

## Destino del nitrógeno agregado por fertilización en un cultivo de papa en los andes de Venezuela

Fate of applied nitrogen by fertilization in a potato crop of the Venezuelan andes

Z. Abreu<sup>1</sup>, L. Sarmiento<sup>1</sup> y P. Bottner<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ICAE, Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Mérida 5101, Venezuela.

<sup>2</sup>CEFE, CNRS, 1919 Route de Mende, 34293 Montpellier Cedex 05, France.

### Resumen

Se analizó el destino del N agregado por fertilización mineral en una parcela de papa cultivada con 288 kg ha<sup>-1</sup> de N marcado (<sup>15</sup>N) en los páramos venezolanos y se comparó con el balance de N de una parcela sin fertilizar. Se realizaron dos muestreos, a los 91 y 189 días después de la siembra, evaluándose el N total y marcado en la planta y en tres capas de suelo (0-10, 10-20 y 20-30 cm), considerando el N mineral (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), el N de la biomasa microbiana y el N total del suelo. Además, se instalaron lisímetros para cuantificar las pérdidas de N por lixiviación. La producción de tubérculos fue de 14,5 t ha<sup>-1</sup> en la parcela fertilizada y de 1,2 t ha<sup>-1</sup> en la testigo, evidenciando la baja fertilidad intrínseca de los suelos. En la parcela fertilizada, en el primer muestreo, 16% del N agregado se encontraba en la biomasa del cultivo, 76% en el suelo, 3% se había perdido por lixiviación y 5% no fue detectado. En el segundo muestreo 23% del N aplicado se encontraba en la biomasa del cultivo, 39% en el suelo, 6% se había perdido por lixiviación y el 32% faltante no fue detectado y se atribuye a pérdidas gaseosas. El N del fertilizante representó 69% del N total absorbido por el cultivo, indicando la baja disponibilidad de N nativo, a pesar de la gran cantidad de N orgánico presente en el suelo. El 10% del fertilizante marcado fue inmovilizado por la biomasa microbiana durante el primer muestreo, disminuyendo a 7% durante el segundo muestreo. En el primer muestreo predominó el NH<sub>4</sub><sup>+</sup> como forma mineral mientras que en el segundo fue más abundante el NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, evidenciándose el proceso de nitrificación que pudo haber favorecido las pérdidas gaseosas.

**Palabras clave:** balance de nitrógeno, papa, Andes, páramo.

## Abstract

The fate of nitrogen added by mineral fertilization was analyzed in a potato plot cultivated using 288 kg ha<sup>-1</sup> of labeled N (<sup>15</sup>N) in the Venezuelan Moorlands and was compared to the N budget of an unfertilized plot. Two samplings were carried out, 91 and 189 days after planting. The total and labeled N in the potato biomass and in three soil depths (0-10, 10-20 and 20-30 cm) were measured, by considering the mineral N (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> and NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), the N in the microbial biomass and the total N in soil. Lysimeters were used to measure N losses by leaching. The potato yield was 14.5 t ha<sup>-1</sup> in the fertilized plot and 1.2 t ha<sup>-1</sup> in the unfertilized plot, showing the low intrinsic fertility of the soil. In the fertilized plot, at the first sampling date, 16% of the fertilizer N was in the crop biomass, 76% in the soil, 3% was lost by leaching and 5% was undetected for. At the second sampling, 23% of the applied N was in the crop biomass, 39% in the soil, 6% was lost by leaching and 32% was undetected for and probably lost to the atmosphere. N of fertilizer represented 69% of the total N absorbed by crop by showing the little availability of native N, despite the high quantity of N organic present in soil. 10% of labeled fertilizer was unmoved by the microbial biomass during the first sampling by diminishing to 7% during the second sampling. At first sampling, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> as mineral form whereas at second one NO<sub>3</sub><sup>-</sup> was more abundant by evidencing the nitrification process that could favoured the loss gaseous.

**Key-words:** nitrogen budget, potatoes, Andes, paramo.

## Introducción

La papa constituye el principal rubro agrícola de los valles altoandinos venezolanos (21). Para su cultivo se utilizan grandes cantidades de fertilizantes nitrogenados (35) que representan una importante inversión para los productores. Sin embargo, la fracción del N aplicado que es utilizada por el cultivo de papa (eficiencia de uso del N, EUN) es aparentemente muy baja. Sarmiento (30), en un estudio realizado en los páramos venezolanos obtuvo, con una fertilización de 288 kg N.ha<sup>-1</sup>, una EUN inferior a 16%. En la literatura se señalan eficiencias entre 10 y 80%, dependiendo del tipo de fertilizante, tiempo

## Introduction

Potato constitutes the main agricultural crop of Venezuelan High Andes valleys (21). For its cultivation higher quantities of nitrogenous fertilizers are used (35) that represent an important inversion for producers. However, the fraction of N applied that is used by potato cultivation (N use efficiency, EUN) is apparently very little. Sarmiento (30) in a study accomplished at Venezuelan Moorlands, by using a fertilization of 288 kg N.ha<sup>-1</sup>, a EUN inferior to 16%. In the literature, efficiencies between 10 and 80%, depending on fertilizer type, application, soil type and climatic conditions are reported.

de aplicación, tipo de suelo y de las condiciones climáticas, considerándose aceptable valores superiores al 50% (34), que están considerablemente por encima del valor mencionado para el cultivo de papa en la zona del páramo venezolano. El N aplicado no absorbido por el cultivo puede permanecer en el suelo o perderse por lixiviación, desnitrificación o volatilización, desconociéndose la magnitud de cada proceso en el caso de los Andes venezolanos. Una EUN baja no sólo afecta los costos de producción sino que las pérdidas de N pueden constituir un problema grave para el ambiente y la salud humana.

Para entender la baja EUN en el cultivo de papa y el destino del N no absorbido es necesario cuantificar los diferentes procesos del balance del N, lo que puede contribuir a optimizar el uso de los fertilizantes. A pesar del interés económico y ambiental de esta temática, existen muy pocos trabajos sobre el ciclo de N en cultivos de papa en condiciones de alta montaña tropical, particularmente con variedades locales.

En este trabajo se planteó analizar la dinámica del N en un cultivo de papa en los páramos venezolanos, evaluando la distribución del fertilizante nitrogenado en los diferentes compartimientos del agroecosistema (suelo, planta, biomasa microbiana), algunos flujos internos (absorción, inmovilización) y flujos de salida (lixiviación, pérdidas gaseosas). Con este fin se utilizó un fertilizante marcado con  $^{15}\text{N}$ , que permitió distinguir el N proveniente del fertilizante del N nativo del suelo.

Values superior to 50% (34) are considered acceptable, over value mentioned for potato crop in Venezuelan Andes. N applied unabsorbed by crop can keep on soil or being lost through leaching, denitrification or volatilization whose magnitude is unknown at Venezuelan Andes. A little EUN not only affect the production costs, the N losses could constitute a serious trouble for environment and human health.

With the purpose of understand the little EUN on potato cultivation and fate of N unabsorbed, it is necessary to quantity the different process of N balance, which could contribute to optimizing the fertilizers use. Despite the economical and environmental interest of this theme, there is little researches about the N cycle in potato crops on high tropical mountain conditions, especially with local varieties.

In this work it is analyzed the N dynamics in a potato crop at Venezuelan Andes by evaluating the distribution of nitrogenous fertilizer in the different agro ecosystem compartments (soil, plant, microbial biomass), some internal fluxes (absorption, immobilization) and output fluxes (leaching, gaseous losses). A fertilizer labeled with  $^{15}\text{N}$  that permitted to distinguishes N come from fertilizer of native N from soil.

## Materials and methods

Research was carried out in Gaviria Moorland, located at 8° 40' N and 70° 55' W, in the National Park Sierra Nevada, Cordillera de Merida,

## Materiales y métodos

El estudio se realizó en el Páramo de Gavidia, localizado a 8° 40' N y 70° 55' O, en el Parque Nacional Sierra Nevada, en la Cordillera de Mérida, a 3300 msnm. La precipitación promedio en el área es de 1300 mm, con un período seco entre diciembre y marzo, en el cual las heladas son frecuentes, restringiendo la actividad agrícola. La temperatura media anual de 8,5°C. El suelo es un inceptisol (Ustic Humitropept) con una profundidad total de 70 cm. Algunas características del suelo en la capa arable, entre 0 y 30 cm de profundidad son (30): textura franco-arenosa (55% arena, 14% arcilla), alta pedregosidad (23% v/v), alto contenido de C orgánico (9,95%) y de N (0,61%) y pH fuertemente ácido (4,53).

El manejo empleado por los productores de la zona se basa en la utilización de descansos largos. Períodos de cultivo de uno a cuatro años, en los cuales se cultivan en rotación papas y cereales, alternan con descansos de cinco a más de diez años (31). El ciclo de cultivo se inicia con un primer arado, cinco meses antes de la siembra, que incorpora la vegetación como abono verde, luego se realiza la siembra, durante la cual se ara nuevamente y se coloca la semilla y el fertilizante mineral. Se cultivan papas de ciclo largo (cinco a ocho meses) de la subespecie *andigenum* (papa de color).

### Descripción del experimento

Se cultivaron dos parcelas adyacentes, una testigo y otra fertilizada, ambas con condiciones similares de topografía, pendiente, exposición y tipo

to 3300 msnm. The mean rainfall is of 1300 mm, with a dry period between December and March in which freezes are frequent by becoming restricted the agricultural activity. The annual mean temperature is 8.5°C. Soil is an inceptisol (Ustic Humitropept) with a total depth of 70 cm. Some soil characteristics between 0 and 30 cm depth are (30): sandy soil texture (55% sand, 14% clay), high pedregosity (23% v/v), high content of organic C (9.95%) and of N (0.61%) and pH strongly acid (4.53).

Management used by region producers is based on utilization of long rests. Cultivation times of 1 to 4 years, in which potatoes and cereals are cultivated in rotation, alternated in rests of 5 to 10 years or more (31). Crop cycle beginning with a first plough, five months before sowing that incorporates the vegetation as green manure, after the sowing is accomplished and plough is made again and seed and natural fertilizer are placed on. Potatoes of long cycle are cultivated (five to eight months) of sub specie *andigenum* (color potato).

### Description of experiment:

Two adjacent plots were cultivated, one of control and the other one fertilized, both in similar topography conditions, pending, exposition and soil type and with a previous rest of seven years. Seed ("red potato") was provided by local agricultural people. Plot preparation, cut and incorporation of vegetation to soil was made on November 26, 1999 and sowing was made on April 07,

de suelo y con un descanso previo de siete años. La semilla ("papa roja") fue provista por los agricultores locales. La preparación de la parcela, corte e incorporación de la vegetación al suelo, se realizó el 26/11/1999 y la siembra se efectuó el 07/04/2000. El área de las parcelas fue de 19 m<sup>2</sup>, con cinco surcos simples de 4,75 m de largo, espaciados a 0,90 m. La distancia entre plantas fue de 0,25 m, lo que equivalió a una densidad de siembra de 44.444 plantas ha<sup>-1</sup>. Se planificaron cuatro muestreos durante el ciclo de cultivo pero sólo se realizaron dos, debido a que después del primer muestreo, realizado 91 días después de la siembra, ocurrió una helada excepcional, el 10/07/2000, que afectó las plantas, pudiéndose realizar únicamente un segundo muestreo al momento de la cosecha (189 días después de la siembra).

La dosis de fertilizante utilizada fue la promedio en la zona (30) equivalente a 288 kg de N.ha<sup>-1</sup> (6,48 g N.planta<sup>-1</sup>), 288 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.ha<sup>-1</sup> (2,83 g P.planta<sup>-1</sup>) y 144 kg de K<sub>2</sub>O.ha<sup>-1</sup> (2,68 g K.planta<sup>-1</sup>). Se agregaron 2,31 g N.planta<sup>-1</sup> en forma de <sup>15</sup>NH<sub>4</sub>Cl, con un enriquecimiento isotópico de 13%, y para complementar la dosis de N se utilizó (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> y (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a razón de 15,4 y 8,6 g.planta<sup>-1</sup> respectivamente. El K se agregó en forma de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, en dosis de 6,48 g.planta<sup>-1</sup>. La dosis correspondiente a cada planta fue mezclada con 2 kg de suelo y distribuida alrededor de la semilla con la ayuda de un marco de madera de 20 x 20 cm. El enriquecimiento isotópico, después de mezclar el <sup>15</sup>NH<sub>4</sub>Cl con los otros fertilizantes nitrogenados, fue de 4,2%.

2000. Plots area was of 19 m<sup>2</sup> with five simple rows of 4.75 m long spaced to 0.90 m. Distance between plants was 0.25 m which was equivalent to a sowing distance of 44.444 plants.ha<sup>-1</sup>. Four samplings were planned during crop cycle but only two were accomplished because after the first sampling, made 91 days after sowing occurred an exceptional freeze, 10/07/2000 that affected plants, and the second sampling was made at the moment of harvest (189 days after sowing).

Fertilizer dose used was the mean at zone (30) equivalent to 288 kg of N.ha<sup>-1</sup> (6.48 g N.plant<sup>-1</sup>), 288 kg of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.ha<sup>-1</sup> (2.83 g P.plant<sup>-1</sup> and 144 kg of K<sub>2</sub>O.ha<sup>-1</sup> (2.68 g K.plant<sup>-1</sup>). 2.31 g N.plant<sup>-1</sup> were added as <sup>15</sup>NH<sub>4</sub>Cl, with an isotopic enrichment of 13% and for complementing N dose, it was used (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> and (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> at a reason of 15.4 and 8.6 g.plant<sup>-1</sup> respectively. K was added like K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> in doses of 6.48 g.plant<sup>-1</sup>. The corresponding dose to each plant was mixed with 2 kg of soil and distributed around seed with aid of a framework of 20 x 20 cm. The isotopic enrichment after mixing <sup>15</sup>NH<sub>4</sub>Cl with the other nitrogenous fertilizers was 4.2%.

The first and the last row were left as a edge, by taking the sampling only at three central rows; plants of edge were left also, without taking the sampling those plants without another plant around her. In each sampling, the aerial part, the tuber and roots were collected, until 30 cm depth, of nine plants by plot for quantifying the biomass and its content of total N and <sup>15</sup>N. Besides,

El primer y último surco fueron dejados como borde, muestreándose únicamente en los tres surcos centrales. También se dejaron plantas de borde, no muestreando en ningún caso plantas que no estuvieran rodeadas por otras por todos sus lados. En cada uno de los muestreos se recolectó la parte aérea, los tubérculos y las raíces, hasta 30 cm de profundidad, de nueve plantas por parcela, para cuantificar la biomasa y su contenido de N total y  $^{15}\text{N}$ . Además se recolectó todo el suelo a tres profundidades (0-10, 10-20 y 20-30 cm) usando un marco de 90 x 25 cm para delimitar el área correspondiente a cada planta. El suelo de cada profundidad fue tamizado a 4 mm, pesado y homogeneizado en el campo para tomar una muestra de aproximadamente 1 kg, utilizada para analizar N y  $^{15}\text{N}$  de los siguientes compartimientos:  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ , biomasa microbiana (BM) y N total en cada profundidad.

Para evaluar las pérdidas de N por lixiviación, se instalaron 8 lisímetros cerrados en la parcela fertilizada. Estos fueron construidos con cilindros metálicos de lámina galvanizada, de una superficie de 0,225 m<sup>2</sup>, calculada en función de la superficie correspondiente a una planta según la densidad de siembra. Los lisímetros tenían una altura de 35 cm y presentaban una abertura en el fondo a la cual se conectaba una manguera para recoger el agua de drenaje. Los lisímetros fueron llenados con suelo y piedras respetando la densidad aparente y el porcentaje de piedras correspondiente a cada estrato de suelo de 10 cm para reproducir lo

all the soil at three depths was collected (0-10, 10-20, and 20-30 cm) by using a framewood of 90 x 25 cm for delimiting area corresponding to each plant. Soil in each depth was sieved to 4 mm, weighted and homogenized in field to take a sample of approximately 1 kg used for analyzing N and  $^{15}\text{N}$  of the following compartments:  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ , microbial biomass (MB) and the total N in each depth.

For evaluating N losses by leaching, 8 closed lysimeters were placed on the fertilized plot that were built with metallic cylinders of galvanized sheet, of a surface corresponding to one plant according to sowing quantity. Lysimeters had a height of 35 cm and it showed an opening at the bottom to which one hose was connected for catching water by drainage. Lysimeters were filled with soil and rocks by respecting the apparent density and the rocks percentage corresponding to each soil stratum of 10 cm with the purpose of reproducing the plot conditions in the better way possible. Once drainage began, the water volume was measured weekly and a sample of 500 ml was taken from each lysimeter which were frozen to  $-15^\circ\text{C}$ . With the water collected weekly, a monthly composed sample which was analyzed for total N and  $^{15}\text{N}$ .

#### Chemical analysis:

Total N determinations in vegetal tissue were made by triplicate by using the Kjeldahl method. N of MB was determined with the fumigation-extraction method (2). Three repetitions of fresh soil equivalent to

mejor posible las condiciones de la parcela. En cada lisímetro se sembró una planta, la cual recibió la misma dosis de fertilizante que las de la parcela. Una vez iniciado el drenaje se midió semanalmente el volumen de agua y se tomó una muestra de 500 ml de cada lisímetro, las cuales fueron congeladas a  $-15^{\circ}\text{C}$ . Con el agua colectada semanalmente se preparó una muestra compuesta mensual, la cual fue analizada para N total y  $^{15}\text{N}$ .

#### Análisis químicos

Las determinaciones de N total en tejido vegetal se realizaron por triplicado utilizando el método de Kjeldahl. El N de la BM se determinó con el método de fumigación-extracción (2). Tres repeticiones de suelo fresco, equivalente a 40 g de suelo seco, fueron fumigadas por 18 h con cloroformo libre de alcohol. Después de remover el cloroformo, los suelos fumigados y tres testigos de suelo no fumigado fueron extraídos con  $\text{K}_2\text{SO}_4$  1N (proporción suelo:solución 1:5). El N total de los testigos y de los fumigados se determinó por digestión y destilación (método de Kjeldahl). El N de la BM fue calculado como la diferencia entre fumigados y testigos dividida por el factor 0,54 (12). Este método también permite calcular el nitrógeno extraíble, que es el N total medido en los extractos testigo. El nitrógeno mineral ( $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$ ) se determinó usando tres repeticiones de suelo tamizado equivalente a 40 g de suelo seco, los cuales fueron extraídos con 150 ml de  $\text{K}_2\text{SO}_4$  1N. Para la determinación del  $\text{NH}_4^+$  el extracto fue destilado agregando MgO y para el  $\text{NO}_3^-$  agregando aleación Devarda y

40 g of dry soil were fumigated during 18 hours with chloroform (alcohol free). After removing chloroform, the fumigated soils and three soil controls without fumigation were extracted with  $\text{K}_2\text{SO}_4$  1N (proportion soil:solution 1:5). Total N of control and those fumigated was determined by digestion and distillation (Kjeldahl method). N of MB was calculated like the difference between fumigated and controls divided by 0.54 factor (12). This method permits to calculate the extractable nitrogen that is the total N measured on control extracts. Mineral nitrogen ( $\text{NH}_4^+$  and  $\text{NO}_3^-$ ) was determined by using three sieved soil repetitions equivalent to 40 g of dry soil, which were extracted with 150 ml of  $\text{K}_2\text{SO}_4$  TN. For determining  $\text{NH}_4^+$ , extract was distilled by adding MgO and for  $\text{NO}_3^-$  by adding Devarda and MgO alloy (13). For N analysis in drainage water the Kjeldahl method by using 300 ml of sample.

Once drainage water extracts, mineral and microbial nitrogen were labeled, pH was adjusted between 3 and 4 by adding  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1N for avoiding N losses and after the samples were evaporated until obtaining ammonium sulphate crystals whose isotopic abundance was analyzed by mass spectrometry. Soil and plants were finally grounded and analyzed for the total N and  $^{15}\text{N}$  by using a CHN analyzer and mass spectrometry.

Data processing and statistical analysis:

With the isotopic abundance (A), the isotopic excess was calculated:  $E = A - 0.3663$  (7). N proportion from

MgO (13). Para el análisis de N en el agua de drenaje se utilizó el método de Kjeldahl, utilizándose 300 ml de la muestra.

Una vez titulados los extractos del agua de drenaje, nitrógeno mineral y microbiano, el pH fue ajustado entre 3 y 4 agregándole  $H_2SO_4$  1N para evitar pérdidas de N y luego las muestras fueron evaporadas hasta obtener cristales de sulfato de amonio, cuya abundancia isotópica se analizó por espectrometría de masas. Las muestras de suelo y planta fueron molidas finamente y analizadas para N total y  $^{15}N$  utilizando un analizador CHN y espectrometría de masas.

Procesamiento de los datos y análisis estadísticos

Con la abundancia isotópica (A) se calculó el exceso isotópico:  $E = A - 0,3663$  (7). La proporción de N proveniente del fertilizante (NDF) en cada compartimiento (planta, nitrógeno mineral, biomasa microbiana, etc.) fue determinada como el cociente entre el exceso isotópico del compartimiento y el del fertilizante (32). La eficiencia en el uso del fertilizante (EUN) fue calculada como el cociente entre el N en la biomasa del cultivo en el momento de la cosecha y el N aplicado por fertilización. Las diferencias entre los tratamientos se evaluaron mediante un test de T.

## Resultados y discusión

Biomasa y nitrógeno en las plantas

La biomasa del cultivo fue mayor en el tratamiento fertilizado que en el testigo en los dos muestreos y para todos los órganos analizados

fertilizer (NFF) in each compartment (plant, mineral nitrogen, microbial biomass, etc) was determined like the quotient between the isotopic excess of compartment and fertilizer (32). Efficiency on fertilizer use (EUN) was calculated like the quotient between N in the crop biomass at the moment of harvest and N applied by fertilization. Differences between treatments were evaluated by a T test.

## Results and discussion

Biomass and plants nitrogen:

Crop biomass was higher in fertilized treatment than in control at two samplings and for all analyzed organs (table 1). At the first sampling the differences were significative ( $P < 0.05$ ) only for the aerial biomass whereas at the second one were significative ( $P < 0.05$ ) for every organ. At the first sampling the aerial biomass represented the higher percentage of the total biomass (57%) whereas at the second one the higher proportion corresponded to tubers (76%).

In the fertilized plot, the production on fresh weight of tubers was 10 times higher than in control,  $14.5 t \cdot ha^{-1}$  and  $1.2 t \cdot ha^{-1}$  respectively. In this sense, Halitligil *et al.* (8) found in sandy soils at Turquia, an increase on the production by a factor 2 between plots without fertilizing and fertilized with  $400 kg N \cdot ha^{-1}$ . In this study, the production increased by a factor of 10, despite of using a lower fertilization ( $288 kg N \cdot ha^{-1}$ ). The low fertility intrinsic of these soils can be explained by the low rates of



(cuadro 1). En el primer muestreo las diferencias fueron significativas ( $P < 0,05$ ) sólo para la biomasa aérea, mientras que en el segundo fueron significativas ( $P < 0,05$ ) para todos los órganos. En el primer muestreo la biomasa aérea representó el mayor porcentaje de la biomasa total (57%), mientras que en el segundo muestreo la mayor proporción correspondió a los tubérculos (76%).

En la parcela fertilizada la producción en peso fresco de tubérculos fue 10 veces mayor que en la testigo,  $14,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  y  $1,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  respectivamente. En este sentido, Halitligil *et al.* (8) encontraron, en suelos arenosos en Turquía, un incremento de la producción por un factor 2 entre parcelas sin fertilizar y fertilizadas con  $400 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ . En el presente estudio, la producción aumentó por un factor de 10, a pesar de utilizar una fertilización menor ( $288 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). La baja fertilidad intrínseca de estos suelos puede explicarse por las bajas tasas de mineralización de la materia orgánica, atribuibles al pH ácido, a los complejos entre la materia orgánica y el aluminio y a las bajas temperaturas (4, 31).

Los valores de biomasa presentaron en ambas parcelas una alta desviación estándar (cuadro 1), indicando una gran variabilidad entre individuos en estos cultivos sembrados utilizando semillas artesanales, con coeficientes de variación que superaron el 100%.

La concentración de N fue, en ambos muestreos, significativamente mayor ( $P < 0,05$ ) en el tratamiento fertilizado para todas las partes de la

mineralización de la materia orgánica, causada por el pH ácido, a los complejos entre la materia orgánica y el aluminio y a las bajas temperaturas (4, 31).

Biomass values showed in both plots a high standard deviation (table 1) by indicating a great variability between individuals in these crops sowed by using craft seeds with variation coefficients of more than 100%.

The N concentration was in both samplings, significantly higher ( $P < 0,05$ ) in the fertilized treatment for every parts of plant by founding the higher concentrations in the aerial part, followed by roots and tubers (table 1). Variability of this parameter was so lower than for biomass, with variation coefficients inferior to 25%.

Nitrogen comes from fertilizer (% NFF) was 75% of the total nitrogen of the plant at the first sampling and 71% at second (table 2). Tran and Giroux (32) reported values of % NFF of 53 to 69% for potato in temperate climate and they were considered high for a dose of  $140 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Robert *et al.* (26) said that between the 42 and 54% of N of tubers in harvest came from fertilizer in cultivar Russet Burbank. Halitligil *et al.* (8) found a mean value of 60% for potato crops fertilized with  $400 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ . The value of % NFF obtained in this study is on the superior limit reported for potato, which indicates the low availability of native N in moorland soils again, despite the high quantity of organic matter that they have. However, the fertilization promoted the absorption of N native from soil

**Cuadro 1. Biomasa, concentración de N y cantidad de N en los diferentes órganos de la planta para las dos fechas de muestreo. Promedio  $\pm$  desviación estándar (n=9). Se indican los porcentajes del total por órgano. Letras diferentes indican diferencias significativas entre parcelas (P<0,05, test de t).**

**Table 1. Biomass, N concentration and N quantity in the different plant organs at several sampling times. Mean  $\pm$  standard deviation (n=9). Percentages of total by organ are showed. Different letters indicate significative differences between plots (P<0,05, t test).**

	Biomasa (g.m <sup>-2</sup> )			Nitrógeno (%)			Nitrógeno (g.m <sup>-2</sup> )			
	Parcela testigo	Parcela fertilizada	%	Parcela testigo	Parcela fertilizada	%	Parcela testigo	Parcela fertilizada	%	
91 días										
Biomasa aérea	16,9 $\pm$ 8,4a	49,3	84,5 $\pm$ 94,9b	57,3	2,9 $\pm$ 0,2a	5,9 $\pm$ 0,8b	0,49 $\pm$ 0,26a	67,8	4,56 $\pm$ 4,90b	77,0
Raíces	9,7 $\pm$ 4,3a	28,4	14,5 $\pm$ 13,2a	9,8	1,5 $\pm$ 0,2a	3,5 $\pm$ 1,2b	0,14 $\pm$ 0,06a	19,7	0,41 $\pm$ 0,34b	6,8
Tubérculos	7,6 $\pm$ 6,4a	22,3	48,5 $\pm$ 78,9a	32,9	1,3 $\pm$ 0,2a	2,3 $\pm$ 0,5b	0,09 $\pm$ 0,07a	12,5	0,96 $\pm$ 1,43a	16,2
Total	34,2 $\pm$ 17,1a	100	147,4 $\pm$ 177,9a	100			0,72 $\pm$ 0,36a	100	5,94 $\pm$ 6,44b	100
189 días										
Biomasa aérea	14,3 $\pm$ 10,2a	33,9	81,2 $\pm$ 27,9b	21,2	3,6 $\pm$ 0,4a	4,8 $\pm$ 0,7b	0,49 $\pm$ 0,36a	55,9	3,77 $\pm$ 1,25b	38,4
Raíces	4,7 $\pm$ 2,6a	11,2	11,7 $\pm$ 8,0b	3,0	1,5 $\pm$ 0,3a	2,4 $\pm$ 0,5b	0,07 $\pm$ 0,03a	7,5	0,29 $\pm$ 0,23b	2,9
Tubérculos	23,2 $\pm$ 19,9a	54,9	290,8 $\pm$ 149,2b	75,8	1,4 $\pm$ 0,2a	1,9 $\pm$ 0,3b	0,33 $\pm$ 0,28a	36,6	5,77 $\pm$ 3,24b	58,7
Total	42,2 $\pm$ 30,2a	100	383,7 $\pm$ 169,8b	100			0,89 $\pm$ 0,61a	100	9,83 $\pm$ 3,91 b	100

planta, encontrándose las mayores concentraciones en la parte aérea, seguida por las raíces y los tubérculos (cuadro 1). La variabilidad de este parámetro fue mucho menor que para la biomasa, con coeficientes de variación inferiores al 25%.

El nitrógeno proveniente del fertilizante (%NDF) fue 75% del nitrógeno total de la planta en el primer muestreo y 71% en el segundo (cuadro 2). Tran y Giroux (32) reportaron valores de %NDF de 53 a 69% para papa en clima templado y los consideraron altos para una dosis de 140 kg N.ha<sup>-1</sup>. Robert *et al.* (26) encontraron que entre 42 y 54% del N de los tubérculos en la cosecha provino del fertilizante en el cultivar Russet Burbank. Halitligil *et al.* (8) encontraron un valor promedio de 60% para cultivos de papa fertilizados con 400 kg N.ha<sup>-1</sup>. El valor de %NDF obtenido en este estudio está en el límite superior de lo reportado para papa, lo que indica nuevamente la baja disponibilidad de N nativo en suelos de páramo, a pesar de la gran cantidad de materia orgánica que contienen. Sin embargo, la fertilización promovió la absorción de N nativo del suelo, que fue considerablemente mayor en la parcela fertilizada (2,89 g.m<sup>-2</sup>) que en la testigo (0,89 g.m<sup>-2</sup>).

La EUN en la cosecha fue 23%, aunque pudo ser mayor, ya que como señalan Tran y Giroux (32) este parámetro puede subestimarse en la cosecha final, debido a pérdidas de N por caída de las hojas, pluviolavado de las hojas senescentes y descomposición de las raíces. El valor de 23% es bajo comparado con el rango entre 61 a 67%

that was considerably higher in the fertilized plot (2.89 g.m<sup>-2</sup>) than in control (0.89 g.m<sup>-2</sup>). The EUN in harvest was of 23% although could be higher as reported by Tran and Giroux (32) this parameter can be sub estimated in the final harvest because the N losses by leaves fallen, senescent leaves washed with rainfall water and decomposition of roots. Value of 23% is low in comparison with the range between 61 to 67% obtained in potato by Roberts *et al.* (26) with 42% obtained by Halitligil *et al.* (8) with a fertilization of 400 kg N ha<sup>-1</sup> or with the 61% obtained by Mac Donald *et al.* (20) with a fertilization similar to this study. This low EUN could not be attributed uniquely to the effect of freeze because it was superior to value of 16% reported by Sarmiento (30) for the same region. On the other hand, freeze effect on the production do not seem to be high, since 14.5 t.ha<sup>-1</sup> obtained are not above the mean of 18 t.ha<sup>-1</sup> reported in region for plot with rests superior to 5 years (30). Fertilizer applied once, as usual in region, also could affect in a negative way the EUN, being recommended the fractioning of applications (6, 36, 37).

#### Soil nitrogen

N of MB increased with fertilization being 30% higher in the fertilized treatment than in control during the first sampling for that of soil profile (significant difference to P=0.06). The difference in the MB between the plots was only significant to P<0.05 for the depth 20 to 30 cm (table 3). In the second sampling there were no significant

**Cuadro 2. Nitrógeno nativo y proveniente del fertilizante (NDF) en los distintos órganos de la planta en la parcela fertilizada. Promedios  $\pm$  desviación estándar (n=9).**

**Table 2. Native nitrogen and nitrogen from fertilizer (NFF) in the different plant organs at the fertilized plot. Means  $\pm$  standard deviation (n=9).**

		N nativo (gN.m <sup>-2</sup> )	NDF (gN.m <sup>-2</sup> )	%NDF
91 días	Biomasa aérea	1,05 $\pm$ 0,93	3,53 $\pm$ 3,99	77,0
	Raíces	0,12 $\pm$ 0,08	0,29 $\pm$ 0,27	71,4
	Tubérculos	0,31 $\pm$ 0,40	0,65 $\pm$ 1,03	67,6
	Total	1,48 $\pm$ 0,49	4,47 $\pm$ 1,78	75,1
189 días	Biomasa aérea	1,04 $\pm$ 0,33	2,74 $\pm$ 0,95	72,6
	Raíces	0,07 $\pm$ 0,06	0,22 $\pm$ 0,17	74,7
	Tubérculos	1,78 $\pm$ 0,97	3,99 $\pm$ 2,29	69,2
	Total	2,89 $\pm$ 0,86	6,94 $\pm$ 1,92	70,5

obtenido en papa por Roberts *et al.* (26), con el 42% obtenido por Halitligil *et al.* (8) con una fertilización de 400 kg N.ha<sup>-1</sup> o con el 61% obtenido por MacDonald *et al.* (20) con una fertilización muy similar a la usada en este trabajo. Esta baja EUN no puede atribuirse únicamente al efecto de la helada ya que fue superior al valor de 16% reportado por Sarmiento (30) para la misma zona. Por otra parte el efecto de la helada sobre la producción no parece haber sido muy grande, ya que las 14,5 t.ha<sup>-1</sup> obtenidas no están muy por debajo del promedio de 18 t.ha<sup>-1</sup> reportado en la zona para parcelas con descansos mayores a cinco años (30). El haber realizado una sola aplicación del fertilizante, como es habitual en la zona, también pudo afectar negativamente la EUN, recomendándose en ese sentido el fraccionamiento de las aplicaciones (6, 36, 37).

differences between plots, by being watched a diminishing of N-MB respect to the first sampling especially at lawyer of 0 to 10 cm. There are numerous reports about in the microbial biomass occurs an initial increase of NFF (no mobilization) and after a liberation (mineralization) (1, 3, 16, 23). This agree with our results in where is evident a diminishing of N in the MB between the two sampling accomplished which suggests the protector role of microorganisms on the fertilizer.

The percentage of MB represented, in soil profile, a 26 and 30% of the total microbial N at the first and second sampling (table 4). Besides, it was observed a decrease on the percentage of NFF of the MB with the depth, especially at the first sampling in which it pass of 46% in the stratum 0 to 10 cm to 12% between 20 and 30 cm.

## Nitrógeno del suelo

El N de la BM aumentó con la fertilización, siendo 30% mayor en el tratamiento fertilizado que en el testigo durante el primer muestreo para el conjunto del perfil del suelo (diferencia significativa a  $P=0,06$ ). La diferencia en la BM entre las parcelas sólo fue significativa a  $P<0,05$  para la profundidad 20 a 30 cm (cuadro 3). En el segundo muestreo no hubo diferencias significativas entre parcelas, observándose una disminución del N-BM con respecto al primer muestreo, principalmente en la capa de 0 a 10 cm. Existen numerosos reportes de que la biomasa microbiana experimenta un aumento inicial del NDF (inmovilización) y luego una liberación (mineralización) del mismo (1, 3, 16, 23). Esto coincide con los resultados de esta investigación donde se evidencia una disminución del N de la BM entre los dos muestreos realizados, lo que sugiere el papel protector de los microorganismos sobre el fertilizante.

El %NDF de la BM representó, en el conjunto del perfil del suelo, un 26 y 30% del N microbiano total en el primer y segundo muestreo respectivamente (cuadro 4). Además se observó una disminución del %NDF de la BM con la profundidad, sobre todo en el primer muestreo, en el cual pasó de 46% en el estrato 0 a 10 cm a 12% entre 20 y 30 cm.

El N mineral total (NM) fue 10 veces mayor en la parcela fertilizada que en la testigo, con diferencias significativas ( $P<0,05$ ) entre los estratos de suelo y entre los dos muestreos (cuadro 3). En el tratamiento fertili-

The total mineral N (MN) was 10 times superior in the fertilized plot than in control, with significative differences ( $P<0.05$ ) between the soil stratum and between the two samplings (table 3). In the fertilized treatment it was observed a decrease on the MN between the two samplings, whereas in control the values differed so little between the two samplings. At the first sampling, 83% of MN came from fertilizer, by increasing to 58% in the second sampling (table 4). Also, it was observed a decrease on the percentage of NFF of the mineral compartment with the soil depth. MN native quantity was twice higher in the fertilized plot than in control during the first sampling and three times higher the second one, by suggesting an stimulation of mineralization by fertilization.

During the first sampling, the predominant inorganic form in the fertilized plot was  $\text{NH}_4^+$  by representing the 87% of MN, because ammoniacal fertilizer was applied. The higher part of  $\text{NH}_4^+$  was found in the first soil substratum, which is related to the application way of fertilizer. For the second sampling a decrease of  $\text{NH}_4^+$  it was observed, especially in the fertilized treatment and at the first stratum and an increase in values of  $\text{NO}_3^-$  in the same treatment.

Values of  $\text{NO}_3^-$  in the two samplings were higher in the fertilized treatment than in control. In the second sampling the native  $\text{NO}_3^-$  was higher than from fertilizer (table 4). The  $\text{NO}_3^-$  was the unique

**Cuadro 3.** Cantidad de N en el suelo ( $\text{g m}^{-2}$ ) que se encuentre en la biomasa microbiana (N-BM), en forma de nitrógeno mineral total (NM), como amonio, como nitrato y como nitrógeno orgánico extraíble (N Org. Ext) en las distintas profundidades para la parcela testigo y fertilizada. Promedio  $\pm$  desviación estándar ( $n=9$ ). Letras distintas indican diferencias significativas entre las parcelas para cada fecha de muestreo ( $P<0,05$ , test de T).

**Table 3.** N quantity in soil ( $\text{g m}^{-2}$ ) present in the microbial biomass (N-MB), such as total mineral nitrogen (NM), ammonium, nitrate and extractable organic nitrogen (N Org. Ext) at the several depths for the control and the fertilized plot. Mean  $\pm$  standard deviation ( $n=9$ ). Different letters shows significative differences between plots for each sampling date ( $P<0,05$ , T test).

	Prof. (cm)	91 días		189 días	
		Parcela testigo	Parcela fertilizada	Parcela testigo	Parcela fertilizada
N-BM	0-10	2,41 $\pm$ 0,96a	3,47 $\pm$ 2,44a	1,24 $\pm$ 0,35a	1,59 $\pm$ 0,90a
	10-20	2,65 $\pm$ 0,24a	2,99 $\pm$ 0,55a	2,63 $\pm$ 1,24a	3,15 $\pm$ 1,33a
	20-30	1,39 $\pm$ 0,61a	2,17 $\pm$ 0,69b	1,79 $\pm$ 0,41a	2,25 $\pm$ 0,67a
NM	0-30	6,45 $\pm$ 1,16a	8,64 $\pm$ 2,97a	5,66 $\pm$ 1,82a	6,99 $\pm$ 1,48a
	0-10	0,39 $\pm$ 0,08a	12,89 $\pm$ 2,26b	0,39 $\pm$ 0,09a	3,46 $\pm$ 2,58b
	10-20	0,49 $\pm$ 0,16a	3,32 $\pm$ 2,28b	0,68 $\pm$ 0,40a	4,15 $\pm$ 2,14b
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	20-30	0,58 $\pm$ 0,45a	1,50 $\pm$ 1,08b	0,47 $\pm$ 0,16a	3,04 $\pm$ 0,88b
	0-30	1,47 $\pm$ 0,33a	17,71 $\pm$ 4,54b	1,54 $\pm$ 0,63a	10,66 $\pm$ 5,02b
	0-10	0,06 $\pm$ 0,02a	12,34 $\pm$ 2,13b	0,03 $\pm$ 0,02a	2,53 $\pm$ 2,44b
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	10-20	0,08 $\pm$ 0,04a	2,48 $\pm$ 2,04b	0,06 $\pm$ 0,04a	1,58 $\pm$ 1,48b
	20-30	0,09 $\pm$ 0,06a	0,69 $\pm$ 0,68b	0,03 $\pm$ 0,02a	0,27 $\pm$ 0,02b
	0-30	0,24 $\pm$ 0,06a	15,51 $\pm$ 4,13b	0,13 $\pm$ 0,04a	4,29 $\pm$ 3,58b
N Org. Ext.	0-10	0,32 $\pm$ 0,06a	0,55 $\pm$ 0,29b	0,36 $\pm$ 0,08a	0,93 $\pm$ 0,25b
	10-20	0,42 $\pm$ 0,13a	0,84 $\pm$ 0,47b	0,62 $\pm$ 0,37a	2,57 $\pm$ 0,72b
	20-30	0,49 $\pm$ 0,41a	0,81 $\pm$ 0,42a	0,44 $\pm$ 0,17a	2,86 $\pm$ 0,73b
N Org. Ext.	0-30	1,23 $\pm$ 0,30a	2,20 $\pm$ 0,99b	1,41 $\pm$ 0,61a	6,37 $\pm$ 1,49b
	0-10	0,64 $\pm$ 0,10a	0,81 $\pm$ 0,62a	0,40 $\pm$ 0,15a	0,37 $\pm$ 0,20a
	10-20	0,69 $\pm$ 0,17a	0,44 $\pm$ 0,19b	1,05 $\pm$ 0,32a	3,12 $\pm$ 4,21a
20-30	1,47 $\pm$ 1,23a	0,52 $\pm$ 0,46a	0,75 $\pm$ 0,12a	2,07 $\pm$ 0,99b	
	2,79 $\pm$ 1,44a	1,78 $\pm$ 0,81a	2,19 $\pm$ 0,56a	5,57 $\pm$ 5,06a	

Cuadro 4. Nitrogeno, en g.m<sup>-2</sup>, nativo del suelo y proveniente del fertilizante (NDF) que se encuentra en la biomasa microbiana (N-BM), como nitrogeno mineral (NM) y como nitrogeno organico extraible (N.Org. Ext.) en la parcela fertilizada para las distintas profundidades del suelo (Prof.) en los dos muestreos realizados. Promedio  $\pm$  desviacion estandar (n=9).

Table 4. Nitrogen, in g.m<sup>-2</sup>, soil native and come from fertilizer (NFF) that is in the microbial biomass (N-MB), such as mineral nitrogen (NM) and as extractable organic nitrogen (N.Org. Ext.) in the fertilized plot for several soil depths (0-10, 10-20, 20-30 cm) in the two sampling accomplished. Mean  $\pm$  standard deviation (n=9).

Prof.	91 días			189 días			
	N nativo	NDF	%NDF	N nativo	NDF	%NDF	
N-BM	0-10	1,87 $\pm$ 0,52	1,59 $\pm$ 1,94	46,0	1,15 $\pm$ 0,57	0,43 $\pm$ 0,42	27,8
	10-20	2,57 $\pm$ 0,45	0,43 $\pm$ 0,17	14,4	2,21 $\pm$ 1,19	0,94 $\pm$ 0,93	30,2
	20-30	1,92 $\pm$ 0,60	0,25 $\pm$ 0,15	11,6	2,02 $\pm$ 0,65	0,24 $\pm$ 0,48	10,5
NM	0-30	6,36 $\pm$ 1,26	2,28 $\pm$ 2,02	26,4	5,38 $\pm$ 1,57	1,61 $\pm$ 0,87	29,9
	0-10	1,26 $\pm$ 0,41	11,64 $\pm$ 2,03	90,3	0,81 $\pm$ 0,30	2,65 $\pm$ 2,27	76,6
	10-20	1,16 $\pm$ 0,53	2,16 $\pm$ 1,79	65,2	1,63 $\pm$ 0,61	2,52 $\pm$ 1,53	60,7
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0-30	0,68 $\pm$ 0,38	0,83 $\pm$ 0,77	54,9	2,06 $\pm$ 0,55	0,98 $\pm$ 0,33	32,3
	10-20	3,09 $\pm$ 1,17	14,62 $\pm$ 3,63	82,6	4,50 $\pm$ 1,33	6,15 $\pm$ 3,71	57,7
	20-30	1,08 $\pm$ 0,36	11,26 $\pm$ 1,89	91,3	0,44 $\pm$ 0,12	2,09 $\pm$ 2,12	82,8
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0-10	0,73 $\pm$ 0,42	1,74 $\pm$ 1,65	70,4	0,46 $\pm$ 0,31	0,06 $\pm$ 0,01	22,3
	10-20	0,24 $\pm$ 0,17	0,45 $\pm$ 0,55	65,6	0,21 $\pm$ 0,03	3,27 $\pm$ 2,82	74,7
	20-30	2,05 $\pm$ 0,86	13,46 $\pm$ 3,35	86,8	1,11 $\pm$ 0,81	0,57 $\pm$ 0,18	60,6
N.Org Ext.	0-10	0,18 $\pm$ 0,12	0,38 $\pm$ 0,23	67,9	0,37 $\pm$ 0,12	1,40 $\pm$ 0,51	54,4
	10-20	0,42 $\pm$ 0,24	0,42 $\pm$ 0,26	49,5	1,17 $\pm$ 0,22	0,94 $\pm$ 0,30	32,9
	20-30	0,44 $\pm$ 0,24	0,37 $\pm$ 0,23	45,9	1,92 $\pm$ 0,43	2,91 $\pm$ 0,90	45,7
N.Org Ext.	0-30	1,04 $\pm$ 0,52	0,15 $\pm$ 0,25	52,9	3,46 $\pm$ 0,59	0,03 $\pm$ 1,13	8,1
	0-10	0,66 $\pm$ 0,45	0,04 $\pm$ 0,09	9,09	2,24 $\pm$ 3,31	0,88 $\pm$ 3,24	28,2
	10-20	0,40 $\pm$ 0,52	0,06 $\pm$ 0,16	11,5	0,98 $\pm$ 1,78	1,09 $\pm$ 1,05	52,7
20-30	0,46 $\pm$ 0,24	0,06 $\pm$ 0,16	11,5	0,98 $\pm$ 1,78	1,09 $\pm$ 1,05	52,7	
0-30	1,52 $\pm$ 0,54	0,25 $\pm$ 0,18	14,0	3,56 $\pm$ 1,99	2,01 $\pm$ 2,58	36,1	

zado se observó una apreciable disminución en la cantidad del NM entre los dos muestreos, mientras que en el testigo los valores difirieron muy poco entre los dos muestreos. En el primer muestreo, el 83% del NM provino del fertilizante, pasando a 58% en el segundo muestreo (cuadro 4). También se observó una clara disminución del %NDF del compartimiento mineral con la profundidad del suelo. La cantidad de NM nativo fue dos veces mayor en la parcela fertilizada que en la testigo durante el primer muestreo y tres veces mayor en el segundo, sugiriendo una estimulación de la mineralización por la fertilización.

Durante el primer muestreo, la forma inorgánica predominante en la parcela fertilizada fue  $\text{NH}_4^+$ , representando 87% del NM, debido posiblemente a que se aplicó fertilizante amoniacal. La mayor parte del  $\text{NH}_4^+$  se encontró en el primer estrato del suelo, lo que se relaciona con la forma de aplicación del fertilizante. Para el segundo muestreo se observó una marcada disminución del  $\text{NH}_4^+$ , principalmente en el tratamiento fertilizado y en el primer estrato y un aumento en los valores de  $\text{NO}_3^-$  en el mismo tratamiento.

Los valores de  $\text{NO}_3^-$  en los dos muestreos fueron mayores en el tratamiento fertilizado que en el testigo. En el segundo muestreo la cantidad de  $\text{NO}_3^-$  nativo fue mayor que el proveniente del fertilizante (cuadro 4). El  $\text{NO}_3^-$  fue el único compartimiento que mostró un incremento de un muestreo a otro, probablemente debido a la nitrificación del  $\text{NH}_4^+$  agregado.

Los valores de N orgánico

compartiment que showed an increase to another, probably because the nitrification of  $\text{NH}_4^+$  added.

Values of extractable organic N (table 3) in the first sampling were no different between treatments. In the second sampling it was observed an increase on the extractable organic N in the fertilized treatment, specifically in the stratum 10 to 20 and 20 to 30 cm, but only with significative differences ( $P < 0.05$ ) at the last stratum.

The total N of soil decreased between samplings because the absorption by crop and the losses by different ways. The difference between the total quantity of marked N present in soil and the sum of mineral, microbial and extractable compartments is equivalent to the non extractable organic N formed from fertilizer. This non extractable organic N increased of  $1.58 \pm 6.65 \text{ g.m}^{-2}$  in the first sampling to  $2.94 \pm 2.18 \text{ g.m}^{-2}$  in the second one, by evidencing the organization to organic forms of mineral N.

Leached nitrogen

Drainage began in May, after rainy season beginning and it reached a maximum value of 9 mm in July (table 5). The little drained water value, 7 mm, corresponded to November, at the end of rainy season. The accumulated drainage in all period was the 27% of rainfall. N leached reached the maximum in June, coinciding with the maximum rainfall. The total N lost by leaching was  $5.28 \text{ g.m}^{-2}$  from which 38.5% came from fertilizer. N losses by leaching represented a 6% of the applied fertilizer despite the important volume of drained water. When the crop



extraíble (cuadro 3) en el primer muestreo no difirieron mucho entre los dos tratamientos. En el segundo muestreo se observó un incremento en el N orgánico extraíble en el tratamiento fertilizado, específicamente en los estratos 10 a 20 y 20 a 30 cm, pero sólo con diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en el último estrato.

El N marcado total del suelo disminuyó apreciablemente entre muestreos, debido a la absorción por el cultivo y a las pérdidas por diversas vías. La diferencia entre la cantidad total de N marcado presente en el suelo y la suma de los compartimientos mineral, microbiano y extraíble, equivale al N orgánico no extraíble formado a partir del fertilizante. Este N orgánico no extraíble aumentó de  $1,58 \pm 6,65 \text{ g.m}^{-2}$  en el primer muestreo a  $2,94 \pm 2,18 \text{ g.m}^{-2}$  en el segundo, evidenciándose la organización a formas orgánicas del N mineral agregado.

#### Nitrógeno lixiviado

El drenaje se inició en mayo, dos meses después del comienzo de las lluvias y alcanzó un valor máximo de 99 mm en julio (cuadro 5). El menor valor de agua drenada, 7 mm, correspondió al mes de noviembre, al final del período de lluvias. El drenaje acumulado en todo el período fue el 27% de la precipitación. El N lixiviado alcanzó el máximo en junio, coincidiendo con la máxima precipitación. El N total perdido por lixiviación fue  $5,28 \text{ g.m}^{-2}$  del cual el 38,5% provino del fertilizante. Las pérdidas de N por lixiviación representaron únicamente un 6% del fertilizante aplicado, a pesar del importante volumen de agua

cycle passed, the percentage of N came from fertilizer in the drainage water increased, probably because to the nitrification process of  $\text{NH}_4^+$  which would favoured the N losses by leaching. Errebhi *et al.* (6) reported for cultivated potato with  $270 \text{ kg N.ha}^{-1}$  values of  $\text{NO}_3^-$  leached between 100 to  $200 \text{ kg N.ha}^{-1}$  and between 71 to  $96 \text{ kg N.ha}^{-1}$  in two years of sampling, respectively, by attributing the high losses of the first year to strong rainfalls at the beginning of crop cycle. Other authors have reported values of N leached between 78 to  $220 \text{ kg N.ha}^{-1}$  (10, 29). Uniü *et al.* (33) found values of N lost by leaching of 20 and 28% for doses of 400 and  $1000 \text{ kg N.ha}^{-1}$  respectively, in a sandy soil cultivated with potato of "granola" variety. These values were higher than those obtained in the study, although it has be considered that N dose used was little. It is necessary to continue with this evaluations about N leached since leaching is considered like one of principals ways of loss of N in the agro ecosystems and the little losses occurred are notables.

#### Nitrogen balance

Table 6 shows the N balance for both samplings. In the first sampling, 95% of N applied was recovered, 76% in soil, 15.6% in the crop biomass and 3.2% in the drained water. The 5% remaining could be lost by gaseous way or be found in the system and it was not detected by methodological errors. From N in soil 61% was is mineral form, 10% in the MB and 6% like No extractable organic N.

In the second sampling, it was detected 69% of N added only; 23% in the crop biomass, 40% in soil and 6%

**Cuadro 5. Precipitación, drenaje y contenidos de N total y de N del fertilizante en el agua drenada obtenidos en la parcela fertilizada. Promedios  $\pm$  desviación estándar (n=8).**

**Table 5. Rainfall, drainage and N total contents and N fertilizer contents in the drained water obtained in the fertilized plot. Mean  $\pm$  Standard deviation (n=8).**

Mes	Precipitación (mm)	Drenaje (mm)	N total (g.m <sup>-2</sup> )	N fertilizante (g.m <sup>-2</sup> )	(%NDF)	N total acumulado (g.m <sup>-2</sup> )	NDF acumulado (g.m <sup>-2</sup> )
Mayo	195,0	30,4 $\pm$ 3,8	0,02 $\pm$ 0,01	0,003 $\pm$ 0,001	18	0,02	0,00
Junio	385,0	72,4 $\pm$ 9,8	1,44 $\pm$ 0,67	0,35 $\pm$ 0,29	24	1,46	0,35
Julio	329,9	99,1 $\pm$ 4,8	1,26 $\pm$ 0,76	0,58 $\pm$ 0,38	46	2,72	0,93
Agosto	196,0	43,6 $\pm$ 11,0	0,41 $\pm$ 0,27	0,24 $\pm$ 0,25	58	3,13	1,17
Septiembre	219,0	73,5 $\pm$ 1,5	0,93 $\pm$ 0,64	0,40 $\pm$ 0,29	43	4,06	1,57
Octubre	126,0	81,9 $\pm$ 9,7	1,11 $\pm$ 0,87	0,41 $\pm$ 0,37	36	5,17	1,98
Noviembre	44,0	7,3 $\pm$ 4,3	0,11 $\pm$ 0,07	0,06 $\pm$ 0,05	53	5,28	2,04

drenado. A medida que transcurrió el ciclo del cultivo se incrementó el porcentaje de N proveniente del fertilizante en el agua de drenaje debido probablemente a los procesos de nitrificación del  $\text{NH}_4^+$ , los cuales favorecerían las pérdidas de N por lixiviación. Errebhi *et al.* (6) reportaron para papa cultivada con 270 kg  $\text{N}\cdot\text{ha}^{-1}$  valores de  $\text{NO}_3^-$  lixiviado entre 100 a 200 kg  $\text{N}\cdot\text{ha}^{-1}$  y entre 71 a 96 kg  $\text{N}\cdot\text{ha}^{-1}$  en dos años de muestreo respectivamente, atribuyéndose las grandes pérdidas del primer año a fuertes lluvias al inicio del ciclo de cultivo. Otros autores han reportado valores de  $\text{NO}_3^-$  lixiviados entre 78 a 220 kg  $\text{N}\cdot\text{ha}^{-1}$  (10, 29). Unlü *et al.* (33) encontraron valores de N perdido por lixiviación de 20 y 28% para dosis de 400 y 1000 kg  $\text{N}\cdot\text{ha}^{-1}$ , respectivamente, en un suelo arenoso cultivado con papa de la variedad granola. Estos valores fueron más altos que los obtenidos en este trabajo, aunque se debe considerar que la dosis de N utilizada fue menor. Se considera necesario proseguir con estas evaluaciones del N lixiviado ya que la lixiviación se considera como una de las principales vías de pérdidas de N en los agroecosistemas y llama la atención las bajas pérdidas ocurridas.

#### Balance de nitrógeno

En el cuadro 6 se presenta el balance de N para ambos muestreos. En el primer muestreo, 95% del N aplicado fue recuperado: 76% en el suelo, 15,6% en la biomasa del cultivo y 3,2% en el agua drenada. El 5% restante pudo haberse perdido por vía gaseosa o encontrarse todavía en el sistema y no fue detectado por erro-

in the drainage water. The 32% remaining that were not in the system nor was lost by drainage could be lost by gaseous way through denitrification and volatilization process. From 40% of N that was in soil, 19% was in mineral form, especially like  $\text{NO}_3^-$ ; 7% in the microbial biomass and 13% in organic form. It have been reported that between 1.4 to 18% of N added is recovered in the microbial biomass, being the obtained value in this work, inside of this rank. N accumulation in the microbial biomass shows the importance of this compartment in the regulation of cycle of this element (17, 28). It is important to detach the progressive transformation of N of fertilizer to organic forms soluble and no soluble. If N is included in the MB as a part of organic N in soil, approximately the 20% of N of fertilizer it was in this way at the end of experiment. This value result comparable to the 15% reported by Mac Donald *et al.* (20). Residual mineral N quantity represented 19% of NFF, a superior value to 6% obtained by Mac Donald *et al.* (20) with a similar fertilization.

N fraction applied no recovered in the second sampling was of 32% which represented 9.2 g  $\text{m}^{-2}$ . In general, between 5 to 40% of N marked added as mineral fertilizer it not recovered (5, 9, 24, 25), being attributed to losses by leaching and denitrification. For potato crop, Maldi *et al.* (18) reported values between 7.8 and 45.2% including all kind of losses and Mac Donald *et al.* (20) found a value of 18% inferior to 38% obtained in this work, if leaching is included.

**Cuadro 6. Balance de N en la parcela fertilizada. Los valores son el porcentaje del fertilizante agregado (28,8 g N.m<sup>-2</sup>) recuperado en los distintos compartimientos del agroecosistema, perdido por lixiviación o por otras vías en los dos muestreos.**

**Table 6. N balance in the fertilized plot. Values are the percentage of the added fertilizer (28,8 g N.m<sup>-2</sup>) recovered at the several compartments of agroecosystem, lost by leaching or for other ways at two samplings.**

		91 días	189 días
Planta	Biomasa aérea	12,3±13,9	10,3±3,2
	Raíces	1,0±0,9	0,5±0,2
	Tubérculos	2,3±3,7	11,8±5,7
	Total planta	15,6±17,9	22,6±4,3
Suelo	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	56,7±24,9	8,8±8,4
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	4,4±1,7	10,3±3,8
	N biomasa microbiana	9,7±10,7	7,0±3,2
	N orgánico extraíble	0,0	3,0±8,2
	N orgánico no extraíble	5,5±23,1	10,2±7,5
	Total suelo	76,3±28,2	39,3±6,7
Lixiviación	3,2±2,3	6,3±3,9	
Otras pérdidas <sup>1</sup>	4,9±3,7	31,8±10,2	

<sup>1</sup>Se incluye todo el nitrógeno no perdido por lixiviación ni encontrado en ninguno de los compartimientos analizados.

res metodológicos. Del N que se encontraba en el suelo 61% estaba en forma mineral, 10% en la BM y 6% como N orgánico no extraíble.

En el segundo muestreo sólo se detectó 69% del N agregado: 23% en la biomasa del cultivo, 40% en el suelo y 6% en el agua de drenaje. El 32% restante, que no se encontraba en el sistema ni fue perdido por drenaje, pudo perderse por vía gaseosa a través de los procesos de desnitrificación y volatilización. Del 40% del N que se encontraba en el suelo 19% estaba en forma mineral, principalmente como NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; 7% en la biomasa microbiana y

However, the value obtained is higher for being attributed only to losses by gaseous way, although the important concentrations of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> at the moment of harvest. Koops *et al.* (15) showed rates of potential denitrification, in free conditions of O<sub>2</sub> and with abundant NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, of 1 g.m<sup>-2</sup>.day<sup>-1</sup> but real losses measured in agricultural plots of 1.0 to 2.5 g.ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup>. The IPCC (Inter governmental Panel on Climate Change, 11) use a value of 1.25% of N added to crops, which not explain the losses of 32% found in this work. Ruser *et al.* (27) reported in potato,

13% en forma orgánica. Se ha reportado que entre 1,4 a 18% del N agregado es recuperado en la biomasa microbiana, estando el valor obtenido en este trabajo dentro de este rango. La acumulación de N en la biomasa microbiana muestra la importancia de este compartimiento en la regulación del ciclado de este elemento (17, 28). Es importante resaltar la progresiva transformación del N del fertilizante a formas orgánicas solubles e insolubles. Si se incluye el N de la BM como parte del N orgánico del suelo, aproximadamente el 20% del N del fertilizante se encontraba en esta forma al final del experimento. Este valor resulta comparable al 15% reportado por MacDonald *et al.* (20). La cantidad de N mineral residual representó 19% del NDF, valor superior al 6% obtenido por MacDonald *et al.* (20) con una fertilización similar.

La fracción del N aplicado no recuperada en el segundo muestreo fue de 32%, lo que representó 9,2 g.m<sup>-2</sup>. En general se señala que entre el 5 a 40% del N marcado agregado como fertilizante mineral no se recupera (5, 9, 24, 25), atribuyéndose a pérdidas por lixiviación y desnitrificación. Para el cultivo de papa, Maidl *et al.* (18) reportaron valores entre 7,8 y 45,2% incluyendo todos los tipos de pérdidas y MacDonald *et al.* (20) encontraron un valor de 18%, inferior al 38% obtenido en este trabajo si se incluye la lixiviación. Sin embargo, se cree que el valor obtenido es muy alto para ser atribuido sólo a pérdidas por vía gaseosa, a pesar de las concentraciones importantes de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> al momento de la

losses by denitrification of 5% of applied fertilizer.

Besides denitrification, also could be occur losses by ammonium volatilization. Orozco (22) pointed out that outputs of N by this way are appreciated when higher quantities of ammoniacal fertilizer and when the applications are made superficially. However, the mean losses by volatilization reported are in the order of 3% of N applied (14).

Other possible output ways of N no detected could be losses by ammonium volatilization from senescent tissues or in decomposition. Mannheim *et al.* (19) said that important quantities of N by ammonium volatilization during the leaves decomposition. In this experiment, this loss can be occurred during the decomposition of potato leaves affected by freeze or during the natural process of senescence of aerial biomass occurred before harvest. Also, estimation errors in the different stages of sampling, especially to homogenize the soil for taking samples, and the realization of earthing, in where despite the cares taken, soil from neighbors plants could be mixed and some of N applied could be lost, and thus, N no recovered can be explained. Taking into account these possibilities, the gaseous losses could be little, although it is necessary to carry out new evaluations, since apparently it represents the principal loss of N in these agro ecosystems. It is important to carry out direct measurements of losses by gaseous way, since in this work the estimations are made by differences in balance.

cosecha. Koops *et al.* (15) señalaron tasas de desnitrificación potencial, en condiciones libres de  $O_2$  y con abundante  $NO_3^-$ , de  $1 \text{ g.m}^{-2}.\text{día}^{-1}$ , pero pérdidas reales medidas en parcelas agrícolas del orden de 1,0 a  $2,5 \text{ g.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ . El IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 11) utiliza un valor de 1,25% del N adicionado a los cultivos, el cual no explica las pérdidas de 32% encontradas en este trabajo. Por su parte, Ruser *et al.* (27) reportaron, en papa, pérdidas por desnitrificación del 5% del fertilizante aplicado.

Además de la desnitrificación también pudieron ocurrir pérdidas por volatilización del amonio. Orozco (22) señaló que las salidas del N por esta vía son apreciables cuando se utilizan grandes cantidades de fertilizantes amoniacales y cuando las aplicaciones se hacen superficialmente. Sin embargo, las pérdidas promedio por volatilización reportadas están en el orden de 3% del N aplicado (14).

Otras posibles vías de salida del N no detectado pudieron ser pérdidas por volatilización de amonio a partir de los tejidos senescentes o en descomposición. Mannheim *et al.* (19) señalaron que pueden perderse cantidades importantes de N por volatilización durante la descomposición de las hojas. En el presente experimento, este tipo de pérdida puede haber ocurrido durante la descomposición de las hojas de papa afectadas por la helada o durante el proceso natural de senescencia de la biomasa aérea ocurrido antes de la cosecha. También, errores de estimación en las distintas etapas del muestreo, principalmente al homogeneizar el suelo para tomar

## Conclusion

As in other experiments carried out in Moorland soils, the fertilizer nitrogen use efficiency was so little because the important gaseous losses. In this sense, it is important to made an agricultural management that permit to increase this efficiency which could be achieved with the fractioning of fertilizer applications, by considering that this varieties are of long cycle. On the other hand, a little mineralization of native N of soil was manifested. Mineralization rates of organic matter could increase by elevating the pH through liming practice, but in this way, it also could increase the losses by denitrification because the microbial activity would increase too, so it is necessary to be careful about this. Finally, the high heterogeneity between plants in the parameters of growing has a negative incidence on crop production. This aspect could be improved by using certificate seed, or with a better management of craft seeds that agricultural people uses.

## Acknowledgements

This research is a part of Project TROPANDES (European Union , INCO DC. ERBIC18CT98-0263) and it receipt additional financing of Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (C-1071-01-01EM) and Integrated Post Graduate Studies in Ecology (Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología – FONACIT). Authors want to express their acknowledges to Z. Mendez, by

las muestras, y además en la realización del aporque, donde pese a los cuidados tenidos pudo haberse mezclado suelo de las plantas vecinas y perderse algo del N aplicado, pueden explicar parte del N no recuperado. Tomando en cuenta estas posibilidades, las pérdidas gaseosas pudieran ser menores, aunque es necesario realizar nuevas evaluaciones, ya que aparentemente estas representan la principal pérdida de N en estos agroecosistemas. Sobre todo es importante realizar mediciones directas de las pérdidas por vía gaseosa, ya que en este trabajo las estimaciones se realizan por diferencias en el balance.

## Conclusión

Al igual que en otros experimentos realizados en suelos de páramo, la eficiencia de utilización del nitrógeno del fertilizante fue muy baja, probablemente debido a las importantes pérdidas gaseosas. En este sentido resulta importante realizar un manejo agronómico que permita aumentar esta eficiencia, lo que podría lograrse con el fraccionamiento de las aplicaciones de fertilizante, considerando que son variedades de ciclo largo. Por otro lado, se puso de manifiesto una mineralización baja del N nativo del suelo. Las tasas de mineralización de la materia orgánica podrían aumentarse elevando el pH a través de la práctica del encalado, pero de esta forma también podrían aumentarse las pérdidas por desnitrificación, ya que se aumentaría en general la actividad microbiana, así que es necesario ser

chemical analysis and to N. Marquez, A. Olivo, D. Machado, C. Diaz and D. Acevedo by field work, and to M. Monasterio, TROPANDES Project Coordinator in Venezuela, and especially to Gavidia community.

*End of english version*

---

cuidadoso en ese sentido. Finalmente, la alta heterogeneidad entre plantas en los parámetros del crecimiento incide negativamente en la producción del cultivo. Este aspecto podría mejorarse utilizando semilla certificada, o en su defecto con un mejor manejo de las semillas artesanales que los mismos agricultores de la zona utilizan.

## Agradecimientos

Esta investigación forma parte del proyecto TROPANDES (Unión Europea, INCO-DC, ERBIC18CT98-0263) y recibió financiamiento adicional del CDCHT (C-1071-01-01EM) y Postgrados Integrados en Ecología (FONACIT). Queremos agradecer la colaboración de Z. Méndez en los análisis químicos y de N. Márquez, A. Olivo, D. Machado, C. Díaz y D. Acevedo en el trabajo de campo. Así mismo agradecemos a M. Monasterio, coordinadora del proyecto TROPANDES en Venezuela y muy especialmente a la comunidad de Gavidia.

## Literatura citada

1. Amato, M. y J. Ladd. 1980. Studies of nitrogen immobilization and

- mineralization in calcareous soils. V. Formation and distribution of isotope-labelled biomass during decomposition of  $^{14}\text{C}$ - and  $^{15}\text{N}$ -labelled plant material. *Soil Biol. Biochem.* 12:405-411.
2. Brookes, P., A. Landman, G. Pruden, y D. Jenkinson. 1985. Chloroform fumigation and release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen of soil. *Soil Biol. Biochem.* 17(6):837-842.
  3. Carter, M. y D. Rennie. 1984. Nitrogen transformations under zero and shallow tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:1077-1081.
  4. Coûteaux, M., L. Sarmiento, P. Bottner, D. Acevedo y J. Thiery. 2002. Decomposition of standard plant material along an altitudinal transect (65-3968 m) in the tropical Andes. *Soil Biol. Biochem.* 34(1):69-78.
  5. Dowdell, R., C. Webster, D. Hill y E. Mercer. 1984. A lysimeter study of the fate of fertilizer nitrogen in spring barley crops grown on a shallow soil overlying chalk: crop uptake and leaching losses. *J. Soil Sci.* 35:169-181.
  6. Errebhi, M., C. Rosen, S. Gupta y D. Birong. 1998. Potato yield response and nitrate leaching as influenced by nitrogen management. *Agron. J.* 90:10-15.
  7. Guiraud, G. 1984. Contribution du marquage isotopique à l'évaluation des transferts d'azote entre les compartiments organiques et minéraux dans les systèmes sol-plante. Tesis de Doctorado. Université Pierre et Marie Curie. Paris. 335 p.
  8. Halitligil, M., A. Akin y A. Ylbeyi. 2002. Nitrogen balance of N-15 applied ammonium sulphate to irrigate potatoes in sandy textured soils. *Biol. Fertility Soils.* 35:369-378.
  9. Hauck, R. 1973. Nitrogen tracers in nitrogen cycles studies-Past use and future needs. *J. Environ. Qual.* 2:317-327.
  10. Hill, A. 1986. Nitrate and chloride distribution and balance and continuous potato cropping. *Agric., Ecosyst. Environ.* 15:267-280.
  11. IPCC. 1997. Greenhouse gas emissions from agricultural soil. En: *Greenhouse Gas Inventory Reference Manual*. Meteorological office. Bracknell U.K. 140 p.
  12. Joergensen, R. y T. Mueller. 1996. The fumigation-extraction method to estimate soil microbial biomass: calibration of the  $k_{EN}$  value. *Soil Biol. Biochem.* 28:33-37.
  13. Keeney, D. y D. Nelson. 1982. Nitrogen-inorganic forms. p. 635-698. En: Page, A.L. Miller, R.H. y D.R. Keeney (Eds.). *Method of soil analysis*. Part 2. 2<sup>nd</sup> Edition.
  14. Kroeze, C., R. Aerts, N. van-Breemen, D. van-Dam, K. van-der-Hoek, P. Hofschreuder, M. Hoosbeek, J. de Klein, H. Kros, H. van-Oene, O. Oenema, A. Tietema, R. van-der-Veer y W. de-Vries. 2003. Uncertainties in the fate of nitrogen: I. An overview of sources of uncertainty illustrated with a Dutch case study. *Nutr. Cycling Agroecosyst.* 66:43-69.
  15. Koops, J., O. Oenema y M. Van Beusichem. 1996. Denitrification in the top and sub soil of grassland on peat soils. *Plant Soil.* 184:1-10.
  16. Ladd, J., J. Oades y M. Amato. 1981. Microbial biomass forms from  $^{14}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$ -labelled plant material decomposing in soils in the field. *Soil Biol. Biochem.* 13:119-126.
  17. Lindberg, T., T. Bonde, L. Bergstrom, R. Pettersson, T. Rosswall y J. Schnürer. 1989. Distribution of  $^{15}\text{N}$  in the soil-plant system during a four-year field lysimeter study with barley (*Hordeum distichum* L.) and perennial meadow fescue (*Festuca pratensis* Huds.). *Plant Soil* 119:25-37.
  18. Maidl, F., H. Brunner y E. Sticksel. 2002. Potato uptake and recovery of nitrogen 15-enriched ammonium nitrate. *Geoderma* 105:167-177.



19. Mannheim, T., J. Braschkat y H. Marsschner. 1997. Ammonia emissions from senescing plants and during decomposition of crop residues. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 160:125-132.
20. MacDonald, A., P. Poulton, D. Powlson y D. Jenkinson. 1997. Effects of season, soil type and cropping on recoveries, residues and losses of  $^{15}\text{N}$ -labelled fertilizer applied to arable crops in spring. *J. Agric. Sci.* 129:125-154.
21. Ministerio de Producción y Comercio. 1999. Potencialidades agrícolas del estado Mérida. Venezuela. Informe Técnico. 78 p.
22. Orozco, F. 1999. Biología del Nitrógeno. Conceptos básicos sobre sus transformaciones biológicas. Tomo I. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 231 p.
23. Paul, E. y N. Juma. 1981. Mineralization and immobilization of soil nitrogen by microorganisms. p. 179-195. En: F.E. Clark y T. Rosswall (Eds.) *Terrestrial Nitrogen Cycles. Processes, ecosystems strategies and management impacts.* Ecology bulletin. (Stockholm).
24. Pilbeam, C., P. Gregory, B. Tripathi, y R. Munankarmy. 2002. Fate of nitrogen- $^{15}$ -labelled fertilizer applied to maize-millet cropping systems in the mid-hills of Nepal. *Biol. Fertility Soils* 35:27-34.
25. Power, J. 1981. Nitrogen in the cultivated ecosystem. p. 529-546. En: F.E. Clark y T. Rosswall (Eds.) *Terrestrial Nitrogen Cycles. Processes, ecosystems strategies and management impacts.* Ecology bulletin. (Stockholm).
26. Roberts, S., H. Cheng, y F. Farrow. 1991. Potato uptake and recovery of Nitrogen- $^{15}$ -enriched ammonium nitrate from periodic applications. *Agron. J.* 83:378-381.
27. Ruser, R., H. Flessa, R. Schilling, F. Beese y J.C. Munch. 2001. Effect of crop-specific field management and N fertilization on  $\text{N}_2\text{O}$  emissions from fine-loamy soil. *Nutr. Cycling Agroecosyst.* 59:177-191.
28. Rutherford, P. y N. Juma. 1989. Shoot, root, soil and microbial nitrogen dynamics in two contrasting soils cropped to barley (*Hordeum vulgare* L.). *Biol. Fertility Soils* 8:134-143.
29. Saffigna, P., D. Keeney y C. Tanner. 1977. Nitrogen, chloride, and water balance with irrigated Russet Burbank potatoes in a sandy soil. *Agron. J.* 69:251-257.
30. Sarmiento, L. 1995. Restauration de la fertilité dans un système agricole à jachère longue des hautes Andes du Venezuela. Tesis de Doctorado. Universidad de Paris XI. 237 p.
31. Sarmiento, L. y P. Bottner. 2002. Carbon and nitrogen dynamics in two soils with different fallow times in the high tropical Andes: indications for fertility restoration. *Appl. Soil Ecol.* 553:1-11.
32. Tran, T. y M. Giroux. 1991. Effects of N rates and harvest dates on the efficiency of  $^{15}\text{N}$ -labelled fertilizer on early harvested potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Can. J. Soil Sci.* 71:519-532.
33. Ünlü, K., G. Özenirler y C. Yurteri. 1999. Nitrogen fertilizer leaching from cropped and irrigated sandy soil in central Turkey. *Eur. J. Soil Sci.* 50:609-620.
34. Van Keulen, H y J. Wolf. 1986. Modelling of agricultural production: weather, soils, crops, Pudoc. Wageningen. 479 p.
35. Velásquez, N. 2001. El sistema socio-ambiental andino venezolano y la modernización de la agricultura. 1930-1995. Tesis de doctorado. Postgrado de Ecología Tropical. Facultad de Ciencias. Universidad de los Andes. Mérida. Venezuela. 185 p.

36. Waddell, J., S. Gupta, J. Moncrief, C. Rosen y D. Steele. 1999. Irrigation and nitrogen management effects on potato yield, tuber quality, and nitrogen uptake. *Agron. J.* 91:991-997.
37. Westerman, D., G. Kleinkopft y L. Porter. 1988. Nitrogen fertilizer efficiencies on potatoes. *Am. Potato J.* 65:377-386.