

ESTUDIOS DE BALANCE DE NITROGENO USANDO ^{15}N

M. AURORA LAZZARI¹

Recibido: 10-09-91

Aceptado: 26-04-92

INTRODUCCION

Bajo las condiciones de una agricultura y silvicultura actuales, donde la biomasa es cosechada y extraída constantemente del ecosistema, existe un drenaje desde el suelo, de todos los elementos de las plantas, excepto del C, H y O (éstos se reponen constantemente de los recursos infinitos de la atmósfera y de los océanos). En ausencia de cosechas (y de erosión) la materia orgánica del suelo y su humus tenderían a estabilizarse. Afortunadamente, excepto para el N y a un límite menor para el K, P y S, las cantidades extraídas por los cultivos son relativamente bajas. Esto queda ilustrado en el Cuadro N°1, basada en una sola cosecha anual de 5 toneladas de granos de trigo sin fertilizante, y en el análisis de los granos del cereal. Es suficiente notar aquí que la remoción del nitrógeno (N) excede ampliamente la de los otros elementos. Al mismo tiempo, ya sea en su forma como ión NO_3 (ó en menor medida en su forma como ión NH_4^+) es más fácilmente lavado del suelo, lo que puede llegar a constituir una amenaza de contaminación ambiental.

El significado de las extracciones detalladas en el Cuadro N°1 dependerá de la velocidad de reemplazo natural (o sea biofijación de N, adiciones a través de las precipitaciones y/o deposición seca, etc.), de las reservas presentes y, por sobre todo, de la disponibilidad efectiva de los nutrientes en el sistema radicular de la planta. Cuando la velocidad de extracción supera la velocidad de reemplazo natural del nutriente, se verá seriamente afectada la fertilidad del suelo. Aparece, entonces, la necesidad de fertilización, la que conlleva implicancias económicas y ambientales. Por lo tanto, es necesario cada vez más aunar esfuerzos para suministrar N a los cultivos con pérdidas mínimas a costo mínimo. El reconocimiento de los problemas ocasionados por las pérdidas de N del suelo (y de los fertilizantes) no es para nada novedoso. Hace ya 56 años se registró que "aproximadamente 24 millones de toneladas de N se pierden anualmente de las áreas agrícolas de los Estados Unidos" (Bonner, 1950), lo que corresponde a más de 100 kg N ha^{-1} anualmente de las tierras arables (presumiblemente incluye las pérdidas por erosión).

Bajo las condiciones de una moderna agricultura, es esencial, entonces, mantener el nitrógeno del suelo junto con cosechas productivas, lo que puede lograrse a través de uno o más de los tres métodos siguientes:

- (a) por reciclaje de los desechos nitrogenados orgánicos (agrícolas y municipales).
- (b) introduciendo cultivos de leguminosas, ya sea por intra cultivo o rotación de cultivos,
- (c) por la adición de fertilizantes minerales o industriales al suelo.

¹Laboratorio de Humus (LAHBIS), Departamento de Agronomía, U.N.S. CERZOS (U.N.S.-CONICET). (8000) Bahía Blanca -Argentina-

Cuadro N°1: Extracción de elementos esenciales por una cosecha anual de 5 toneladas de grano de trigo* por hectárea.

Elemento (símb. qco.)	Peso extraído (kg/ha ⁻¹ anual)	Elemento (símb. qco.)	Peso extraído (kg/ha ⁻¹ anual)
Nitrógeno (N)	105	Sodio (Na)	1
Potasio (K)	18	Hierro (Fe)	0,2
Fósforo (P)	15	Manganeso (Mn)	0,2
Azufre (S)	8	Zinc (Zn)	0,2
Magnesio (Mg)	6	Cobre (Cu)	0,03
Cloro (Cl)	3	Boro (B)	0,02
Calcio (Ca)	2	Cobalto (Co)	0,001

* Humedad del grano, a la cosecha: 20%. Extraído de IAEA, 1984.

Invariablemente, estos fertilizantes minerales aportan a un ecosistema no disturbado, cantidades mucho más altas de nitrógeno que las leguminosas, junto a las precipitaciones, las cenizas producidas por el fuego espontáneo, etc. Si bien estas formas de enmiendas protegen mejor las relaciones C/N que aquellos de los fertilizantes minerales, e involucran un potencial más bajo para las pérdidas de nitrógeno por lavado, volatilización y erosión superficial, la aplicación de fertilizantes minerales (de fácil manejo, almacenamiento y uso) son y serán cada vez más consumidos por los agricultores, al menos en los países en vía de desarrollo.

El uso más eficiente de los recursos nitrogenados que llevará a una mayor productividad vegetal con la menor pérdida posible del nutriente dentro del ecosistema, depende de las investigaciones que promuevan a:

- (a) aumentar la eficiencia económica del uso de N en los mismos,
- (b) hacer más efectivo el uso del N dentro del ambiente de las plantas.
- (c) reducir las pérdidas de N más allá de la zona radical.

Los estudios de balance han contribuido a identificar mecanismos de transferencia de N y a cuantificar la dimensión de diferentes reservorios de N. Su principal uso ha sido estimar la pérdida neta de N (o N no encontrado) en un dado sistema de producción agrícola. Sin embargo, para estimar la pérdida neta de N y atribuir esta pérdida a un dado proceso, debería contabilizarse todas las demás transformaciones principales del N. Por esta razón, los balances han sido de un valor incalculable para nuestra comprensión de los procesos de mineralización, inmovilización, asimilación por los cultivos, lavado, desnitrificación, etc. Los balances de N también hace relevante el hecho que todos los procesos biológicos están interrelacionados; los cambios en un proceso son reflejados por cambios en otros procesos. Las aproximaciones de balance son de igual importancia cuando se considera el uso eficiente de N por las plantas, llave para la solución de problemas relacionados con la alta producción de los cultivos, mínima contaminación y conservación de la energía.

TIPOS DE BALANCE

El balance total de N de un dado sistema dependerá de la diferencia neta entre la suma de todas sus ganancias (I) y de todas sus pérdidas (R), enumeradas en el Cuadro N°2. Cualquier desbalance entre las ganancias y las pérdidas quedará reflejado por un cambio ΔN en el contenido total de N del suelo, o sea que $\Delta N = I - R$. Un estudio de balance pretende cuantificar las ganancias, las pérdidas y el ΔN . Cualquier discrepancia entre el ΔN medido e $I - R$ se deberá al error experimental y/o a una ganancia o pérdida insospechadas (o no medibles). Entre estas últimas, se encuentran las pérdidas por desnitrificación, muy difíciles de medir en condiciones de campo.

Debe tenerse en cuenta que los balances de N requieren una cuidadosa definición del sistema bajo estudio, incluyendo factores conceptuales, espaciales y temporales. Pueden ser globales, como el realizado por Sanhueza (1982) en la tropósfera; regionales, como el obtenido por Salati et al. (1982) en la cuenca del Amazonas o los comentados por Robertson (1982); en determinados agroecosistemas (Reddy, 1982; Ruschel y Vose, 1982); o hasta aquellos de sistemas agrícolas a escala pequeña (Allison, 1955; 1965; 1966; Legg y Meisinger, 1982; Patra et al., 1990) simulando condiciones de determinadas prácticas agrícolas.

A su vez, el tiempo de dicha escala puede variar desde cientos de años para procesos biológicos, hasta una sola estación de cultivo en experimentos a campo o invernáculo, o unos pocos días u horas en experiencias de laboratorio. Esta nota se limitará a discutir principalmente los estudios de balance de N en sistemas suelo-cultivo en escala pequeña, los que son particularmente valiosos para comprobar la importancia relativa de una ganancia o pérdida de N, o para contribuir al conocimiento de los cambios en el ciclo del nutriente que tienen lugar como resultado de diferentes prácticas agronómicas.

Según Hauck y Tanji (1982), las estimaciones de balance de N obtenidas de estudios a escala más pequeña son aceptadas con mayor aprobación por los científicos que aquellos obtenidos de estudios globales o regionales. Las razones de esto es que existe una menor confianza en juzgar la validez de estimaciones para áreas extensas. Generalmente, los sistemas de pequeña escala son más homogéneos con respecto a las características físicas, a las reacciones químicas y a las actividades biológicas que los sistemas de escala mayor, sometidos a un mayor riesgo de error.

Existen dos métodos generales en investigaciones de balance de N. Uno de ellos involucra el balance completo de N total del sistema, documentando las entradas y salidas de N total, sin el uso de compuestos marcados (Valdivia, 1982; Sánchez, 1982; Roskoski et al., 1982). El otro método introduce N marcado, tal como fertilizante marcado, al sistema y calcula el balance del isótopo de N. Estos dos procedimientos no son equivalentes, si bien ambos enfatizan diferentes procesos del ciclo del N y propiedades del sistema. El balance de N total enfoca al ciclo del N total del sistema a través de sus ganancias y de sus pérdidas. El balance de N marcado indica la forma en que el isótopo interactúa con el sistema, trazando su destino a través del mismo. La principal ventaja de usar ^{15}N en este tipo de experimentos es su mayor sensibilidad en trazar el camino de una determinada entrada de N al sistema.

Lamentablemente, en América Latina se han realizado muy pocos estudios de balance de N en sistemas de cultivo, con los cuales puede obtenerse información muy útil llevándolos a cabo con diferentes grado de detalle. Idealmente (Franco et al., 1982), debería usarse ^{15}N para

Cuadro N°2: Ganancias y pérdidas de nitrógeno en ecosistemas agrícolas.

Ganancias (I)	Pérdidas (II)
<ul style="list-style-type: none"> - N nativo del suelo - Residuos de cultivos y animales - Precipitaciones y riego - Adsorción de gases atmosféricos - Fijación biológica - Fertilizantes - Misceláneas, semillas, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> - Extracción por cosechas - Extracción por ganadería - Lavado - Desnitrificación - Volatilización - Erosión y escurrimiento - Fijación del amonio

estos estudios, aunque es bien reconocido el hecho que los mismos pueden ejecutarse en pocos lugares debido a consideraciones económicas. El uso de fertilizante marcado con ^{15}N permite una medida mucho más precisa del destino del N del fertilizante adicionado al suelo de lo que es posible con fertilizante no marcado, debido a que permite estimar las pérdidas gaseosas directamente de la recuperación del ^{15}N en el agua de escurrimiento, percolación o drenaje, suelo y planta, como se verá más adelante.

USO DE NITROGENO MARCADO EN BALANCES DE NITROGENO

Hasta 1968, Hauck (1971) estimó que sólo se habían realizado 18 estudios de balance de ^{15}N en ecosistemas productivos, contra 100 de recuperación, por el cultivo, del N aplicado y 153 de fijación biológica de N. En años recientes, el número de estudios de balance se ha incrementado marcadamente (Legg y Meissinger, 1982), llegando en la actualidad a varios centenares. Esto se apoya en el hecho que los mismos proporcionan una base confiable para estimar ganancias, pérdidas y transformaciones de N en sistemas de manejo agrícola. Comprendiendo estos procesos y los factores que los influyen, permitirá una máxima eficiencia en la utilización del recurso N y, al mismo tiempo, minimizar los peligros asociados con las pérdidas de ese nutrimento.

Metodología

Los experimentos llevados a cabo en invernáculos y laboratorios, aunque no son directamente aplicables a situaciones de campo, proporcionan información sobre los principios básicos e interrelaciones entre los componentes del sistema estudiado. Fueron ampliamente adoptados en un comienzo, debido a sus bajos costos, alta posibilidad de tratamientos y mayor control de variables y errores de muestreo (Mac Vicar et al., 1950; Walker et al., 1956; Legg y Allison, 1967; Broadbent y Nakasima, 1968; Zamyatina, 1971; Pomares-García y Pratt, 1978).

Una mejor metodología para obtener balance de N bajo condiciones de campo es el uso de lisímetros (Broadbent, 1981), donde una de las ventajas principales es poder medir el agua de percolación o drenaje. Esto implica que puedan determinarse, por diferencia, las pérdidas gaseosas, dado que se miden todas las otras ganancias y pérdidas de N (Owens, 1960; Kissel

et al., 1976; Lázzari y Rosell, 1986), inclusive aquellas ocasionadas por el escurrimiento superficial (Chichester y Smith, 1978).

Existen dos tipos de lisímetros: a) los de "llenado", preparados muy cuidadosamente con las capas sucesivas de un suelo natural muestreado, introducidas en la misma secuencia como existe en el campo y empaquetadas, recreando la distribución natural de nutrientes en el perfil del suelo (Jones et al., 1977; Patwary y Raicovich, 1979; Dowdell y Webster, 1980; Lázzari, 1982, Reeder, 1986); y b) los de tipo "monolítico", donde un bloque de suelo con su estructura natural intacta es introducido dentro de un contenedor (Owens, 1960; Chichester y Smith, 1978).

Existen, por otro lado, dos problemas principales en el uso de lisímetros para estudios de balance de N, muy bien descritos por Kohnke et al. (1940): a) asegurar que el ambiente del suelo en el lisímetro sea similar al del campo, y b) realizar mediciones precisas de las entradas y pérdidas de N. Salvados estos inconvenientes, aunque sea en parte, las pérdidas de N por lavado y escurrimiento pueden relacionarse convenientemente con los cambios en las condiciones ambientales, tales como la incidencia e intensidad de las lluvias. Mientras que la determinación de las pérdidas gaseosas, por diferencia, sólo puede realizarse al finalizar el experimento, con un muestreo destructivo del suelo en el lisímetro (Carter et al., 1967). Esto proporciona una estimación del alcance de las pérdidas de N gaseoso para el período completo de la experiencia, aunque no pueda brindar información sobre la evolución y naturaleza de las mismas (Burford, 1977). Para realizar estimaciones directas de las pérdidas gaseosas, Martin y Ross (1968), Crowell y Martin (1975), Vlek y Crowell (1979) utilizaron los llamados lisímetros de gas, que ofrecen una buena técnica experimental, aunque muy costosa. Se basa en confinar la atmósfera del contenedor de suelo y medir los gases producidos bajo las condiciones impuestas, metodología que, en la actualidad, está en vías de perfeccionamiento (Mulvaney y Vanden Heuvel, 1988).

Debido al costo de los lisímetros, una alternativa válida para determinados sistemas de cultivo es determinar el balance de N en el campo, donde puede minimizarse el valor económico del fertilizante nitrogenado marcado, limitando la aplicación de ^{15}N a pequeñas áreas. Esto se logra proporcionando límites a microparcels con la introducción de cilindros de acero o PVC en el suelo, dentro de parcelas experimentales más grandes (Carter et al., 1967; Myers y Paul, 1971; Kissel y Smith, 1978; Riga et al., 1980; Olson y Swallow, 1984; Patra et al., 1990). Tanto la microparcels como la macroparcels están sometidas a la misma práctica de manejo; la única diferencia es que el fertilizante aplicado a la microparcels está marcado con ^{15}N . El inconveniente de este tipo de estudios es que debe restringirse al máximo la pérdida de N por lavado, o aplicarse sólo a sistemas donde estas pérdidas son despreciables (Lázzari et al., 1990).

Debido a que la cantidad de N del fertilizante que queda en el suelo al finalizar la estación de cultivo debe ser analizada con precisión, el enriquecimiento de ^{15}N del fertilizante debe ser relativamente alto (ca. 5% át. exceso ^{15}N), dado que el ^{15}N aplicado se diluye en el gran "pool" de N del suelo. Con los precios corrientes, el uso de 5% át. exceso ^{15}N de urea, a razón de 100 kg N ha cuesta aproximadamente U\$S 100 por metro cuadrado de área de la microparcels (Stumpe et al., 1989). Muchos investigadores, consecuentemente, han realizado esfuerzos para determinar el área mínima de la microparcels a ser muestreada, dependiendo esto del tipo de cultivo, de las condiciones climáticas y del tipo de suelo, principalmente (Olson, 1980). Si el experimento requiere continuar estudiando el destino del ^{15}N residual a través de una o más

Cuadro N°3: Balance de nitrógeno en diferentes sistemas experimentales. Estudios con ¹⁵N en la región semiárida bonaerense.

Tipo se estudio (fertilizante marca- do aplicado)	Sistema de cultivo	En cultivo %	En suelo de N	Balance de N aplicado	Referen- cia
Lisímetros (sulfato de amonio)	Rotación anual ajo- moha	34-48	40-56	82-90	Lázzari y Rosell, 1986
Lisímetros (urea)	Rotación anual ajo- moha	42-45	38-48	83-90	Lázzari y Rosell, 1986
Lisímetros (sulfato de amonio)	Monoculti- vo de trigo	30-40	20	60-70	Laurent y Lázzari, 1986
Microparcelas (sulfato de amo- nio)	Monoculti- vo de trigo	46-56	26	72-82	Lázzari et al., 1990

estaciones de cultivo, el enriquecimiento del ¹⁵N del fertilizante debe ser aún mayor que el mencionado más arriba (Lázzari et al., 1988).

La elección del método más apropiado para determinar el balance de N en un determinado sistema suelo-planta-agua, dependerá de los datos disponibles, de los objetivos del estudio y de las principales transformaciones de N del sistema bajo estudio. Aunque ninguno de ellos será simple, fácil o barato.

Estudios en la Argentina

Si bien se han realizado algunos estudios usando la técnica isotópica de nitrógeno ya sea para determinar el N₂ atmosférico fijado por soja (Ghelfi et al., 1984) y el aprovechamiento de fertilizante nitrogenado en maíz (Daniel et al., 1984, 1986 y 1988) o en trigo (Buján et al., 1982; Lázzari et al., 1984; Rosell et al., 1987) no existen antecedentes de estudios de balance de ¹⁵N en sistemas suelo-planta en nuestro país, salvo los realizados en la zona semiárida bonaerense, sobre suelos Haplustoles (ver Cuadro N°3). Los rangos de valores presentados para la rotación ajo-moha corresponden a resultados obtenidos en diferentes años de la experiencia (1979/80-1980/81). No se observaron diferencias entre las dos fuentes de nitrógeno empleadas y las pérdidas gaseosas oscilaron entre el 10 y 17% del N aplicado al momento de plantación del ajo (150 kg N ha⁻¹ año⁻¹). Las pérdidas por lavado de ese N fueron despreciables. Justamente, en regiones áridas y semiáridas, donde estas pérdidas son mínimas, una planilla de balance responde más a la realidad que en áreas húmedas, donde aquellas pérdidas son de considerable magnitud.

En las experiencias con trigo (cv. Buck Pucará), los rangos de valores presentados en el Cuadro N°3, corresponden a diferentes momentos de la aplicación del fertilizante marcado. Con adecuada humedad edáfica durante el ciclo del cultivo (como en 1984), el N adicionado

Estudios de balance de nitrógeno usando ^{15}N

tardíamente (hoja bandera) proporcionó una mayor recuperación (40%) por el cultivo que el adicionado a la siembra (30%). El N del fertilizante que quedó en el suelo fue de ca. 20%. El 89% de esa N residual permaneció en los 20 cm superficiales del suelo. Llamó la atención las pérdidas gaseosas que oscilaron entre el 30 y el 40% según se adicionó el ^{15}N a la siembra o tardíamente, respectivamente y posiblemente, en parte, a una inadecuada forma de aplicación (en solución). De allí que se realizó una nueva experiencia, con microparceladores, donde se aplicó el fertilizante marcado mezclándolo con los 2 cm superficiales de suelo. El N adicionado tardíamente fue recuperado por las plantas de trigo en un 56% y las pérdidas se redujeron al 18%. En las regiones semiáridas el uso de fertilizantes nitrogenados requeriría precauciones especiales para evitar pérdidas de N por vía gaseosa, en especial aquellas por volatilización.

Necesidad de investigación

Podríamos formularnos la siguiente pregunta: ¿Son necesarios los estudios de balance de nitrógeno? Para lo que concierne a la producción de alimentos dentro del concepto ganancia - pérdida, sí se justifican. Hasta podrían justificarse para obtener solamente información real del porciento de recuperación, por el cultivo, del fertilizante aplicado. Sin embargo, si nos esforzáramos en usar con máxima eficiencia el N en el ambiente total, serían necesarios datos precisos de cada una de sus transformaciones, ya sea si se deseara incrementar la producción de alimentos económica y eficientemente, o si se deseara estudiar los cambios en la biosfera como consecuencia del incremento de las prácticas agrícolas en determinadas zonas de nuestro país. Ya lo dijo Hauck (1971) hace más de 20 años: los estudios que conduzcan a incrementar el uso de los fertilizantes nitrogenados deberían ser tan directos como para complementar datos que describan el curso completo del N a través y desde el ambiente suelo.

BIBLIOGRAFIA

- 1) ALLISON, F.E. 1955. *The Enigma of soil nitrogen balance sheets. Adv. Agron.*, 7:213-250.
- 2) ALLISON, F.E. 1965. *Evaluation of incoming and outgoing processes that affect soil nitrogen. En: Bartholomew, W. and Clark, F. (ed.). Soil Nitrogen. Agronomy, 10:5-73-606. Am. Soc. of Agron., Madison, Wisconsin.*
- 3) ALLISON, F.E. 1966. *The fate of nitrogen applied to soils. Adv. Agron.*, 18:219-258.
- 4) BONNER, J. 1950. *Plant Biochemistry. Academic Press, New York, 192 págs.*
- 5) BROADBENT, F.E. 1981. *Methodology for nitrogen transformation and balance in soils. Plant and Soil*, 58:383-399.
- 6) BROADBENT, F.E. and T. NAKASHIMA, 1968. *Plant uptake and residual value of six tagged nitrogen fertilizers. Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 32:388-392.
- 7) BUJÁN, A.; M.I. QUITEGUI; M.C. QUITEGUI; L.E. P. DE GHELFI y D. DEYBE, 1982. *Ensayo de aprovechamiento de la residualidad de un fertilizante nitrogenado [$^{15}\text{NH}_4\text{SO}_4$] por un cultivo de trigo mediante el empleo de una técnica isotópica. Actas del Coloquio Regional sobre Materia Orgánica do Solo. CENA, Piracicaba, Brasil, 209-214.*
- 8) BURFORD, J.R. 1977. *Determination of losses of nitrogen from soils in the humid tropics by lysimeter studies. En: Ayanaba and Dart (eds.). Biological nitrogen fixation in farming systems of the tropics:353-363. John Wiley and Sons.*

- 9) CARTER, J.N.; O.L. BENNETT and R.W. PEARSON, 1967. Recover of fertilizer nitrogen under field conditions using nitrogen-15. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 31:50-56.
- 10) CRASWELL, E.T. and A.E. MARTIN, 1974. Effect of moisture content on denitrification in clay soil. *Soil Biol. Biochem.*, 6:127-129.
- 11) CHICHESTER, F.W. and S.J. SMITH, 1978. Disposition of ¹⁵N-labeled Fertilizer nitrate applied during corn culture in field lysimeters. *J. Environ. Qual.*, 7:227-233.
- 12) DANIEL, P.E.; R. ALVAREZ; J.H. LEMCOFF y D. ZOURARAKIS, 1984. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre maíz cultivado bajo riego. II. Determinación del grado de aprovechamiento del fertilizante y de su distribución en la planta usando la metodología del ¹⁵N. III Congreso Nacional de Maíz, Pergamino, 233-237.
- 13) DANIEL, P.E.; R. ALVAREZ; J.H. LEMCOFF y D. CANOVA, 1986. Efectos de los procesos de inmovilización y mineralización en el suelo sobre la determinación isotópica del aprovechamiento de fertilizante nitrogenado en maíz. *Ciencia del Suelo*, 4(1):83-89.
- 14) DANIEL, P.E.; R. ALVAREZ; C.P. SIMÓN y G. RANOSKY, 1988. Determinación de la utilización de fertilizante nitrogenado en maíz por vía isotópica y no isotópica. *Ciencia del Suelo*, 6(1):56-59.
- 15) DOWDELL, R.J. and C.P. WEBSTER, 1980. A lysimeter study using nitrogen-15 on the uptake of fertilizer nitrogen by perennial rye grass swards and losses by leaching. *J. Soil Sci.*, 31:65-75.
- 16) FAO/UNESCO, 1974. UNESCO Programme on Man and the Biosphere (MAB): Ecological assessment of pest management and fertilizer use on terrestrial and aquatic ecosystems. MAB Report Series N° 15:1-48. FAO, Rome.
- 17) FRANCO, A.A.; J.R. JARDIM FREIRE; J. ARRIVETS; J. GÓMEZ CARRIÓN; L. FRIONI; D.J. GREENWOOD; Y.Z. ISHAC; M.A. LÁZZARI; P.L. LIBARDI; L. LONGERI; M.P. SALEMA; M.N. VERSTEEG and R.L. VICTORIA, 1982. Report of the work group on cereal and grain crops. *Plant and Soil*, 67:399-402.
- 18) GHELFI, R.A.; A. BUJÁN; M.C. QUITIGUI y L.P. DE GHELFI, 1984. Determinación de N atmosférico fijado por soja (*Glycine max* L.) mediante utilización de ¹⁵N en condiciones de campo. *Ciencia del Suelo*, 2(1):45-51.
- 19) HAUCK, R.D. 1971. Quantitative estimates of nitrogen cycle processes. Concepts and review. En: *Nitrogen-15 in soil-plant studies*. STI/PUB/278:65-80. IAEA, Vienna.
- 20) HAUCK, R.D. and K.K. TANJI, 1982. Nitrogen transfers and mass balances. En: Stevenson, F.J. (ed.). *Nitrogen in Agricultural Soils*. Agronomy 22:891-925. Am. Soc. of Agron., Madison, Wisconsin.
- 21) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. 1984. *Soil and Fertilizer Nitrogen*. Technical Reports Series N° 244. IAEA, Vienna.
- 22) JONES, M.B.; C.C. DELWICHE and W.A. WILLIAMS, 1977. Uptake and losses of ¹⁵N applied to annual grass and clover in lysimeters. *Agron. J.*, 69:1019-1023.
- 23) KISSEL, D.F., C.W. RICHARDSON and C. BURNETT. 1976. Losses of nitrogen in surface runoff in the Blackland Prairie of Texas. *J. Environ. Qual.* 5:288-292.
- 24) KISSEL, D.E. and S.J. SMITH, 1978. Fate of fertilizer nitrate applied to coastal bermuda grass on a swelling clay soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42:77-80.
- 25) KOHNKE, H.; F.R. DREIBELBIS and J.M. DAVIDSON, 1940. A survey and discussion of lysimeters and a bibliography on their construction and performance. *Misc. Publ.* N° 372, USDA.

- 26) LAURENT, G.C. y M.A. LÁZZARI, 1986. Absorción del ^{15}N del fertilizante por la planta de trigo en la región semiárida pampeana. Primer Congreso Nacional de Trigo, AIANBA. III: 129-142.
- 27) LAURENT, G.C.; M.A. LÁZZARI y R.L. VICTORIA, 1988. Residual effects of ^{15}N labelled fertilizer in wheat at various stages of growth, in semiarid Argentina. Proc. of the International Congress of Dryland Farming. Amarillo, Texas, EE.UU. 452-454.
- 28) LÁZZARI, M.A. 1982. Distribution of ^{15}N fertilizer in field-lysimeter sown with garlic (*Allium sativum*) and foxtail millet (*Setaria italica*). Plant and Soil 67:187-191.
- 29) LÁZZARI, M.A.; G.C. LAURENT y R.L. VICTORIA, 1991. Fate of autumn and spring applications of labelled ammonium-nitrogen during growth of wheat in semiarid Argentina (Proc. Symp., Vienna, 1990). STI/PUB/845, IAEA, Vienna. 397-399.
- 30) LÁZZARI, M.A.; G.C. LAURENT y R.L. VICTORIA, 1990. Fate of fall and spring applications of labelled ammonium-nitrogen, during growth of wheat in semiarid Argentina. International Symposium on the Use of Stable Isotopes in Plant Nutrition, Soil Fertility and Environmental Studies. IAEA, Vienna. Extended Synopses 43-45. Proc. in press.
- 31) LÁZZARI, M.A. y R.A. ROSELL, 1986. Distribución en fertilizantes marcados con ^{15}N en la rotación ajo-moha. Rev. Facultad de Agronomía, 7:105-110.
- 32) LEGG, J.O. and F.E. ALLISON. 1967. A tracer study of nitrogen balance and residual nitrogen availability with 12 soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 31:403-406.
- 33) LEGG, J.O. and J.J. MEISINGER, 1982. Soil nitrogen Budgets. En: Stevenson, F.J. (ed.). Nitrogen in agricultural soils. Agronomy, 22:503-566.
- 34) MAC VICAR, R.; W.L. GARMAN and R. WALL, 1950. Studies on nitrogen fertilizer utilization using ^{15}N . Soil Sci. Soc. Am. Proc., 15:265-268.
- 35) MARTIN, A.E. AND P.J. ROSS, 1968. A nitrogen balance study using labelled fertilizer in a gas lysimeter. Plant and Soil, 28:182-186.
- 36) MULVANEY, R.L. and R.M. VANDEN HEUVEL, 1988. Evaluation of nitrogen-15 tracer techniques for direct measurement of denitrification in soil: IV. Field studies. Soil Sci. Soc. Am. J., 52:1332-1337.
- 37) MYERS, R.J. and E.A. PAUL, 1971. Plant uptake and immobilization of ^{15}N labelled ammonium nitrate in a field experiment with wheat. En: Nitrogen-15 in soil-plant studies. STI/PUB/278:55-64. IAEA, Vienna.
- 38) OLSON, R.V. 1980. Plot size requirements for measuring residual fertilizer N and N uptake by corn. Soil Sci. Soc. Am. J., 44:428-429.
- 39) OLSON, R.V. and C.W. SWALLOW, 1984. Fate of labelled nitrogen fertilizer applied to Winter Wheat for five years. Soil Sci. Soc. Am. J., 48:583-586.
- 40) OWENS, L.D. 1960. Nitrogen movement and transformations in soils as evaluated by a lysimeter study utilizing isotopic nitrogen. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 24:372-376.
- 41) PATRA, D.D., M.S. SACHDEV, and B.V. SUBBIAR, 1990. ^{15}N balance in a maize-cowpea mixed cropping system. International Symposium on the Use of Stable Isotopes in Plant Nutrition, Soil Fertility and Extended Environmental Studies. IAEA, Vienna. Extended Synopses 145-147. Proc. in press.
- 42) PATWAY, S.U. and Z. RAICOVICH, 1979. Tracer studies on the balances and chemical distribution of applied nitrogen under different moisture regimes using lysimeter. Plant and Soil, 52:209-217.
- 43) POMARES-GARCÍA, F. AND P.F. PRATT. 1978. Recovery of ^{15}N labeled fertilizer from manured and sludge-amended soil. Soil. Sci. Soc. Am. J., 42:717-720.

M. AURORA LAZZARI

- 44) REDDY, K.R. 1982. Nitrogen cycling in a flooded-soil ecosystem planted to rice (*Oriza sativa* L.). *Plant and Soil*, 67:209-220.
- 45) REEDER, J.D. 1986. A nonweighing lysimeter design for field studies using nitrogen-15. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 50:1224-1227.
- 46) RIGA, A., V. FISHER AND H.J. VAN PRAAG, 1980. Fate of fertilizer nitrogen applied to winter wheat as $N_a^{15}NO$ and $(^{15}NH_4)_2 SO_4$ studied in microplots through a four-course rotation. *Soil Sci.* 130:88-99.
- 47) ROBERTSON, G.P. 1982. Regional nitrogen budgets: Approaches and problems. *Plant and Soil*, 67:73-79.
- 48) ROSELL, R.A.; R. MARTÍNEZ and K. SOMMER, 1987. Wheat soil management and N fertilization in semiarid Argentina. *An. Edafol. Agro-biol.* XLVI (11-12):1319-1334.
- 49) ROSKOSKI, J.P. 1982. Nitrogen fixation in a Mexican coffee plantation. *Plant and Soil*. 67:283-291.
- 50) RUSCHEL, A.P. and P.B. VOSE, 1982. Nitrogen cycling in sugarcane. *Plant and Soil*, 67:139-146.
- 51) SALATI, E., R. SYLVESTER-BRADDY and R.L. VICTORIA, 1982. Regional gains and losses of nitrogen in the Amazon basin. *Plant and soil* 67:367-376.
- 52) SÁNCHEZ, P.A. 1982. Nitrogen in shifting cultivation systems of Latin America. *Plant and Soil* 67:91-103.
- 53) SANHUEZA, E. 1982. The role of the atmosphere in nitrogen cycling. *Plant and Soil*, 67:61-71.
- 54) STUMPE, J.M.; P.L. VICK; S.K. MUGHOGHO and F. GANRY, 1989. Microplot size requirements for measuring balances of fertilizer nitrogen-15 applied to maize. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:797-800.
- 55) VALDIVIA VEGA, S. 1982. Nitrogen gains and losses in sugarcane (*Saccharum* sp.) agroecosystems on the coast of Peru. *Plant and Soil*, 67:147-156.
- 56) VLEK, P.L. and E.T. CRASWELL, 1979. Effect of nitrogen source and management on ammonia volatilization losses from flooded rice soil system. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43:352-358.
- 57) WALKER, T.W., A.F. ADAMS and H.D. ORCHISTON. 1956. Fate of labeled nitrate and ammonium nitrogen when applied to grass and clover grown separately and together. *Soil Sci.* 81:339-351.
- 58) ZAMYATINA, V.B. 1971. Nitrogen balance studies using N-labelled fertilizers. En: *Nitrogen-15 in soil-plant studies*. IAEA, Vienna, 33-45.

REQUISITOS PARA PUBLICAR EN LA REVISTA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

La Revista de la Facultad de Agronomía de la UBA es el órgano de difusión de las obras técnico-científicas producidas en la Institución, pudiendo dar cabida a las de otros organismos de similar nivel académico.

Podrá incluir como Misceláneas: informes de investigaciones y/o experimentaciones, revisiones bibliográficas, proposiciones para la enseñanza universitaria, y toda otra contribución de interés agronómico.

Los trabajos a publicar en la Revista deberán satisfacer los siguientes requisitos:

1) Ser originales y significar un avance en la disciplina o tema de referencia.

2) No haber sido publicados anteriormente en forma impresa.

3) Estar redactados concisamente y de acuerdo con las reglas de ortografía y sintaxis de la lengua castellana.

4) Ajustarse a las normas de redacción y estilo de la Revista.

5) Contar con la aceptación del Comité Editor de la Revista y la aprobación de especialistas en la materia o tema de referencia, quienes actuarán como asesores del Comité.

6) Por el sistema de impresión usado en la Revista, los trabajos deberán ser remitidos al Comité Editor escritos mediante microcomputadoras PC compatibles; deberán realizarse en discos tamaño 5 1/4, doble densidad, dos caras (360 Kb). De preferencia deberá usarse como programa el procesador de textos WordPerfect (WP) cualquier versión hasta la 5.1, ó en su defecto, transcribir (exportar) el trabajo como texto a formato ASCII. Deberá escribirse a un espacio y no agregar especificaciones y/o modificaciones de márgenes, salvo en casos de citas u otro tipo de notas especiales dentro del texto. Se enviarán tres copias del trabajo (no el diskette) necesarias para remitir a asesoramiento para la aceptación. Cumplido este requisito el Comité Editor devolverá el trabajo con la aceptación o posibles sugerencias a introducir. El diskette corregido deberá enviarse junto a una copia impresa, con la tipografía especial si fuera necesaria. Si no es posible WP deberá señalarse cuál programa ha sido utilizado. Las figuras y gráficos deberán ajustarse a lo señalado en el punto 14.

En caso de que los trabajos se remitan escritos a máquina, los autores deberán hacerse

cargo de la transferencia al sistema de microprocesador de PC. El costo de este traslado será comunicado una vez que el trabajo sea aceptado para su publicación.

7) Los títulos de los capítulos o partes se colocarán en el centro de la página y los de los sub-capítulos hacia el margen izquierdo. Las páginas serán numeradas sucesivamente, llevando cada una la firma del autor o autores.

8) Deberá procurarse que el título del trabajo comience con una palabra que oriente acerca del contenido, evitando términos como: "contribución", "estudio", "investigación, etc.

9) Las contribuciones llevarán el nombre y dirección postal y el lugar de trabajo del autor o autores.

10) Los llamados al pie de la página, se indicarán con números arábigos, entre paréntesis y a continuación de la palabra correspondiente; la nota respectiva se colocará entre dos rayas intercaladas en el texto, a continuación de la línea en que se encuentre la llamada.

11) Se evitarán abreviaturas y símbolos en los encabezamientos de títulos, cuadros, capítulos, etc. Las fechas serán abreviadas, se evitará el uso de abreviaturas no consagradas y si se usa alguna, las mismas serán explicadas.

12) Se indicará con números arábigos toda cifra que designe cuadros, láminas, tiempo, peso, etc., salvo casos especiales (recetas, etc.) que podrán ir con números romanos. Si la iniciación de un párrafo corresponde a una cifra, esta irá escrita en letras.

Las proporciones que expresan por cien o por mil, se representarán con los símbolos % y ‰. Las cifras que indican millares se separarán con un punto, excepto los casos en que representan años. Los decimales se separarán con

una coma, las fórmulas químicas estructurales así como las relaciones químicas figurarán solamente en casos necesarios evitando su repetición. Las fórmulas estructurales de un mismo trabajo deben agruparse e identificarse con números romanos que servirán de abreviatura en caso de repetirse en el texto. Las fórmulas químicas corrientes no deben emplearse en reemplazo de las correspondientes palabras.

13) Toda transcripción se pondrá entre comillas. Cuando hubiera que hacer resaltar o señalar algún término o expresión se pondrá entre comillas. Si se transcriben cartas, leyes, decretos etc., íntegramente, no es necesario usar comillas siendo preferible en estos casos modificar el tipo de imprenta.

14) Las ilustraciones y gráficos se harán en tinta china sobre papel grueso, cartulina o papel transparente. El tamaño de las letras, números y fechas deberá estar en proporción con los gráficos, teniendo en cuenta que los originales que se envían se reducirán a tamaño de caja o ancho de columna, según los casos.

El sombreado se logrará con líneas o puntos, no mediante lavado. Las leyendas deben ser reunidas, escritas a máquinas y agregadas al final del manuscrito.

En el reverso de cada ilustración o al pie, según el tipo de papel usado deberá escribirse con lápiz, el nombre del autor, el título del trabajo abreviado y el número correspondiente a la figura. Se aceptan figuras realizadas con impresora de computadoras si son nítidas y con trazo intenso similar a las dibujadas.

15) Por el sistema de impresión de la Revista deberá eliminarse la inclusión de fotografías pero, siendo necesarias, el Comité Editor indicará la forma de remisión y el costo del tipo particular de impresión.

16) En lo que se refiere a la acentuación y ortografía, los autores tendrán presente que la autoridad está constituida por la última edición del Diccionario de la Real Academia Española.

17) Los trabajos estarán compuestos de:

- Título
- Nombre del autor
- Resúmenes (castellano e inglés)
- Introducción
- Materiales y Métodos
- Resultados

Discusión o Consideraciones
Conclusiones
Bibliografía Citada

Al final del Resumen y del Summary deberán incluirse las "Palabras Clave y "Key Words" del trabajo.

Si fueran necesarios los "Agradecimientos" se incluirán antes de la "Bibliografía".

18) En la bibliografía sólo figurarán las fuentes citadas en el texto y esa referencia se hará insertando en el lugar que corresponda entre paréntesis el nombre del autor seguido por el año de publicación.

Las citas en la bibliografía por orden alfabético deberán contener los siguientes datos:

- a) Autor (mayúscula)
- b) Año de publicación
- c) Título del artículo
- d) Nombre de la revista o publicación donde aparece el artículo.
- e) Volumen y número de la publicación o revista.
- f) Páginas que comprende el artículo

En el caso de tratarse de libros deberán contener los siguientes datos:

- a) Nombre del autor
- b) Año de publicación
- c) Título
- e) Editor
- e) Editorial
- f) Lugar de publicación
- g) Número de páginas de la obra y número de volumen si hay más de uno.

19) Los requisitos anteriores no corresponden a las Misceláneas, cuya redacción y composición variará según su temática.

20) La publicación de los trabajos será gratuita para los suscriptores de la Revista hasta un máximo de 10 páginas impresas, debiendo los autores abonar las páginas adicionales según la estimación que el Comité comunicará en el momento de aceptarse la impresión.

21) Los autores podrán adquirir apartados de sus trabajos al precio que el Comité Editor comunicará antes de la impresión.