

Mineralización de nitrógeno en suelos de pasturas con *Arachis pintoii*

Nitrogen mineralization from soils under *Arachis pintoii*-based pastures

Braulio Valles de la Mora^a, Georg Cadisch^b, Epigmenio Castillo Gallegos^a

RESUMEN

Existe una falta de información acerca del papel de las leguminosas forrajeras para mejorar la fertilidad del suelo en pasturas nativas tropicales en México. En esta vegetación, la continua incorporación de residuos de leguminosas forrajeras introducidas al suelo puede contribuir, a partir del N contenido en su materia orgánica, a restaurar su fertilidad. Con el fin de determinar la mineralización de N proveniente de la leguminosa forrajera *A. pintoii* asociada a pasturas nativas, se usaron los métodos de incubación anaeróbica (ANA) y aeróbica (AER) en Ultisoles, a 0-5, 5-15 y 15-30 cm de profundidad, en cuatro sitios de pasturas nativas de Veracruz, México. Cada sitio tenía 3, 5, 8 y 11 años asociado a *Arachis pintoii*. En todos los casos la tasa de mineralización decreció con la profundidad. AER confirmó los resultados de ANA, ya que sólo el sitio con 5 años asociado a *A. pintoii* mineralizó más N ($207 \pm 3.4 \mu\text{g N g}^{-1}$ suelo) que los sitios no asociados ($166 \pm 3.1 \mu\text{g N g}^{-1}$ suelo). Se mineralizó más N en los primeros 5 cm de suelo ($104 \pm 7.0 \mu\text{g N g}^{-1}$) que a 5-15 cm de profundidad ($70 \pm 5.4 \mu\text{g N g}^{-1}$). No se encontraron efectos significativos de la leguminosa sobre la mineralización de N con ninguno de los dos métodos, y se discute si las diferencias entre ambos tipos de pasturas se debieron a los bajos niveles de N inherentes a cada sitio, más que a cambios en la materia orgánica del suelo.

PALABRAS CLAVE: *Arachis pintoii*, Fertilidad del suelo, Incubaciones aeróbicas, Incubaciones anaeróbicas, Pastizales nativos, Mineralización.

ABSTRACT

There is a lacking on information about the role of forage legumes to improve soil fertility on native pastures within tropical Mexico. Under this type of vegetation, continuous incorporation of residues from introduced forage legumes may contribute, from the N stored on its organic matter, to soil health restoring. Nitrogen soil mineralization using both anaerobic (ANA) and aerobic (AER) laboratory incubation methods was assessed in Ultisols soil samples at 0-5, 5-15 and 15-30 cm depths, from four tropical native pasture sites located at Veracruz, Mexico. Each pasture was associated to the introduced forage legume *Arachis pintoii*, with 3, 5, 8 and 11 yr after the forage legume was introduced. Also, pure stands of native pasture sites no mixed to *A. pintoii* were used as reference sites. In all cases mineralization rate decreased with the depth; AER method confirmed ANA results, since only 5 *A. pintoii* years old site yielded more mineralized N ($207 \pm 3.4 \mu\text{g N g}^{-1}$ soil) than native pasture soils ($166 \pm 3.1 \mu\text{g N g}^{-1}$ soil). Topsoil (0-5 cm) mineralized more N ($104 \pm 7.0 \mu\text{g N g}^{-1}$) than 5-15 cm soil depth ($70 \pm 5.4 \mu\text{g N g}^{-1}$). Although no significant positive effect of the legume on N mineralization with either method was observed, discussion is focused regarding to define if differences between types of pastures were due to low inherent soil N rather than changes in soil organic matter quality.

KEY WORDS: Aerobic incubations, Anaerobic incubation, *Arachis pintoii*, Native grasslands, Mineralization.

En los trópicos húmedos de México, las pasturas nativas (*Paspalum* spp, *Axonopus* spp, *Cynodon* spp, principalmente) son la base del sistema de

In the humid tropics of Mexico, large areas of naturalized pastures (*Paspalum* spp, *Axonopus* spp, *Cynodon* spp, mainly) support the so called "dual-

Recibido el 7 de diciembre de 2006 y aceptado para su publicación el 12 de julio de 2007.

^a Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en ganadería Tropical (CEIEGT), FMVZ-UNAM, apartado postal 136, Martínez de la Torre, Veracruz, 93600 México. braulio_36@hotmail.com. Correspondencia al primer autor.

^b University of Hohenheim, Stuttgart, Germany. cadisch@uni-hohenheim.de

producción animal conocido como “doble propósito”, en el cual los productores manejan diferentes tipos de ganado, en pastoreo extensivo y continuo, teniendo como sus principales productos carne y leche⁽¹⁾.

La productividad de las pasturas depende del N mineralizado, así como de otros importantes nutrientes (P, Ca y K); además de una eficiente descomposición de residuos y liberación de N, la que a su vez depende de la relación C:N asociada con los requerimientos de nutrientes para los organismos que descomponen. La disponibilidad de N en pasturas basadas en leguminosas, así como en la rotación de cultivos/pasturas es más alta que en sabanas nativas y en sistemas continuos de cultivos⁽²⁾. Otros autores mostraron que se han logrado altas tasas potenciales de mineralización de N (incubación anaeróbica, 40 °C, 7 d) en un suelo Oxisol (arcilloso, materia orgánica 3.4 % y N total de 1008 ppm), en condiciones de invernadero, en una pastura de *Brachiaria decumbens* + *Pueraria phaseoloides* pasture (6.84 g N g⁻¹ suelo d⁻¹) en comparación con pasturas solas de *Brachiaria decumbens* (3.86 g N g⁻¹ suelo d⁻¹), y que la leguminosa contribuyó con el 29 % del carbón total del suelo encontrado en los primeros 2 cm de profundidad⁽³⁾.

La mineralización del N depende fuertemente de la habilidad de la leguminosa para fijar N₂, y la importancia de este proceso biológico está en mejorar el aporte de N disponible del suelo. La habilidad de las leguminosas para fijar N atmosférico se debe a una relación simbiótica con bacterias del género *Rhizobium*. En esta relación, tanto la planta como las bacterias aportan y reciben beneficios como resultado de su asociación. Las bacterias que realizan el papel de la fijación atmosférica de N son huéspedes específicas, y muchas leguminosas tropicales son altamente específicas en sus asociaciones con rizobios⁽⁴⁾. También, la cantidad de N₂ fijado es afectada por la eficiencia de las cepas de *Rhizobium* spp para establecer una asociación funcional con el hospedero. Algunas simbiosis pueden no ser efectivas incluso si existe abundante nodulación⁽⁵⁾, pero el desarrollo de inoculantes ha permitido la introducción exitosa de

purpose” animal production systems, with farmers managing different cattle types, on extensive and continuous grazing, to produce milk and meat as principal outputs⁽¹⁾.

Pasture productivity depends on mineralized N as well as other important nutrients (P, Ca, and K), and an efficient decomposition and release of N from decomposing residues depends on the C:N ratio in relation with the nutrient requirements for decomposing organisms. The availability of N under legume-based pastures and legume-based pasture/crop rotations is higher than under native savanna and continuous cropping systems⁽²⁾. Other authors showed that higher potential rates of N mineralization (anaerobic incubation, 40 °C, 7 d) were achieved in an Oxisol soil (Clay loam, organic matter, 3.4 %; and total N, 1008 ppm), under glasshouse conditions, from a *Brachiaria decumbens* + *Pueraria phaseoloides* pasture (6.84 g N g⁻¹ soil d⁻¹) in comparison with the *Brachiaria decumbens* only grass pastures (3.86 g N g⁻¹ soil d⁻¹), and that the legume contributed 29 % of the total soil carbon found in the top 2 cm⁽³⁾.

N mineralization depends strongly on the ability of the legume to fix N₂, and the importance of this biological process is in improving the supply of available N from the soil. The legume plant's ability to fix atmospheric N is due to a symbiotic relationship with bacteria of the genus *Rhizobium*. In a symbiotic relationship, both the plant and bacteria contribute and both also receive benefits as a result of their association. The bacteria that perform the role of atmospheric N fixation are host specific, and many tropical legumes are highly specific in their rhizobial associations⁽⁴⁾. Also, the amount of N₂ fixed is also affected by the efficiency of the *Rhizobium* spp. strain to get a functional association with the host. Some symbiosis might not be effective even if there is abundant nodulation⁽⁵⁾, but the development of rhizobial inoculants has allowed the successful introduction of legumes to new farming systems where compatible rhizobia were absent from the soils⁽⁶⁾. The *Arachis* genus has been classified as effective promiscuous, this means that the species will nodulate effectively with a wide range of *Rhizobium*. *Arachis pintoi*

leguminosas a nuevos sistemas agrícolas donde los rizobios compatibles estaban ausentes del suelo⁽⁶⁾. El género *Arachis* ha sido clasificado como efectivo promiscuo, lo cual significa que sus especies nodularán de manera efectiva con un amplio rango de *Rhizobium*. *Arachis pintoi* Krapov. & Greg. ha mostrado una alta eficiencia cuando ha nodulado con la cepa de *Bradyrhizobium* CIAT 3101⁽⁷⁾ así como con cepas nativas⁽⁸⁾.

Existe poca información disponible acerca de la mineralización de N en suelos con leguminosas forrajeras asociadas a pasturas nativas en el trópico húmedo mexicano. *A. pintoi* es una especie en la cual su hojarasca descompone rápidamente en el suelo^(9,10). Fue introducida a la región centro-norte del estado de Veracruz, México en 1986⁽¹¹⁾, y en evaluaciones realizadas durante dos años con otras leguminosas, fue una de las especies más prometedoras para este ecosistema^(12,13).

Por lo anterior, el objetivo del estudio fue comparar la mineralización de N de un suelo Ultisol con pasturas nativas asociadas a *A. pintoi* CIAT 17434 contra pasturas nativas solas, usando técnicas de laboratorio aeróbicas y anaeróbicas.

Se usaron cuatro sitios del Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical (CEIEGT) perteneciente a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (Universidad Nacional Autónoma de México). El CEIEGT está localizado en la llanura costera del Golfo de México, a 40 km de la costa, a 20° 02' N y 97° 06' O, a 112 msnm. En estos sitios, *A. pintoi* CIAT 17434 fue establecida desde 3, 5, 8 y 11 años atrás. Los sitios fueron identificados como S₃ (4.0 ha), S₅ (10.0 ha), S₈ (0.5 ha) y S₁₁ (0.25 ha), junto a pasturas sin leguminosa, seleccionados como controles. En ambos grupos de sitios los suelos fueron muestreados en junio-agosto de 1997. Previamente a los análisis de laboratorio, las muestras se mantuvieron en bolsas plásticas negras, y almacenadas en ambiente seco para evitar cualquier efecto sobre los resultados de mineralización. Algunas de las características de estos suelos se presentan en el Cuadro 1.

En S₃ y S₅ la leguminosa fue introducida para formar asociaciones con gramíneas: el primero se

Krapov. & Greg. has shown a high efficiency when nodulated with the *Bradyrhizobium* strain CIAT 3101⁽⁷⁾ as well as with native strains⁽⁸⁾.

There is little information available on N mineralization from soils under forage legumes associated to native pastures for the Mexican humid tropical areas. *A. pintoi* is a species whose litter decomposes rapidly in the field^(9,10), and it was introduced to the north central region of the State of Veracruz, Mexico in 1986⁽¹¹⁾, and in evaluations carried out for 2 years on several legumes was one of the most promising legumes for this ecosystem^(12,13).

Therefore, the objective of our study was to compare N mineralization from an Ultisol under *A. pintoi* CIAT 17434/native grass associated pastures with that from soils under native grass pastures, using anaerobic and aerobic laboratory techniques.

Four sites of the Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical (CEIEGT) belonging to the Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (Universidad Nacional Autónoma de México) were used. The CEIEGT is located in the eastern coastal plain of Mexico about 40 km West of the Gulf of Mexico coast line at 20° 02' N and 97° 06' W, at 112 m asl. In these sites *A. pintoi* CIAT 17434 had been cropped for 3, 5, 8 and 11 yr, identified as S₃ (4.0 ha), S₅ (10.0 ha), S₈ (0.5 ha) and S₁₁ (0.25 ha), adjacent to which, pastures without the legume were chosen as controls. Both legume-based and controls soil sites were sampled in June-August 1997. Prior to analysis, samples were kept in black plastic bags and stored on dry conditions to avoid any effect on mineralization results. Some characteristics of these soils are shown in Table 1.

In S₃ and S₅ the legume was introduced to form associations with grasses: the former introduced into a native pasture (3 yr- *A. pintoi*), and the latter, planted with African star grass -*Cynodon nlemfuensis*- (5 yr- *A. pintoi*) at the same time. On sites S₈ and S₁₁, *A. pintoi* was planted in monoculture as seed banks. The legume was not inoculated, but in the four sites, showed a profusely nodulation originated from rhizobia native strains.

Cuadro 1. Componentes químicos de los suelos testigo y de suelos de pasturas con *Arachis pintoï* de 3, 5, 8 y 11 años usados para determinar mineralización de N

 Table 1. Chemical components of control soils and 3, 5, 8 and 11 years old *Arachis pintoï* based pastures soils used to assess N mineralization

| Depth (cm) | pH | N (%) | C (%) | C:N ratio | N (%) | C (%) | C:N ratio |
|------------|------|------------|---------------|-----------|-----------------|----------|-----------|
| | | | Control 3 yr | | A. pintoï 3 yr | | |
| 0-5 | 5.50 | 0.13±0.00† | 1.1±0.00 | 8.5 | 0.11±0.01 | 1.1±0.00 | 10.0 |
| 5-15 | 5.65 | 0.10±0.00 | 1.1±0.00 | 11.0 | 0.08±0.00 | 1.1±0.00 | 13.8 |
| 15-30 | 5.70 | 0.08±0.00 | 1.1±0.00 | 13.8 | 0.06±0.00 | 1.1±0.00 | 18.3 |
| | | | Control 5 yr | | A. pintoï 5 yr | | |
| 0-5 | 5.50 | 0.18±0.01 | 1.9±0.04 | 10.6 | 0.18±0.02 | 1.9±0.18 | 10.0 |
| 5-15 | 5.65 | 0.12±0.01 | 1.3±0.07 | 10.8 | 0.11±0.00 | 1.3±0.07 | 11.8 |
| 15-30 | 5.70 | 0.09±0.01 | 1.0±0.09 | 11.1 | 0.08±0.00 | 1.0±0.05 | 12.5 |
| | | | Control 8 yr | | A. pintoï 8 yr | | |
| 0-5 | 5.55 | 0.25±0.01 | 2.8±0.16 | 11.2 | 0.24±0.03 | 2.6±0.33 | 10.8 |
| 5-15 | 5.70 | 0.16±0.01 | 1.6±0.13 | 10.0 | 0.16±0.01 | 1.6±0.13 | 10.0 |
| 15-30 | 5.65 | 0.11±0.01 | 1.3±0.14 | 11.8 | 0.11±0.00 | 1.2±0.09 | 10.9 |
| | | | Control 11 yr | | A. pintoï 11 yr | | |
| 0-5 | 5.45 | 0.12±0.01 | 1.1±0.00 | 9.2 | 0.13±0.00 | 1.3±0.07 | 10.0 |
| 5-15 | 5.66 | 0.08±0.01 | 1.1±0.00 | 13.8 | 0.09±0.01 | 0.9±0.12 | 10.0 |
| 15-30 | 5.74 | 0.04±0.00 | 1.0±0.00 | 25.0 | 0.05±0.03 | 0.5±0.04 | 10.0 |

† Means followed ± are standard error of means.

asoció dentro de una pastura nativa (3 años-*A. pintoï*), y el último, con estrella de Africa - *Cynodon nlemfuensis*- (5 años-*A. pintoï*) al mismo tiempo. En los sitios S₈ y S₁₁, *A. pintoï* fue sembrada en monocultivo como bancos de semilla. La leguminosa no fue inoculada, pero en los cuatro sitios, se observó una profusa inoculación de rizobios de cepas nativas. Las áreas testigo correspondieron a suelos con vegetación nativa dominada por gramíneas de los géneros *Paspalum*, *Axonopus* y *Cynodon*; y por leguminosas (<10 % del área) principalmente de los géneros *Desmodium* y *Calopogonium*, las cuales estuvieron en pastoreo rotacional al momento del muestreo, excepto el control S₈, que permaneció sin uso. El control S₁₁ permaneció en pastoreo hasta dos años antes del muestreo. Los suelos fueron Ultisoles no fertilizados por al menos cinco años previos al experimento y durante el mismo.

El sitio de cada tratamiento fue dividido en cuatro lotes y se obtuvo, usando una barrena helicoidal,

The control areas were soils with native vegetation dominated by grasses of the *Paspalum*, *Axonopus* and *Cynodon* genera, and by legumes (<10 % of the area) mainly of the *Desmodium* and *Calopogonium* genera, which were under rotational grazing at sampling time, except for the control S₈, that remained without use. The S₁₁ control site remained under grazing until 2 yr before sampling. The soils were Ultisols that had not been fertilized on the 5 yr previous to the trial and during the experiment.

The site area of each treatment was divided into four portions and a soil sub-sample was obtained from each portion using an auger. The four sub-samples per depth were bulked into one. Sampling depths were 0-5, 5-15 and 15-30 cm for the anaerobic incubation (ANA), and 0-5 and 5-15 cm for the aerobic incubation (AER).

A modification of the technique of Waring and Bremner⁽¹⁴⁾ was used to determine N release by

una sub-muestra de suelo de cada lote. Las cuatro sub-muestras para cada profundidad se mezclaron para formar una muestra compuesta. Las profundidades de muestreo fueron de 0-5, 5-15 y 15-30 cm para incubación anaeróbica (ANA), y de 0-5 y 5-15 cm para incubación aeróbica (AER).

Para determinar el N liberado por el método de incubación anaeróbica (ANA), se usó una modificación de la técnica de Waring y Bremner⁽¹⁴⁾. Se pesaron 10 g de suelo seco, colocados en tubos de ensaye, a los cuales se les añadieron 15 ml de agua destilada. Los tubos fueron sellados y mantenidos a 40 °C por siete días (tiempo 7). Al final de la incubación, se extrajo el amonio añadiendo a los suelos 30 ml de 3M KCl. Las muestras se agitaron y filtraron previo al análisis de NH_4^+ por colorimetría con un autoanalizador. El mismo procedimiento fue realizado antes de la incubación para determinar N mineral a tiempo cero. Para calcular el N liberado, se usó la siguiente fórmula⁽¹⁵⁾:

Tasa de mineralización potencial de N =

$$(\mu\text{g NH}_4^+\text{-N g}^{-1}\text{ suelo, tiempo 7 días}) - (\mu\text{g NH}_4^+\text{-N g}^{-1}\text{ suelo, tiempo 0 días})/7\text{ días}$$

Para desarrollar el método de incubación aeróbica (AER), se usaron muestras de suelos (60 g) de 0-5 y 5-15 cm de profundidad, de los sitios S₃, S₅ y S₈, y sus correspondientes tratamientos testigo, colocadas en columnas (tubos de 3 cm diámetro, 25 cm de largo) a 28 °C. Al inicio, y posteriormente a los 7, 21, 49, 114, 231 y 301 días de incubación, los suelos fueron percolados con 150 ml (en incrementos de 50 ml) de una solución que contenía 1 mM MgSO_4 , 1 mM CaCl_2 , 0.9 mM KCl y 0.1 mM KH_2PO_4 ⁽¹⁶⁾. El amonio y el nitrato se analizaron por colorimetría con un autoanalizador, de acuerdo con la siguiente ecuación⁽¹⁵⁾:

$$\text{N mineralizado} = (\mu\text{g NO}_3 + \text{NH}_4\text{ muestra} - \mu\text{g NO}_3 + \text{NH}_4\text{ blanco})/\text{g suelo}$$

Los datos de ambos experimentos fueron analizados por separado, como un diseño de parcelas divididas usando los suelos (con o sin la leguminosa) como la parcela mayor y las profundidades como sub-

anaerobic incubation method (ANA). Dry soil (10 g) was weighed into test tubes and made into slurry adding 15 mL distilled water. Tubes were sealed and kept at 40 °C for 7 d (time 7). At the end of the incubation, ammonium was extracted from the soils adding 30 mL of 3M KCl. Samples were shaken and filtered prior to analysis of NH_4^+ by colorimetric methods with an autoanalyzer. The same procedure was done before incubation to determine the initial mineral N at time zero. The following formula⁽¹⁵⁾ was used to calculate N released:

Potential N mineralization rate =

$$(\mu\text{g NH}_4^+\text{-N g}^{-1}\text{ soil time 7 d}) - (\mu\text{g NH}_4^+\text{-N g}^{-1}\text{ soil time 0 d})/7\text{ d}$$

To develop the aerobic incubation method (AER), soil samples (60 g) at 0-5 and 5-15 cm depth, of the S₃, S₅ and S₈ as well as their corresponding control were incubated in columns (3 cm diameter; 25 cm length) at 28 °C. At the beginning and after 7, 21, 49, 114, 231 and 301 d of incubation the soils were leached with 150 mL (in 50 mL increments) of a solution containing 1 mM MgSO_4 , 1 mM CaCl_2 , 0.9 mM KCl and 0.1 mM KH_2PO_4 ⁽¹⁶⁾. Ammonium N and nitrate N were analyzed by colorimetric methods with an autoanalyzer, according to the following equation⁽¹⁵⁾:

$$\text{N mineralized} = (\mu\text{g NO}_3 + \text{NH}_4\text{ sample} - \mu\text{g NO}_3 + \text{NH}_4\text{ blank})/\text{g soil}$$

Data from both experiments were analyzed separately; and as a split-plot design using soils (with or without legume) as the main plots and depths as sub-plots, replicated four (ANA) or three (AER) times.

Analysis of variance was performed on mineralization rates and cumulative N-mineralized as response variables. Mean comparisons were done using LSD. To describe mineralization trends, a number of curves within the family of single exponential rise-to-maximum, were adjusted to data⁽¹⁷⁾. The equation was selected using R² as selection criteria, and it was:

parcelas, repetidos cuatro (ANA) o tres (AER) veces.

Se realizaron análisis de varianza usando como variables de respuesta las tasas de mineralización y el N mineralizado acumulado. Se hicieron comparaciones de medias usando DMS. Para describir tendencias de mineralización, los datos se ajustaron⁽¹⁷⁾ a curvas exponenciales simples con aproximación al valor máximo. Para elegir la ecuación que mejor describió las tendencias, se usó como criterio el valor de R², y la ecuación elegida fue:

$$Y = y_0 + a(1-e^{-bx})$$

Donde Y es el N mineralizado a tiempo x; y₀ es el N mineralizado cuando x = 0; a es la asíntota o máximo N mineralizado, alcanzado como x → ∞; y b es la tasa de mineralización de N.

Incubación anaeróbica

Los resultados de ANA fueron atípicos e inconsistentes. Se esperaba la más alta tasa de mineralización en suelos plantados con la leguminosa introducida, más que con la pastura nativa, donde en estos sitios la población de leguminosas nativas ha sido estimada como muy pobre (7.1 %)⁽¹⁸⁾.

Los datos de mineralización siempre corresponderán a μg NH₄⁺-N g⁻¹ suelo d⁻¹.

Considerando los resultados de ANA, en S₃ hubo diferencias en mineralización potencial anaeróbica entre las pasturas con *A. pintoï* y su control, a las tres profundidades (Cuadro 2). El promedio de las tres profundidades fue 3.1±0.7 (pasturas con *A. pintoï*) vs 10.4±1.3 μg (pasturas nativas) (P<0.001); este último valor fue mayor tres veces al N mineralizado del suelo en la pastura con *A. pintoï*. La mineralización fue más alta a 0-5 cm de profundidad, y diferente (P<0.001) a las otras profundidades. La interacción suelo (con o sin leguminosa) por profundidad no fue significativa (P>0.05).

En S₅ las diferencias en mineralización anaeróbica entre suelos de pastura nativa (6.2±1.4 μg) y suelos con la leguminosa (7.5±1.5 μg) no fueron

$$Y = y_0 + a(1-e^{-bx})$$

Where, Y is N mineralized at time x; y₀ is N mineralized when x = 0; a is the asymptote or maximum N mineralized, reached as x → ∞; and b is the rate of N mineralization.

Anaerobic incubation

Results from ANA were atypical and inconsistent. We expected a higher mineralization rate in soils planted with an improved legume than with native pasture, where the population of native legumes had been estimated to be very poor (7.1 %)⁽¹⁸⁾.

Data of mineralization will be given as μg NH₄⁺-N g⁻¹ soil d⁻¹.

Considering the ANA results, in S₃ there were differences in potential anaerobic mineralization between the *A. pintoï*-based pasture and its control at all three depths (Table 2). The average of three depths was 3.1±0.7 (*A. pintoï* based pasture) vs 10.4±1.3 μg (native pasture) (P<0.001). This last value was three-fold compared to the N mineralized from the soil under the *A. pintoï* based pasture.

Cuadro 2. Tasas de mineralización anaeróbica (μg NH₄-N g⁻¹ suelo d⁻¹) de muestras de suelo de pasturas con *A. pintoï* de 3, 5, 8 y 11 años y sus correspondientes sitios (testigo)

Table 2. Anaerobic mineralization rates (μg NH₄-N g⁻¹ soil d⁻¹) of soil samples from *Arachis pintoï*-based pastures of 3, 5, 8 and 11 yr and corresponding control areas

| Years with <i>A. pintoï</i> or Control | Soil depth (cm) | | |
|--|------------------------|------------|-----------|
| | 0-5 | 5-15 | 15-30 |
| 3 <i>A. pintoï</i> | 5.8 ± 1.3 [†] | 2.4 ± 0.2 | 1.0 ± 0.1 |
| Control | 15.1 ± 2.9 | 10.2 ± 1.2 | 6.0 ± 0.5 |
| 5 <i>A. pintoï</i> | 11.6 ± 2.6 | 3.3 ± 2.33 | 3.5 ± 1.0 |
| Control | 10.7 ± 2.4 | 7.7 ± 2.5 | 2.7 ± 0.7 |
| 8 <i>A. pintoï</i> | 14.5 ± 3.3 | 6.0 ± 1.2 | 1.9 ± 0.7 |
| Control | 18.7 ± 4.4 | 6.0 ± 0.6 | 4.2 ± 1.8 |
| 11 <i>A. pintoï</i> | 6.7 ± 1.3 | 2.3 ± 0.4 | 0.9 ± 0.1 |
| Control | 15.1 ± 2.7 | 7.8 ± 1.1 | 4.2 ± 0.9 |

[†] Means after ± are standard errors of means.

significativas (Cuadro 2). En todos los casos la tasa de mineralización decreció con la profundidad, promediando para ambos suelos (con y sin la leguminosa forrajera) 10.6 ± 1.8 , 6.1 ± 1.5 y 3.1 ± 0.7 μg ($P \leq 0.05$) a 0-5, 5-15 y 15-30 cm. Sólo en S_5 a 0-5 cm hubo un valor ligeramente superior comparado con el suelo de pastura nativa (11.6 vs 10.6 μg), respectivamente.

Como en S_5 , el N mineralizado del sitio S_8 con *A. pintoi* no fue significativamente diferente a los suelos de pasturas nativas (8.9 ± 2.3 μg) y con *A. pintoi* (6.5 ± 1.9 μg); sin embargo, sí hubo diferencias significativas ($P \leq 0.001$) entre 0-5 cm (14.4 ± 3.1) y las más bajas profundidades (5.7 ± 0.6 y 3.1 ± 1.0 μg a 5-15 y 15-30 cm).

En S_{11} , el control mostró una alta tasa de mineralización de N (9.0 ± 1.4 μg), diferente ($P < 0.001$) del suelo con *A. pintoi* (3.3 ± 0.8 μg). El efecto de la profundidad del suelo, así como la interacción con la pastura fue, en ambos casos, altamente significativa ($P < 0.001$).

En el proceso de absorción de nutrientes, la rizósfera es muy importante, particularmente en condiciones de baja fertilidad; y las raíces fibrosas de gramíneas afectan la mineralización de N⁽¹⁹⁾. En S_{11} estos resultados fueron aun más inesperados, ya que el sitio tenía una cubierta de la leguminosa cercana al 100 %; sin embargo, el control produjo 2.7 veces más N mineral que el suelo con la leguminosa introducida. En S_5 y S_8 las pasturas con *A. pintoi* produjeron en promedio 6.3 ± 1.1 μg , lo cual es sólo el 70 % del N producido por el suelo con pastura nativa sola (9.0 ± 5.7 μg).

En el Cerrado brasileño, datos de mineralización potencial de N (incubación a 40 °C, 7 d) en diversos sistemas de uso de la tierra, que van desde pasturas nativas (sabana) a sistemas continuos de cultivo en suelos Oxisoles⁽²⁰⁾ han mostrado que, contrario a nuestros resultados, el N potencialmente mineralizable fue más alto en pasturas asociadas de *Brachiaria decumbens*/*Stylosanthes guianensis* (63 kg N ha⁻¹), seguido por *Brachiaria decumbens* sola (43 kg N ha⁻¹), cultivo continuo de cero labranza (26 kg N ha⁻¹), sabana nativa (23 kg N ha⁻¹) y

ANA mineralization was highest at 0-5 cm soil depth and was statistically different ($P < 0.001$) compared to the all other depths. The interaction soil (with or without legume) by depth was not significant ($P > 0.05$).

In S_5 the differences in anaerobic N-mineralization between the native (6.2 ± 1.4 μg) and legume-based (7.5 ± 1.5 μg) pasture soils were not significant (Table 2). In all cases mineralization rate decreased with depth, averaging both soils (with and without forage legume) 10.6 ± 1.8 , 6.1 ± 1.5 and 3.1 ± 0.7 μg ($P \leq 0.05$) at 0-5, 5-15 and 15-30 cm. Only in the S_5 at 0-5 cm there was a slightly superior value compared with native soil (11.6 vs 10.6 μg), respectively.

As in the S_5 , N mineralized from the S_8 *A. pintoi* site was not significantly different between native (8.9 ± 2.3 μg) and *A. pintoi* (6.5 ± 1.9 μg) pasture soils. However, there were significant differences ($P \leq 0.001$) between the 0-5 cm (14.4 ± 3.1) and the lower depths (5.7 ± 0.6 and 3.1 ± 1.0 μg at 5-15 and 15-30 cm).

At the S_{11} , the control showed a large rate of N mineralization (9.0 ± 1.4 μg) that was different ($P < 0.001$) from that of the *A. pintoi* soil (3.3 ± 0.8 μg). The effect of soil depth as well as its interaction with pasture was both highly significant ($P < 0.001$).

The rhizosphere is very important for nutrient uptake particularly under low-fertility conditions, and roots fibrous of grasses affect the N mineralization⁽¹⁹⁾. In the S_{11} these results were even more unexpected, with a cover of legume near to 100 %, where the control produced 2.7 fold more mineral N than the soil with the introduced legume. The S_5 and S_8 *A. pintoi* based pastures produced on average 6.3 ± 1.1 μg , which was only 70 % of the N produced by the native pasture soil (9.0 ± 5.7 μg).

In the Brazilian Cerrados, potential on N mineralization data (incubation at 40 °C, 7 d) in several land-use systems, ranging from native pasture (savanna) to continuous cropping systems in Oxisol soils⁽²⁰⁾ have shown that, contrary to our results, the potentially mineralizable N was highest in the

cultivo continuo con labranza convencional (18 kg N ha⁻¹). Estos autores mencionaron que la presencia de la leguminosa promovió la actividad microbiana, y por lo tanto más N fue mineralizado. Otros autores encontraron que la introducción de *Stylosanthes* spp en una pastura de *Andropogon gayanus* tuvo un efecto positivo en el N potencialmente mineralizable. Ellos estimaron que la pastura asociada, a una profundidad de suelo de 0-5 cm, produjo 20.3 µg N g⁻¹ suelo, en comparación con la pastura de gramínea sola (11.6 µg N g⁻¹ suelo)⁽²¹⁾.

En nuestro estudio, la tendencia de disminución en la mineralización de N con la profundidad fue consistente en todos los sitios, aunque los coeficientes de correlación (R²) entre profundidad del suelo y mineralización no fueron altos: 0.36 y 0.50 para los sitios con *A. pintoii* y pasturas nativas, respectivamente.

Diversos estudios han mostrado que la mineralización neta de N disminuye con el incremento en profundidad, y han mencionado que por encima de los 20 cm se contabiliza tanto como 75 %⁽²²⁾ o 61 %⁽²³⁾ del total. Sin embargo, la importancia relativa de la mineralización neta proveniente del subsuelo puede ser alta durante periodos secos, cuando se presentan limitaciones de humedad en la capa superficial, pero no en el subsuelo⁽²⁴⁾.

Incubación aeróbica

Los datos de mineralización siempre corresponderán a µg N g⁻¹ suelo.

Referente a la incubación aeróbica (AER), en S₃ los valores de mineralización de N fueron diferentes ($P < 0.001$) entre la pastura nativa y la pastura con *A. pintoii*, tanto a 0-5 cm (159 ± 2.4 vs 131 ± 1.4 µg) como a 5-15 cm de profundidad (92 ± 1.0 vs 77 ± 0.8 µg). En este sitio, los suelos a 5-15 cm mineralizaron, en promedio, sólo 58 % (84 ± 1.2 µg) del N mineralizado a 0-5 cm (145 ± 2.1 µg; $P < 0.001$; Figura 1).

En la pastura con *A. pintoii* de S₅, se encontraron diferencias ($P < 0.001$) sólo para profundidad: 226 ± 4.0 y 148 ± 2.5 µg para 0-5 y 5-15 cm,

Brachiaria decumbens/*Stylosanthes guianensis* grass/legume pasture (63 kg N ha⁻¹), followed by *Brachiaria decumbens* alone (43 kg N ha⁻¹), continuous cropping no-tillage (26 kg N ha⁻¹), native savanna (23 kg N ha⁻¹) and continuous cropping conventional tillage (18 kg N ha⁻¹). These authors mentioned that the presence of the legume enhanced the microbial activity and hence more N became mineralized. Other authors reported that the introduction of the legume *Stylosanthes* spp in an *Andropogon gayanus* pasture had a positive effect in N potentially mineralizable. They calculated that the mixed pasture at 0-5 cm soil depth, produced 20.3 µg N g⁻¹ soil compared with the grass alone pasture (11.6 µg N g⁻¹ soil)⁽²¹⁾.

The pattern of decreasing N mineralization with depth was consistent in all sites, although correlation coefficients (R²) between soil depth and mineralization were not high: 0.36 and 0.50 for *A. pintoii* based and native pasture sites.

Several studies had shown that net N mineralization decreases with increasing depth, and have mentioned that the upper 20 cm layer accounts for as much as 75 %⁽²²⁾ or 61 %⁽²³⁾ of the total net N mineralization. However, the relative importance of net N mineralization from the subsurface soil can be enhanced during dry periods, when moisture limitations exist in the surface layer, but not in the subsoil⁽²⁴⁾.

Aerobic incubation

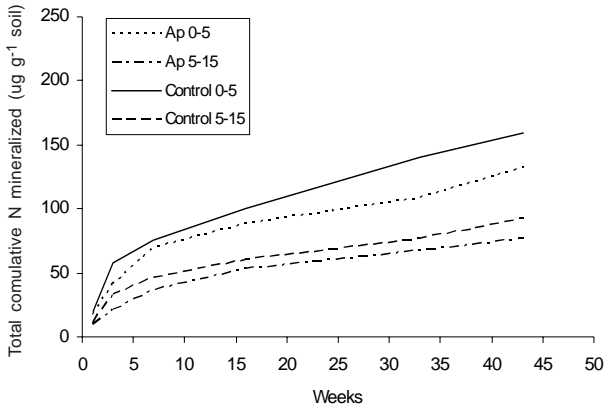
Data of mineralization will be given as µg N g⁻¹ soil.

Related to aerobic incubation (AER), in S₃ N mineralization values were statistically different ($P < 0.001$) between native pasture and the *A. pintoii* based pasture, either at 0-5 cm depth (159 ± 2.4 vs 131 ± 1.4 µg), or at 5-15 cm depth (92 ± 1.0 vs 77 ± 0.8 µg). In this paddock soils at 5-15 cm mineralized on average only 58 % (84 ± 1.2 µg) of the N mineralized at 0-5 cm (145 ± 2.1 µg; $P < 0.001$; Figure 1).

In the S₅ *A. pintoii* pasture, significant differences were found ($P < 0.001$) only for depth: 226 ± 4.0

Figura 1. Mineralización de N aeróbica acumulada en muestras de suelos a dos profundidades en pasturas con *A. pintoi* de 3 años de edad y su sitio testigo

Figure 1. Cumulative aerobic N mineralization in soil samples at two depths of the 3 yr *A. pintoi*-based pasture and its control site



respectivamente. El suelo con *A. pintoi* mineralizó $207 \pm 3.4 \mu\text{g}$ en 43 semanas, comparado con $166 \pm 3.1 \mu\text{g}$ del sitio en la pastura nativa (Figura 2). Los valores acumulados resultaron en 19 y 26 % con más N mineralizado de los sitios con *A. pintoi* que de los sitios con pastura nativa a 0-5 cm y 5-15 cm de profundidad; sin embargo, estas diferencias no fueron significativas.

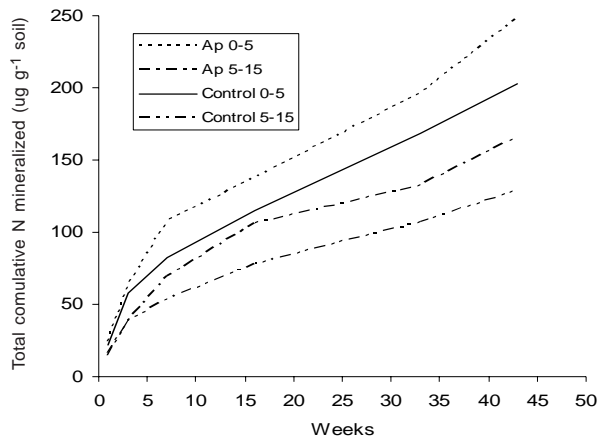
En S_8 se encontró mineralización sólo en el semillero de *A. pintoi*, ya que no se dispuso de suficiente suelo para el sitio control (Figura 3). Los valores promedio de los seis percolados fueron 239 ± 3.2 y $178 \pm 3.5 \mu\text{g}$ a 0-5 y 5-15 cm, los cuales no difirieron. El N mineralizado a 5 cm fue 25 % más alto que a 15 cm ($P < 0.001$).

La ecuación usada para describir el incremento de la mineralización en el tiempo, fue la adecuada, ya que ésta mostró un buen ajuste ($R^2 > 0.9$) (Cuadro 3). En todos los casos el crecimiento exponencial fue estable, tal como se presenta en las Figuras 1, 2 y 3.

La presencia de la leguminosa incrementó la mineralización de N en S_5 y S_8 , pero no en S_3 tal

Figura 2. Mineralización de N aeróbica acumulada en muestras de suelos a dos profundidades en pasturas con *A. pintoi* de 5 años de edad y su sitio testigo

Figure 2. Cumulative aerobic N mineralization in soil samples at two depths of the 5 yr *A. pintoi*-based pasture and its control site



and $148 \pm 2.5 \mu\text{g}$ for 0-5 and 5-15 cm. Soil under *A. pintoi* mineralized $207 \pm 3.4 \mu\text{g}$ in 43 wk, compared with $166 \pm 3.1 \mu\text{g}$ from soil under native pasture (Figure 2). Cumulative values resulted in 19 and 26 % more N mineralized from *A. pintoi* sites than from native sites at 0-5 cm and 5-15 cm depths; however, these differences were not different.

There was N mineralization only for the S_8 *A. pintoi* seedbank as not enough soil was left from the control site (Figure 3). Average values of the six leachates were 239 ± 3.2 and $178 \pm 3.5 \mu\text{g}$ at 0-5 and 5-15 cm, which were not different. The N mineralized at 5 cm was 25 % higher than at 15 cm ($P < 0.001$).

The equation used to describe the increased mineralization with time, was adequate since it showed a good fit ($R^2 > 0.9$) (Table 3). In all cases there were stable exponential growths, as shown in Figures 1, 2 and 3.

The presence of the legume increased N mineralization in the S_5 and S_8 , but not at S_3 as it happened in the ANA incubation. Soils under

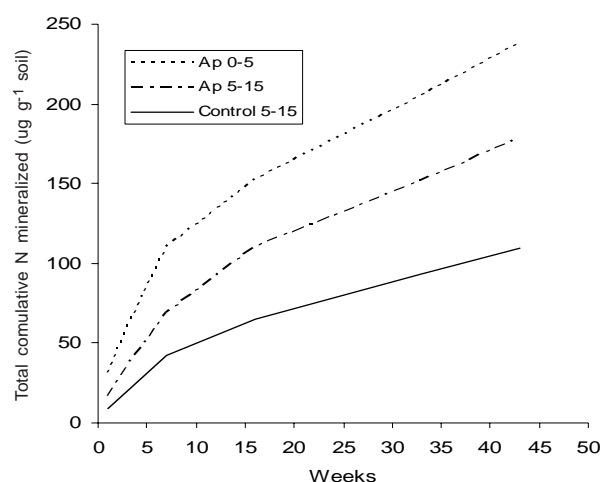
como sucedió en la incubación ANA. Los suelos con *A. pintoii* con 5 y 8 años produjeron más N mineralizado (207 y 208 µg) que en suelos de pasturas nativas (166 y 109 µg). La incubación anaeróbica mostró que la mineralización de N fue mayor en la capa arable (0-5 cm) que a 5-15 cm. La profundidad del suelo fue definitivamente el factor más importante para explicar las diferencias en mineralización de N: los suelos de 0-5 cm mineralizaron 104 ± 7.0 µg *versus* suelos de 5-15 cm de profundidad (70 ± 5.4 µg). Esta diferencia equivale a un tercio más de N mineralizado en la capa arable, lo cual puede explicarse por el aporte de hojarasca a la superficie del suelo. En el caso de sitios con *A. pintoii*, se puede encontrar un gran volumen de raíces a 5-10 cm de profundidad (observación personal). Estos resultados coinciden con datos de zonas templadas, donde la mineralización máxima acumulada en la capa superior (0-18 cm) representó 42 % del N total mineralizado, comparado con lo encontrado a 18-108 cm de profundidad⁽²²⁾.

No se observó una tendencia clara en la mineralización de N con la edad de *A. pintoii* en las pasturas. A la profundidad de 0-5 cm en *A. pintoii* de 3 años de edad, el suelo mineralizó 131 µg, comparado con los sitios de 5 (248 µg) y 8 (239

A. pintoii for 5 and 8 yr yielded more mineralized N (207 and 208 µg) than the native pasture soils (166 and 109 µg). The aerobic incubation showed that N mineralization was larger within topsoil (0-5 cm) than at 5-15 cm. Soil depth was definitively

Figura 3. Mineralización de N aeróbica acumulada en muestras de suelos a dos profundidades en pasturas con *A. pintoii* de 8 años de edad y su sitio testigo

Figure 3. Cumulative aerobic N mineralization in soil samples at two depths of the 8 yr *A. pintoii*-based pasture and its control site



Cuadro 3. Ecuaciones exponenciales simples ajustadas con aproximación al valor máximo para N mineralizado (Y) a cierto tiempo (X) en muestras de suelos tomadas de sitios establecidos a diferentes edades con o sin *pintoii* (Ap), y sus coeficientes de correlación

Table 3. Fitted single exponential rise-to-maximum equations for the mineralized N (Y) at a certain time (x) for the soil samples taken from sites planted at different ages with or without *pintoii* (Ap), as well as their correlation coefficients

| Years Ap site | Soil depth (cm) | Ap sites | R ² | Control sites | R ² |
|---------------|-----------------|--|----------------|--|----------------|
| 3 | 0-5 | Y=15.2+111.5 (1-e ^{-0.076x}) | 0.94 | Y=24.8+145.6(1-e ^{-0.052x}) | 0.94 |
| 3 | 5-15 | Y=6.72+71.2 (1-e ^{-0.068x}) | 0.98 | Y=11.9+78.6 (1-e ^{-0.067x}) | 0.93 |
| 5 | 0-5 | Y=30.2+264.3 (1-e ^{-0.035x}) | 0.94 | Y=27.4+225.5 (1-e ^{-0.032x}) | 0.96 |
| 5 | 5-15 | Y=13.0+158.8 (1-e ^{-0.054x}) | 0.96 | Y=17.1+129.2 (1-e ^{-0.041x}) | 0.97 |
| 8 | 0-5 | Y=25.2+225.3 (1-e ^{-0.056x}) | 0.98 | n.a. | - |
| 8 | 5-15 | Y=11.4+185.0 (1-e ^{-0.048x}) | 0.99 | Y=5.7+118.9 (1-e ^{-0.044x}) | 0.98 |

n.a.= Equation not available.

µg) años de edad. Esta omisión en las tendencias se observó también en los resultados de ANA (Cuadro 2). En promedio a 0-5 cm, el suelo con *A. pintoii* de 3 años mineralizó 46 % menos N que suelos con pasturas de mayor edad, lo cual podría deberse al hecho de que los sitios con *A. pintoii* de 5 y 8 años de edad mantuvieron una mayor cobertura de la leguminosa (85 y 100 %), lo cual permitió que una mayor cantidad de material vegetal fuera degradado. También, *A. pintoii* desarrolló un mayor volumen de raíces (22.6 ± 22.6 g-maceta; maceta con capacidad de 2 kg), lo que pudo contribuir, en el tiempo, a una mayor liberación de N al sistema. En Carimagua, Colombia, durante la estación seca y en suelo arcilloso, se ha observado que después de 100 días, las raíces de *A. pintoii* pierden más carbón (65 %) y nitrógeno (70 %) que *Brachiaria humidicola* (38 y 26 %) y *B. decumbens* (32 y 12 %)(19).

Si la mineralización de N está correlacionada con el contenido de N del suelo, entonces sitios pobres en N liberan menos iones inorgánicos que áreas ricas en este elemento en un intervalo de tiempo dado(25); aunque mejores substratos tienden a una mayor productividad, lo cual se traduce en un ciclo de N más eficiente(26). En suelos costeros de los estados de Washington y Oregon se encontró una correlación positiva ($R^2=0.89$) entre el contenido de N del suelo (0.09 a 0.40 %) y la tasa de mineralización de N (0.9 a 45.5 µg N g⁻¹ suelo d⁻¹)(27). En nuestro estudio, los suelos usados eran bajos en N (Cuadro 1), y los valores de mineralización tuvieron una baja correlación con el contenido de N del suelo: $R^2=0.30$ y 0.29 para sitios con *A. pintoii* a 0-5 y 5-15 cm. Probablemente, estas diferencias en R^2 podrían estar asociadas a otros factores del suelo, como están, la naturaleza química de la materia orgánica, la especie y edad del material vegetal, el tamaño de partícula de los residuos vegetales, el contenido de N del residuo, la relación carbón:N del residuo, y el tipo y cantidad de arcilla presente. Generalizando, materiales orgánicos solubles con estructuras moleculares simples, leguminosas jóvenes, residuos con alto contenido de N, y una baja relación carbón:N descomponen más rápidamente(28).

the most important factor to explain differences in N mineralization: soils from 0-5 cm mineralized 104 ± 7.0 µg versus soils from 5-15 cm depth (70 ± 5.4 µg). This difference, equals a third more N mineralized in the topsoil, could be explained because of the leaf litter inputs to the soil surface. And in the case of *A. pintoii* sites, a large volume of roots could be found at 5-10 cm depth (personal observation). These results are in agreement with data from temperate conditions, where the maximum cumulative N mineralization was from the top layer (0-18 cm) representing 42 % of the total N mineralized, compared to that of 18-108 cm of the soil(22).

There was not a clear trend in N mineralization with the age of *A. pintoii* in the pastures. At 0-5 cm soil depth the 3 yr *A. pintoii* soil mineralized 131 mg, compared with 5 yr old (248 µg) and 8 yr (239 µg). This lack of trend was also observed on ANA incubation results (Table 2). On average at 0-5 cm, the 3 yr *A. pintoii* soil pasture mineralized 46 % less N than the older *A. pintoii* pasture soils, which could be due to the fact that sites with 5 and 8 yr *A. pintoii* supported a larger legume cover (85 and 100 %) which allowed more legume plant material to fall and decay over time. Also, *A. pintoii* plants developed a large root mass (22.6 ± 22.6 g-pot; pot of 2 kg capacity) that could contribute to the release of more N to the system over time. It have been observed that after 100 d, roots of *A. pintoii* lose more carbon (65 %) and nitrogen (70 %) of its content than *Brachiaria humidicola* (38 and 26 %) and *B. decumbens* (32 and 12 %) in a clay loam soil during the wet season at Carimagua, Colombia(19).

If N mineralization is correlated with the N content of the soil, then poor N sites liberate less inorganic ions than N-rich areas in a given time interval(25), although better substrates lead to high productivity which leads to high N cycling(26). In temperate coastal soils of Washington and Oregon states, a positive correlation was found ($R^2=0.89$) between N soil content (0.09 to 0.40 %) and N mineralization rate (0.9 to 45.5 µg N g⁻¹ soil d⁻¹)(27). The soils used in our study were low in N (Table 1) and N mineralization values had low correlation with soil

Se ha encontrado que bajas tasas de mineralización se correlacionan positivamente a suelos con bajos niveles de N, tal como se encontró en un experimento donde se usaron suelos (Inceptisoles, de textura gruesa) que representaban un gradiente en N (bajo nivel de N: sin aplicación de N; alto nivel de N: 35 kg N ha⁻¹ año⁻¹)⁽²⁹⁾. Las incubaciones aeróbicas a 30 °C mostraron que los suelos bajos en N resultaron en bajas tasas de mineralización (menos que 1.0 µg N g⁻¹ suelo d⁻¹) comparados a suelos altos en N (9.4 µg N g⁻¹ suelo d⁻¹). Los autores indicaron que la heterogeneidad espacial del N en el suelo es el resultado de factores inherentes al mismo, tales como, diferencias en su composición y funcionamiento de las comunidades microbiales, y la variación en características químicas que pueden afectar a los microbios del suelo. Las tasas de mineralización arriba mencionadas son, incluso, menores que las mostradas en el Cuadro 2.

Otros autores han mencionado que el reemplazo de la vegetación forestal con pastos, y el mantenimiento de las pasturas pueden afectar las tasas de renovación del N del suelo⁽³⁰⁾. Ellos compararon tasas de mineralización en suelos (ultisoles y oxisoles) forestales (vegetación típica de bosques húmedo tropicales de la amazonía brasileña, en el estado de Rondonia) y pasturas (*Brachiaria brizantha* y *Panicum maximum*) de diferentes edades, y encontraron que, comparado al bosque original, las pasturas disminuyeron sus tasas de mineralización con la edad: bosque original, 1.15 mg; pastura de 4 años (0.38 µg), 10 años (0.05 µg), y 21 años (0.03 µg). Esos resultados indican que conforme las pasturas envejecen dominando las áreas deforestadas de la Amazonía, el N total reciclado en los suelos parecería que disminuye. Sin embargo, estas tasas son más bajas que las aquí reportadas en pasturas con *A. pintoii*, donde los sitios de 3, 5 y 8 años de edad mostraron un incremento en su mineralización, principalmente en los primeros 15 cm debido a la presencia de la leguminosa. Las diferencias entre estos experimentos puede atribuirse a la relación C:N de las pasturas. Pasturas dominadas por gramíneas generalmente tienen una relación C:N de 20:1 o más⁽³¹⁾; por otra parte, pasturas basadas en leguminosas muestran una

N content: $R^2=0.30$ and 0.29 for *A. pintoii* sites at 0-5 and 5-15 cm; probably, these differences in R^2 values could be associated to other soil factors. Among these are the chemical nature of the organic matter, age and species of plant material, particle size of plant residue, N content of the residue, the carbon:N ratio of the residue and type and amount of clay minerals present. Generally, soluble organic materials with simple molecular structures, young leguminous plants and residues of high N content and low carbon:N ratio decompose most rapidly⁽²⁸⁾.

It has been recorded that low rates of N mineralization are positively correlated to soils with low levels of N, such as it has been shown on an experiment where were used soils (coarse-textured Inceptisols) representing a gradient in soil N (low soil N: without N application; high soil N: 35 kg N ha⁻¹ year⁻¹)⁽²⁹⁾. Aerobic incubations at 30 °C, showed that low-N soils resulted in low N mineralization rates (less than 1.0 µg) compared to high-N soils (9.4 µg). Authors indicated that spatial heterogeneity of soil N is the result of innate soil factors such as differences in composition and functioning of soil microbial communities, and from variation in soil chemical characteristics that can influence soil microbes. The mentioned mineralization rates are, even smaller than the values showed in Table 2.

Some authors have mentioned that the replacement of forest vegetation with grasses and the maintenance of cattle pastures can influence rates of soil N turnover⁽³⁰⁾. They compared rates of net mineralization in soils (Ultisols and Oxisols) of a reference forest (typical vegetation of the open, humid tropical forests of the Brazilian Amazon State of Rondonia, with large numbers of palms) and pastures (*Brachiaria brizantha* and *Panicum maximum*) of different ages, and found that, compared to the original forest, pastures decreased their mineralization rates with the age: original forest, 1.15 µg; pasture of, 4-yr (0.38 µg), 10-yr (0.05 µg), and 21-yr (0.03 µg). These findings indicate that as older pastures come to dominate deforested regions of the Amazon, the total N cycled in soils of the region is likely to decrease. However, these rates are lower than the reported for *A. pintoii* -based pastures (Table 2),

relación C:N menor a 20:1, liberando más N que las otras, tan pronto como su descomposición inicia.

Las gramíneas tienen una alta capacidad para capturar N en comparación con otros cultivos⁽²⁸⁾, y dependiendo de su rendimiento o manejo, éstas pueden remover tanto como 500 kg N ha⁻¹ año⁻¹. Si las leguminosas crecen asociadas a gramíneas, la captura total de N puede ser tan cercana como la contribución de la leguminosa, la cual puede alcanzar hasta 200 kg N ha⁻¹. En nuestro experimento, los suelos con *A. pintoi* de 5 y 8 años de edad a 5 cm de profundidad excedieron esa cantidad de N mineralizado acumulado a 301 días (248 y 239 kg N ha⁻¹); sin embargo, en un suelo arenoso fertilizado con N, en un rango de 0 – 525 kg ha⁻¹, el suelo mineralizó 324 kg ha⁻¹ NO₃⁻-N año⁻¹⁽³²⁾, comparado con 381 y 250 kg ha⁻¹ NO₃⁻-N para sitios con *A. pintoi* y pasturas nativas, respectivamente.

Aunque en estos sitios no se analizó el contenido de fósforo, datos de otras áreas con *A. pintoi* cercanas a las aquí usadas mostraron bajos niveles de P (0.6 a 1.2 µg g⁻¹ suelo, a 0-30 cm de profundidad), y la deficiencia de este nutriente podría limitar el proceso de mineralización. En Colombia, se ha informado que la aplicación de P a suelos de cenizas volcánicas incrementó el N mineralizado durante un periodo de 44 días⁽³³⁾. También, en Brasil, en un experimento de incubación en laboratorio aplicando o no 1 mM (milimolar) de P a tres suelos ácidos, se observó que la aplicación de P sólo aumentó ligeramente el N mineralizado unas cuantas semanas después, pero el efecto se atribuyó principalmente a un incremento en el pH⁽³⁴⁾.

Nosotros no observamos un efecto positivo importante de la leguminosa sobre la mineralización de N con ninguno de los dos métodos, y no fue posible explicar esta ausencia de efecto. Por lo tanto, se puede especular que las diferencias en la mineralización de N entre las pasturas basadas en *A. pintoi* y pasturas nativas se debió a un bajo nivel de N, más que a cambios en la calidad de la materia orgánica del suelo (MOS). Las cantidades de N mineralizado fueron mayores en los primeros 0–5 cm de profundidad del suelo.

where sites of 3, 5 and 8-old yr showed an increase on mineralization rate, mainly on the firsts 15 cm due to the presence of the legume. The differences between these experiments could be attributed to the C:N ratio of pastures. Pastures dominated by grasses generally have a C:N ratio of 20:1 or more⁽³¹⁾; thereby, legume-based pastures show a C:N ratio of less than 20:1 (Table 1), releasing more N than the other ones as soon as decomposition starts.

Grasses have a high capacity to uptake N in comparison with other crops⁽²⁸⁾; and depending on yield or management these may remove as much as 500 kg N ha⁻¹ year⁻¹. If legumes grow associated with grasses, total N uptake might be closer to the legume contribution, which can reach 200 kg N ha⁻¹. In our experiment, soils with *A. pintoi* of 5 and 8 yr old at 5 cm depth exceeded this amount of cumulative N mineralized at 301 d (248 and 239 kg N ha⁻¹). However, in a fine sandy loam soil fertilized with N, in a range from 0 – 525 kg ha⁻¹, the soil mineralized 324 kg ha⁻¹ NO₃⁻-N year⁻¹⁽³²⁾, compared to 381 and 250 kg ha⁻¹ NO₃⁻-N for *A. pintoi* sites and native pasture sites.

Although the sites were not analyzed for phosphorus content, data from other *A. pintoi* areas close to these ones showed very low P levels (0.6 to 1.2 µg g⁻¹ soil on 0-30 cm depth), and the deficiency of this nutrient could limit the N mineralization process. In Colombia, it has been reported that P amendment to volcanic ash soils increased the N mineralized during a 44 d incubation period⁽³³⁾. Also, in a laboratory incubation experiment applying or not 1 mM (millimolar) P to three Brazilian acid soils, the addition of P fertiliser did only slightly increase N mineralization after a few weeks, but the effect was mainly due to an increase in pH⁽³⁴⁾.

We did not observe a significant positive effect of the legume on N mineralization with either method, and was not possible explain this lack of effect. Therefore, it could be speculate that difference in N mineralization between *A. pintoi*-based pastures and native pastures were due to low soil N rather than changes in soil organic matter (SOM) quality. The amounts of N mineralized were largest in top 0-5 cm of soil depth.

En pasturas tropicales, el manejo del N del suelo es un tema muy importante debido a que la mineralización de este nutriente que proviene de la MOS aporta una proporción significativa de la captura total de N por las pasturas. Generalmente, más del 95 % del N total del suelo se encuentra en la MOS, y menos del 5 % se localiza en formas inorgánicas, amonio y nitrato⁽³⁵⁾; por lo tanto, la tasa de mineralización y el total de N mineralizado dependen fuertemente de la calidad de la MOS, principalmente de la relación C:N del sustrato⁽³⁶⁾.

Aunque las cantidades de N mineralizado fueron mayores en los primeros 5 cm, no se encontró ningún efecto significativo de la leguminosa sobre la mineralización de N con ninguno de los dos métodos evaluados. Las diferencias en mineralización de N entre los suelos de las pasturas con *Arachis pintoi* y suelos de pasturas nativas fueron debidas al bajo nivel de N del suelo, más que a cambios en la calidad de la materia orgánica del suelo; sin embargo, este hecho no debería ser en sí mismo una razón para la ausencia de efecto. Probablemente otros factores como el pH del suelo o las poblaciones microbiales impidan un efecto importante de *Arachis pintoi* sobre la mineralización de N; y estos factores deben ser investigados a futuro.

Management of soil N is an important issue in tropical pastures because N mineralization from SOM provides a substantial portion of the total N taken up by pastures. Usually, more than 95 % of the total soil N occurs in the SOM, and less than 5 % occurs in the inorganic forms, ammonium and nitrate⁽³⁵⁾; then, mineralization rate and total N mineralized depends strongly from the quality of SOM, mainly of the C/N ratio of the substrate⁽³⁶⁾.

Although the amounts of N mineralised were largest in top 0 - 5 cm of soil depth, no significant positive effect of the legume on N mineralization with either method was observed. Differences in N mineralization between *Arachis pintoi*-based pastures and native pastures were due to low soil N rather than changes in soil organic matter quality. However, this fact should not in itself be a reason for this absence of effect. Probably other factors as soil pH or microbial populations are preventing a significant effect of *Arachis pintoi* on N mineralization; and additional research must be conducted over these factors.

End of english version

LITERATURA CITADA

- Améndola R, Castillo E, Martínez PA. Forage resource profiles. Mexico. In: FAO editor. Country Pasture Profiles. Rome, Italy. On CD. 2005 [on line]. <http://www.fao.org/agp/agpc/doc/counprof/Mexico/Mexico.htm>. Accessed May 8, 2007.
- Westerhof R, Vilela L, Ayarza MA, Zech W. Labile N and the nitrogen management index of Oxisols in the Brazilian Cerrados. In: Thomas R, Ayarza MA editors. Sustainable land management for the Oxisols of the Latin American savannas. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT publication No. 312, 1999:133-140.
- Rao I, Ayarza MA, Thomas RJ, Fisher MJ, Sanz JI, Spain JM, Lascano CE. Soil plant factors and processes affecting productivity in ley farming. In: Hardy B editor. Pastures for the tropical lowlands. CIAT's contribution. Cali, Colombia: CIAT publication No. 211, 1992:145-175.
- Humphreys LR. Environmental adaptation of tropical pasture plants. 1st ed. London, UK: Macmillan Publishers Ltd.; 1981.
- Silvestre-Bradley R. Rhizobium inoculation trials designed to support a tropical forage legume selection programme. *Plant and Soil* 1984;(82):377-386.
- Giller K, Cadisch G. Future benefits from biological nitrogen fixation: An ecological approach on agriculture. *Plant and Soil* 1995;(174):225-277.
- Thomas RJ, Asakawa NM, Rondon MA, Alarcon HF. Nitrogen fixation by tree tropical forage legumes in an acid-soil savanna of Colombia. *Soil Biol Biochem* 1997;(29):801-808.
- Valles B. Contribution of the forage legume *Arachis pintoi* to soil fertility in a tropical pasture system in Veracruz, Mexico. [doctoral thesis]. Wye, Ashford, Kent, UK: Imperial College of Science Technology and Medicine, University of London; 2001.
- Thomas RJ, Asakawa NM. Decomposition of leaf-litter from tropical forage grasses and legumes. *Soil Biol Biochem* 1993;(25):1351-1361.
- Abreu OC, Scotti-Muzzi MR, Abrantes-Purcino H, Evodio-Marriel I, Horta-de Sa N.M. Decomposition of *Arachis pintoi* and *Hyparrhenia rufa* litters in monoculture and intercropped systems under lowland soil. *Pesq Agrop Bras* 2003;(38):1089-1095.
- Toledo JM. Plan de investigación en leguminosas tropicales para el CIEEGT. Informe de Consultoría, Proyecto FAO:MEX 1781015. (Documento de circulación restringida). Martínez de la Torre, Veracruz, México. 1986.
- Hernández T, Valles B, Castillo E. Evaluación de gramíneas y leguminosas forrajeras en Veracruz, México. *Past Trop* 1990;(12):29-33.

MINERALIZACIÓN DE NITRÓGENO EN SUELOS DE PASTURAS CON *Arachis pintoi*

13. Valles B, Castillo E, Hernández T. Producción estacional de leguminosas forrajeras en Veracruz, México. *Past Trop* 1992;(14):32-36.
14. Waring SA, Bremner JM. Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability. *Nature* 1964;(201):951-952.
15. Anderson JM, Ingram JSI. Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods. 2nd ed. Wallingford, UK: CAB International; 1993.
16. Cassman KG, Munns DN. Nitrogen mineralization as affected by soil-moisture, temperature, and depth. *Soil Sci Soc Am J* 1980;(44):1233-1237.
17. SPSS. Statistical Package for the Social Sciences. Sigma Plot for Windows Version 4.00. Chicago, Ill, USA: SPSS Inc; 1997.
18. Bosman HG, Castillo E, Valles B, De Lucía GR. Composición botánica y nodulación de leguminosas en las pasturas nativas de la planicie costera del Golfo de México. *Past Trop* 1990;12(1):1-8.
19. Gijssman AJ, Alarcón HF, Thomas RJ. Root decomposition on tropical grasses and legumes, as affected by soil texture and season. *Soil Biol Biochem* 1997;(29):1443-1450.
20. Fuhrmann S, Neufeldt H, Westerhof R, Ayarza M, da Silva JE, Zech W. Soil organic carbon, carbohydrates, amino sugars, and potentially mineralizable nitrogen under different land-use systems in Oxisols of the Brazilian *Cerrados*. In: Thomas R, Ayarza MA editors. Sustainable land management for the Oxisols of the Latin American savannas. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT publication No. 312; 1999:110-122.
21. Cadisch G, Carvalho EF, Suhel AR, Vilela L, Soares W, Spain JM, Urquiaga S, Giller KE, Boddey RM. Importance of legume nitrogen fixation in sustainability of pastures in the *Cerrados* of Brazil. In: Baker MJ editor. Proc XVII International Grassland Congress 1993, Palmerston North, New Zealand. 1993:1915-1916.
22. Kandeler E, Eder G, Sobotik M. Microbial biomass, N mineralization, and the activities of various enzymes in relation to nitrate leaching and root distribution in a slurry-amended grassland. *Biol Fert Soils* 1994;18(1):7-12.
23. Hadas A, Feigenbaum S, Feigin A, Portnoy R. Nitrogen mineralization in profiles of differently managed soil types. *Soil Sci Soc Am J* 1986;(50):314-319.
24. Rovira P, Vallejo VR. Organic carbon and nitrogen mineralization under mediterranean climatic conditions: the effects of incubation depth. *Soil Biol Biochem* 1997;(29):1509-1520.
25. Alexander M. Introduction to soil microbiology. 2nd ed. New York, USA: John Wiley and Sons; 1977.
26. Reich PB, Grigal DF, Aber JD, Gower ST. Nitrogen mineralization and productivity in 50 hardwood and conifer stands on diverse soils. *Ecology* 1997;(78):335-347.
27. Prescott CE, Chappell HN, Vesterdal L. Nitrogen turnover in forest floors of Coastal Douglas-Fir at sites differing in soil nitrogen capital. *Ecology* 2000;(81):1878-1886.
28. Whitehead DC. Grassland Nitrogen. 1st ed. Wallingford, Oxon, UK; CAB International; 1995.
29. Gilliam FS, Lyttle NL, Thomas A, Adams MB. Soil variability along a nitrogen mineralization and nitrification gradient in a nitrogen-saturated Hardwood forest. *Soil Sci Soc Am J* 2005;(69):247-256.
30. Neill C, Piccolo MC, Melillo JM, Steudler PA, Cerri CC. Nitrogen dynamics in Amazon forest and pasture soils measured by ¹⁵N pool dilution. *Soil Biol Biochem* 1999;(31):567-572.
31. Trinsoutrot I, Recous S, Bentz B, Lineres M, Cheneby D, Nicolardo B. T Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under nonlimiting nitrogen conditions. *Soil Sci Soc Am J* 2000;(64):918-926.
32. Collins A, Allinson DW. Nitrogen mineralization in soil from perennial grassland measured through long-term laboratory incubations. *J Agric Sci* 2002;(138):301-310.
33. Munevar F, Wollum AG. Effects of the addition of phosphorus and inorganic nitrogen on carbon and nitrogen mineralization in Andepts from Colombia. *Soil Sci Soc Am J* 1977;(41):540-545.
34. Cadisch G, Giller KE, Urquiaga S, Miranda CHB, Boddey RM, Schunke RM. Does phosphorus supply enhance soil N mineralization in Brazilian pastures? *Eur J Agron* 1994;(3):339-345.
35. Whitehead DC. Nutrient elements in grassland: Soil-plant-animal relationships. 1st ed. Wallingford, UK: CAB International; 2000.
36. Cadisch G, Giller KE. Soil organic matter management: The role of residues quality in C sequestration and N supply. In: Rees RM, Ball BC, Campbell CD, Watson CA editors. Sustainable management of soil organic matter. 1st ed. Wallingford, Oxon, UK; CAB International; 2001.