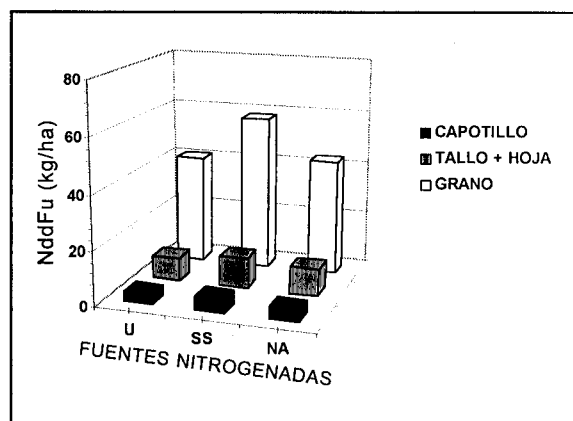


FIGURA 1. Nitrógeno en la planta proveniente de los fertilizantes. Variedad Dalcahue.

FIGURE 1. Nitrogen in the plant derived from the fertilizers. Dalcahue Variety.

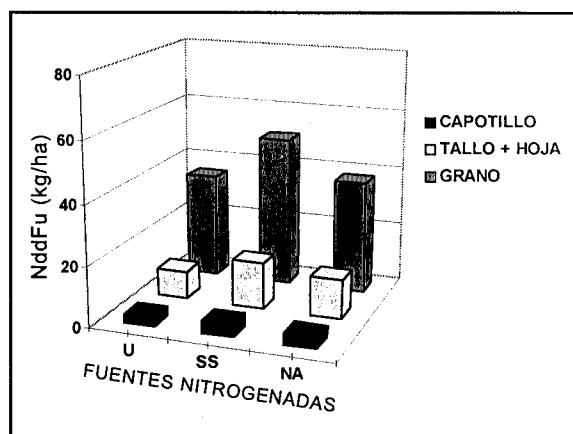


FIGURA 2. Nitrógeno en la planta proveniente de los fertilizantes. Variedad Perquenco.

FIGURE 2. Nitrogen in the plant derived from the fertilizers. Perquenco Variety.

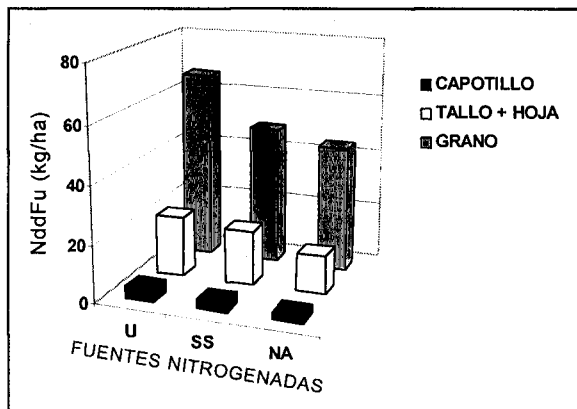


FIGURA 3. Nitrógeno en la planta proveniente de los fertilizantes. Variedad Laurel.

FIGURE 3. Nitrogen in the plant derived from the fertilizers. Laurel Variety

Los tallos+hojas, presentan entre un 9 y un 21% del nitrógeno total derivado de los fertilizantes, el valor más alto (21%) se obtuvo con la variedad Laurel y U. La variedad Perquenco presenta un comportamiento similar a Laurel. Cabe destacar que, en Dalcahue se determinaron los valores más bajos, lo que indicaría mayor eficiencia en la translocación del N dentro de la planta. El porcentaje de N remanente en el capotillo es bajo, especialmente en Laurel (3%). En la variedad Perquenco se obtuvo un valor de 7,4% con SS y la variedad Dalcahue presenta los valores más altos para NA y U (7,7 y 8,7%, respectivamente).

Eficiencia de uso de los fertilizantes

En el Cuadro 1 se presentan los resultados de la eficiencia de uso los fertilizantes (EUF) y la eficiencia fisiológica (EF), para cada variedad, en función de los parámetros isotópicos, calculadas como:

$$EUF (\%) = \text{Nddfu} (\text{kg ha}^{-1}) / \text{dosis de N} (\text{kg ha}^{-1}) \times 100$$

$$EF (\text{kg kg}^{-1}) = \text{kg grano} / \text{Nddfu} (\text{kg ha}^{-1})$$

Al determinar la eficiencia de uso de los fertilizantes a través del método isotópico, se apreció que ésta es superior a la determinada por el método de la diferencia (Peyrelongue *et al.*, 1996). Ello se debe, a que en el método de la diferencia se utilizan los valores del tratamiento control o testigo, en el cual las plantas están sometidas a un stress nutricional de nitrógeno y no son capaces de extraer el N realmente disponible en el suelo.

La eficiencia de recuperación de las fuentes nitrogenadas evaluadas por el método isotópico fue diferente dependiendo de la variedad y del tipo de suelo

(Cuadro 1). Se observa que Dalcahue y Perquenco, muestran los valores más altos de recuperación con SS, sin embargo, Perquenco presenta valores inferiores a Dalcahue tanto para SS como para el resto de las fuentes de N, lo que reflejaría una menor capacidad de la variedad en la absorción del N, independientemente de la fuente utilizada. Esto concuerda, con los resultados obtenidos para el Nddfu y el Ndds (Austin *et al.*, 1977; Pino y Rodríguez, 1980; Neyra *et al.*, 1988; Kiss *et al.*, 1991; Bowen y Zapata, 1991).

La variedad Laurel, tiene un comportamiento diferente que puede ser atribuible a la variedad y/o a condiciones edafoclimáticas. La eficiencia de recuperación, en esta variedad, alcanzó valores de 57% con la utilización de U, a diferencia de las otras variedades que no sobrepasaron el 45%, en promedio. En relación a las otras fuentes nitrogenadas, Laurel mostró eficiencias similares a Dalcahue y Perquenco (Cuadro 1).

En cuanto a la eficiencia fisiológica, calculada de acuerdo al método isotópico (Cuadro 1) se destaca la variedad Laurel como muy eficiente en la utilización interna del N (Fried *et al.*, 1975; Hamid y Ahmad, 1990), siendo la variedad que produjo los rendimientos más altos. La variedad Perquenco presentó rendimientos más bajos y fue capaz de utilizar de mejor forma el N proveniente del suelo que el N derivado del fertilizante. Al comparar las fuentes entre sí (Cuadro 1), en cuanto a su evaluación agronómica (EA), se destaca que la mejor fuente para las variedades Dalcahue y Perquenco, cultivadas en un Ultisol, fue SS y; U para la variedad Laurel, cultivada en un Andisol. Es decir, en la variedad Dalcahue, por cada kg de N aplicado en forma de SS se requiere aplicar 1,5 kg de N en forma de U o de NA. Para la variedad Perquenco, por cada kg de N como SS se requiere aplicar 1,3 kg de N como NA y 1,7 kg de N como U y, en la variedad Laurel, por cada kg de N como U se requiere aplicar 1,9 kg de N como SS y 2,3 kg de N como NA.

Pero, al efectuar la evaluación agronómica en términos de producto comercial, se debe considerar el porcentaje de N de cada fuente, a objeto de establecer el costo de la fertilización. De esta manera, en términos de kg de SS por kg de U, debido al mayor porcentaje de N que contiene esta última, se obtiene que para la variedad Dalcahue se requiere 1,0 kg de SS por 0,5 kg de U o 0,7 kg de NA. En Perquenco, por cada kg de SS se requieren 0,6 kg de U o NA y, en Laurel, por cada kg de U se requieren 5,6 kg de SS y 3,1 kg de NA.

Esto significa que, por ejemplo, en el Ultisol la relación en producto sería más favorable a la U, sin

embargo, se debe tener en cuenta los factores que condicionan la reacción de este producto en el suelo y considerar que la eficiencia no superó al 46%, con esta fuente. De manera que, si se analiza sólo desde un punto de vista económico, es probable que resulte conveniente aplicar este fertilizante, aún cuando su eficiencia sea menor.

Por el contrario, en el Andisol se hace evidente la superioridad de la U frente a las otras fuentes nitrogenadas, especialmente en cuanto a SS, lo que podría indicar que la U se ve favorecida en cuanto a su reacción en el suelo con respecto al nitrato, debido a una mayor precipitación y alto contenido de ureasa en estos suelos (Campillo, 1992). Por otra parte, es probable que características inherentes a la variedad, le permitan, dado los valores obtenidos para el N absorbido a partir del suelo (38,7%), aprovechar de manera más eficiente el N proveniente de esta fuente, aun cuando éste presentaba un 3,6% de saturación de Al (Peyrelongue *et al.*, 1996), lo que corrobora que este valor constituye un bajo valor de saturación de Al para las variedades estudiadas.

En consecuencia, existen notorias diferencias entre las variedades y fuentes nitrogenadas, situación que debe ser considerada en la obtención de las mismas y en la utilización del N proveniente de diferentes fuentes (amoniacaes o nítricas), tanto desde un punto de vista fisiológico como económico.

La metodología isotópica permitió cuantificar la cantidad de N en la planta proveniente de cada una

de las fuentes en estudio, separando claramente el N en la planta proveniente del suelo y el N en la planta proveniente del fertilizante. Esto mismo, ayudó a una clara diferenciación entre las variedades respecto al uso más eficiente de los fertilizantes y a una diferenciación en cuanto a su capacidad de producción de grano por cada kilo de N absorbido, específicamente del fertilizante nitrogenado.

CONCLUSIONES

El porcentaje de N en las plantas, derivado de las fuentes evaluadas, fluctuó dependiendo de la variedad y del tipo de suelo entre 41 y 61%. En el Ultisol, las variedades Dalcahue y Perquenco presentaron un mejor comportamiento con SS y en el Andisol, la variedad Laurel, mostró una especial afinidad con U. En las tres variedades, el mayor porcentaje de N derivado de los fertilizantes se encontró en el grano, lo que indica que hubo una mayor traslocación de este elemento hacia los órganos productivos, especialmente en la variedad Dalcahue.

El uso eficiente de los fertilizantes y la eficiencia fisiológica determinados por el método isotópico fueron superiores a los determinados por los métodos convencionales. Los métodos isotópicos con utilización de ^{15}N , posibilitan la cuantificación de la eficiencia de diferentes fuentes nitrogenadas y a la vez, permiten un análisis completo, respecto al comportamiento de diferentes variedades desarrolladas en distintas condiciones de suelo y medio ambiente.

RESUMEN

Se realizó un estudio a objeto de investigar el comportamiento de diferentes fuentes nitrogenadas en tres variedades de trigo, considerando un Andisol y un Ultisol de la IX Región.

Para ello, se utilizó la técnica de dilución isotópica, con marcación al suelo, aplicando sulfato de amonio ^{15}N , 10% átomos exceso, en solución, en dosis de 20 kg ha⁻¹ de N.

Se determinaron los parámetros isotópicos tales como nitrógeno en la planta derivado de las fuentes no marcadas, nitrógeno en la planta derivado del suelo, uso eficiente de los fertilizantes y su evaluación agronómica.

El porcentaje de N en las plantas, derivado de las fuentes evaluadas, fluctuó dependiendo de la varie-

dad y del tipo de suelo. En el Ultisol, las variedades Dalcahue y Perquenco presentaron un mejor comportamiento con SS y en el Andisol, la variedad Laurel, mostró una especial afinidad con U.

En las tres variedades, el mayor porcentaje de N derivado de los fertilizantes se encontró en el grano, observándose una mayor translocación, para la variedad Dalcahue.

El uso eficiente de los fertilizantes y la eficiencia fisiológica determinados por el método isotópico fueron superiores a los determinados por los métodos convencionales.

Palabras claves: Fertilizantes nitrogenados, dilución isotópica, trigo.

LITERATURA CITADA

- AUSTIN, R.B., FORD, M.A., EDRICH, J.A. and BLACKWELL, R.D. 1977. The Nitrogen economy of winter wheat. *J. Agric. Sci.(Cambridge)* 88: 159-167.
- BOWEN, G.D. and ZAPATA, F. 1991. Efficiency in uptake and use of nitrogen by plants. In: *Stable isotopes in plant nutrition, soil fertility and environmental studies*. IAEA. Vienna 1991.
- BURNS, R.G.; PUKITE, H.A. and Mc LAREN, D.A. 1972. Concerning the location and persistence of soil urease. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36(2): 308-311.
- CAMPILLO, R. 1992. Efecto acidificante de las transformaciones de la urea en dos Andisoles de la Región de Los Lagos. Tesis para optar al grado de M.S. Facultad de Agronomía. U. Católica de Chile (Stgo.) 137 p.
- DALAL, R.C. 1975. Urease activity products of solution in some Trinidad Soils. *Soil Sci. Biochemistry* 7(1): 5-8.
- FRIED, M. and BROESHART, H. 1975. An independent measurement of the amount of nitrogen fixed by a legume crop. *Plant Soil* 43: 707-711.
- FRIED, M., SOPER, J. and BROESHART, H. 1975. ¹⁵N-Labelled single-treatment fertility experiments. *Agronomy Journal* 67: 393-396.
- HAMID, A. and AHMAD, M. 1990. Isotopic and non isotopic estimations of fertilizer nitrogen uptake by wheat. *Pak.J. Sci. Ind. Res.* 33(3): 107-109.
- HARDARSON, G., ZAPATA, F. and DANSO, S.K.A. 1984. Effect of plant genotype and nitrogen fertilizer on symbiotic nitrogen fixation by soybean cultivars. *Plant Soil* 82: 397-407.
- HARDARSON, G. 1990. Empleo de técnicas nucleares en los estudios de la relación suelo-planta. OIEA, Viena. Austria. 311 p.
- JOHNSTON, A.M. and FOWLER, D.B. 1991. No tiller winter wheat dry matter and tissue nitrogen response to nitrogen fertilizer form and placement. *Agron. J.* 83: 1.035-1.043.
- KISS, E., DEBRECZENI, K., HELTAI, G. and BALINT, A. 1991. Genotypic differences in N uptake and use by several winter wheat varieties. In: *Stable isotopes in plant nutrition, soil fertility and environmental studies*. IAEA. Vienna 1991. p.: 387-393.
- NEYRA, C.A., PEREIRA, P.A. and BALDANI, J.I. 1988. Efficiency of N utilization by the maize plant. In: *Workshop on maize breeding and maize production*. Belgrado. Yugoslavia 1988. p.: 219-231.
- NOVOA, R. and LOOMIS, R.S. 1981. Nitrogen and plant production. *Plant and Soil* 58: 171-204.
- PEYRELONGUE, A., PINO, I. y BUNEDER, M. 1996. Evaluación de fuentes nitrogenadas (¹⁵N) en tres variedades de trigo, en un Andisol y un Ultisol de la IX Región. I Parámetros Agronómicos y Absorción de N.
- PINO, I. y RODRÍGUEZ, J. 1980. Economía del Nitrógeno en genotipos de trigo (*Triticum Aestivum* L.) y Triticale (*Triticosecale* sp). II Absorción y traslocación de Nitrógeno. *Anales de Edafología y Agrobiología*. Tomo XXXIX (10): 1.725-1.734. Madrid. España.
- PINO, I., BUNEDER, M. y PEYRELONGUE, A. 1995. Evaluación de fertilizantes nitrogenados en cultivos de cereales utilizando el método de dilución isotópica de ¹⁵N. *Agricultura Técnica (Chile)* 55 (3-4): 223-228.
- ROUANET, J.L. 1989. Áreas Agroecológicas. Determinación del Sistema de Producción Agropecuario. Investigación y Progreso Agropecuario Carillanca (Temuco). 1(1): 17-21.
- TORBERT, H.A., MULVANEY, R.L., VANDEN HEUVEL, R.M. and HOEFT, R.G. 1992. Soil type and moisture regime effects on fertilizer efficiency calculation methods in a nitrogen 15 tracer study. *Agr.J.* 84: 66-70.
- VAN CLEEMPUT, O., WANG, Z., ELNASIKH, M.H., BHOLAH, M.A. and TABOUDJON, C. 1991. Transformations of ¹⁵N labelled urea in different types of soil. In: *Stable isotopes in plant nutrition, soil fertility and environmental studies*. IAEA. Vienna. 1991 p: 307-316.
- ZANTUA, M.I.; DUMENIL, L.C. and BREMNER, J.M. 1977. Relationships between soil urease activity and other soil properties. *Soil Sci. Soc. of Am. J.* 41(2): 350-352.
- ZAPATA, F. and AXMANN, H. 1984. Use of radiotracers for the agronomic evaluation of rock phosphate sources. IAEA, Viena Austria. 15 p.
- ZAPATA, F. 1990. Isotope techniques in soil fertility and plant nutrition studies. Use of Nuclear techniques in studies of soil plant relationships (Hardarson, G. Ed.). *Training Courses Series Nº 2*. IAEA, Vienna (1990): 61-127.
- ZAPATA, F. and AXMANN, H. 1991. Agronomic evaluation test of rock phosphate materials by means of radioisotope techniques. *Pedologie*, XLI-3, 291-301.