

MINERALIZACION DEL NITROGENO EN DOS SUELOS DEL TOLIMA SUR

Carlos Alvarez *
Manuel Martínez*
Francisco Herrón * *

RESUMEN

Con el fin de contribuir a la racionalización de los criterios utilizados para la fertilización nitrogenada de los cultivos del bosque seco tropical, se ha estudiado mediante incubaciones aeróbica y anaeróbica la tasa de mineralización del nitrógeno durante dos, cuatro, y seis semanas en dos suelos del Sur del Tolima.

Los resultados obtenidos permiten establecer preliminarmente que la incubación anaeróbica durante dos semanas es el método más indicado para medir la mineralización de nitrógeno y que ésta es más alta en el suelo de la serie Dindalito que en el de la serie La Esperanza. Ambos suelos mineralizan nitrógeno aeróbica y anaeróbicamente en tal cantidad que están en capacidad de llenar los requerimientos de los cultivos más importantes de la zona. La mineralización es hasta siete veces mayor que la observada en algunos suelos derivados de cenizas volcánicas de Antioquia. Los resultados obtenidos están prácticamente de acuerdo con los niveles críticos de nitrógeno total propuestos por la Federación Nacional de Algodoneros para la mencionada región.

* Estudiante, Carrera de Agronomía - Universidad Nacional - Medellín

* * Profesor Asociado - Departamento de Ciencias de la Tierra
Facultad de Ciencias - Universidad Nacional - Medellín

ABSTRACT

Nitrogen mineralization has been studied in order to contribute to the rationalization of the criteria used for nitrogen fertilization of the dry tropical forest " Bosque seco tropical " crops. Two soils of Espinal (Tolima) were used, " Dindalito " and " La Esperanza " series. Samples were aerobic and anaerobic incubated for two, four and six weeks.

Results permitted to stay preliminarily that the two weeks anaerobic incubation is the most convenient method for N mineralization measurement and that it is higher in the " La Esperanza " soil. N mineralization in both soils, was high enough to adequately supply the N required by the most important crops; it was, in some cases, as seven folds higher than the observed in some volcanic ash soils of " Antioquia ". Results also agreed with the total nitrogen values proposed by the " Federación Nacional de Algodoneros " for the soils of this region.

I. — INTRODUCCION

La zona del Tolima Sur tiene gran importancia agrícola para el país. La abundancia o escasez del nitrógeno en dicha región hace fluctuar la producción no sólo desde el punto de vista del rendimiento de los cultivos, sino también en las utilidades netas obtenidas al final de cada período. Esto último porque no se tienen criterios bien definidos para la aplicación de fertilizantes nitrogenados. Únicamente se poseen "patrones empíricos" para cada cultivo. Estos patrones son variables con las condiciones climáticas y en algunas ocasiones se aplica más nitrógeno del necesario, perdiéndose dinero, y en otras, menos del indicado, desaprovechando la potencialidad de las plantas.

Todas estas razones nos han movido a investigar parte del comportamiento del nitrógeno en dos series de suelos del Tolima Sur; las series Dindalito y la Esperanza, las cuales son diferentes en textura y % de nitrógeno total.

Para medir la tasa de mineralización del nitrógeno en el laboratorio se emplearon la incubación aeróbica y la incubación anaeróbica, dada la naturaleza de los cultivos más comunes (algodón, maíz, ajonjolí, arroz, etc.). Mediante estos métodos puede conocerse la cantidad de nitrógeno disponible en determinado momento, es decir, el potencial que tiene el suelo para suministrar nitrógeno a un cultivo dado.

El objetivo principal de este estudio ha sido el de investigar en dos suelos del Tolima Sur, la naturaleza de la mineralización del nitrógeno, tanto aeróbica como anaeróbicamente, en relación con el tiempo.

II. REVISION DE LITERATURA

Bogotá, Colombia

Los autores consideran importante hacer claridad en algunos aspectos para comprender mejor el presente trabajo. Estos aspectos son los siguientes:

A. Formas de nitrógeno en los suelos

Antes de las investigaciones realizadas por Rodríguez, citado por Fassbender (1975), en suelos británicos del Caribe, se presumía que el nitrógeno sólo se presentaba en forma orgánica, de donde por descomposición microbial se obtenían formas mineralizadas.

Luego se comprobó que los suelos contienen no sólo nitrógeno inorgánico sino que este elemento se puede encontrar también en el material parental. Estas formas de nitrógeno se pueden agrupar en nitrógeno orgánico (proteínico, nucleico, azúcares aminados, otros), y nitrógeno inorgánico (amonio nativo fijo, amonio intercambiable y nitrógeno mineral).

Según Fassbender (1975) un rango de variación común del nitrógeno total es de 0,2 - 0,7 % en la capa arable de los suelos.

El nitrógeno orgánico representa entre el 85-95% del nitrógeno

total. En buena parte su naturaleza química es desconocida. Los compuestos nitrogenados que se acumulan en los suelos en forma de restos animales y vegetales tienen en su mayoría naturaleza protéica.

Entre el 20-40% del nitrógeno de los suelos se presenta en forma de aminoácidos. Entre estos se han encontrado en orden de importancia y % de aminoácidos, los siguientes: lisina 15%, alanina 13%, isoleucina y glicina 12%, ácido aspártico 19%, treonina 5%, otros.

Entre azúcares aminados se han identificado derivados de la glucosa y galactosa. La glucosamina y galactosamina pueden constituir entre 5 y 10% del nitrógeno total.

Otros compuestos orgánicos como los mucopéptidos (combinaciones de aminoácidos y aminoazúcares), ácidos teichóicos (polímeros orgánicos fosfatados que contienen alanina) y algunas purinas y pirimidinas (adenina, guanina, xantina, uracil y timina) constituyen una fracción menos importante del nitrógeno orgánico.

Hay otros compuestos orgánicos nitrogenados que posiblemente entre todos sumen otro 1% del nitrógeno total. Otros compuestos orgánicos que contienen nitrógeno en el suelo son: creatinina, alatoína, trimetilamina, colina, etanolamina, histamina, úrea, ácido cianúrico.

El nitrógeno se presenta en forma inorgánica como óxido nitroso (N_2O), óxido nítrico (NO), dióxido (NO_2), amoníaco (NH_3) en cantidades mínimas casi no detectables y además como amonio (NH_4^+), nitrito (NO_2^-) y nitrato (NO_3^-). Existen otras formas inorgánicas cristalinas como las taranakitas (fosfatos amónicoferri-alumínicos), que representan productos de transformación de fertilizantes fosfatados.

El nitrógeno inorgánico de los suelos tiene un rango generalmente comprendido entre 5 y 15 % del nitrógeno total, siendo mayores estos porcentajes en los suelos de regiones áridas o semiáridas, correspondiendo los porcentajes menores a suelos volcánicos.

El nitrógeno intercambiable ($N - NH_4^+$) no supera el 2% del nitrógeno total, aunque hay aumento significativo en regiones áridas o semiáridas. El amonio nativo fijo tiene un rango compreen

dido entre 3 y 13%. El nitrógeno mineralizado ($N-NH_3$, $N-NO_2^-$, $N-NO_3^-$) no supera en la mayoría de los casos el 2%, aunque el porcentaje puede aumentar cuando las condiciones de incubación son óptimas.

B. - Mineralización del nitrógeno

Para algunos autores (Black, 1968; Fassbender, 1975) la mineralización del nitrógeno consiste en una serie de procesos a través de los cuales los componentes orgánicos, ya sea de la materia orgánica o de los residuos vegetales y animales recién incorporados al suelo, se transforman a formas inorgánicas nitrogenadas tales como NH_4^+ , NO_2^- y NO_3^- . En los procesos de mineralización toman parte los microorganismos del suelo y son de gran importancia.

Blasco (1970) considera que la mineralización o amonificación es la conversión de los compuestos orgánicos nitrogenados en amoníaco.

1.- Amonificación:

Fassbender (1975) dice que a través de la amonificación las macromoléculas de las proteínas, los ácidos nucleicos y otros, son en primer lugar, depolimerizados por la acción de enzimas proteolíticas a peptonas y polipéptidos. Estos a su tiempo se descomponen en aminoácidos alifáticos. Resultantes de esta hidrólisis se encuentran la glicina, leucina, arginina, valina, lisina, alanina, el ácido aspártico, y entre los aromáticos la tirosina, histidina, prolina, el triptófano y la fenilalanina.

Entre las bacterias aeróbicas que participan en esta primera fase de la amonificación se encuentra: Bacillus subtilis, B. cereus, B. mesentericus, B. megaterium, Pseudomonas sp.

Y entre las bacterias anaeróbicas tenemos: Clostridium putrificum, Cl. sporogenes, Cl. tetani.

Entre los hongos participan: Cephalothecium roseum, Tricoderma koningi, Aspergillus sp. Penicillium sp.

Los aminoácidos resultantes pueden ser:

1) Metabolizados por los microorganismos (inmovilizados); 2) adsorbidos por las arcillas, formando complejos organominerales; 3) incorporados en la fracción de humus; 4) utilizados por las plantas; y 5) seguir siendo mineralizados hasta transformarse en amonio. En este último proceso participa nuevamente una serie de microorganismos como: Bacillus sp., Pseudomonas sp., Clostridium sp. Escherichia sp., Streptococcus sp.

La amonificación de los aminoácidos se produce bioquímicamente a través de procesos de desaminación y decarboxilación, procesos activados por desaminasas y decarboxilasas.

Por la desaminación se producen además del NH_4^+ , ácidos grasos como acético, láctico, butírico, compuestos aromáticos como indol, fenol, cresol, escatol y sus derivados.

El proceso de mineralización de los compuestos nitrogenados del suelo es lento. Se considera que del 1 al 2% del nitrógeno total es mineralizado por año bajo condiciones de clima templado. Esto se debe a la estabilidad que muestran los compuestos orgánicos nitrogenados del suelo, los que al presentarse en polímeros de composición heterogénea formados por aminoácidos, polifenoles, tienen enlaces tridimensionales que les confieren estabilidad y el ataque enzimático sólo se puede llevar a cabo en las superficies de estas macromoléculas. Además, la formación de complejos organominerales aumentan la estabilidad de las moléculas. Algunos autores han indicado que muchas moléculas de estos compuestos orgánicos están localizadas en microporos con un diámetro menor que 1μ donde no pueden ser atacados por microorganismos; así, microporos con un diámetro menor que 1μ son demasiado pequeños para permitir la entrada de ciertos microorganismos.

El NH_4^+ resultante de la amonificación puede ser: 1) adsorbido por las plantas; 2) adsorbido por minerales arcí

llosos o por materia orgánica; 3) fijado por minerales 2:1 no expandibles; 4) inmovilizado por microorganismos; 5) lixiviado a través del suelo; y 6) oxidado hasta el nivel de nitrato (nitrificación).

2.- Nitrificación:

De acuerdo con Fassbender (1975) el amonio resultante de la mineralización del nitrógeno orgánico y/o aplicado al suelo en forma de fertilizante, es oxidado en el suelo, pasando primero a formas nitrosas y después a formas nítricas. Al conjunto de estos procesos se llama nitrificación.

La primera reacción de transformación a nitritos la realizan bacterias de los grupos: Nitrosomonas, Nitrosococcus, Nitrospira, Nitrosoglea.

El segundo paso de la transformación a nitratos lo realizan bacterias tales como: Nitrobacter, Nitrocystis.

Productos intermedios en el metabolismo de las bacterias Nitrosomonas son; hidroxilamina e hiponitritos. En la oxidación de nitritos a nitratos por (Nitrobacter) no existen productos intermedios.

Ambas reacciones tienen lugar al mismo tiempo con una velocidad similar, en la mayoría de los suelos.

Una acumulación de NH_4^+ es posible bajo condiciones de inundación y mala aireación.

La acumulación de nitratos se produce tanto en suelos descubiertos como en los bajo cultivos. Este fenómeno no fue ampliamente aclarado y se han propuesto diferentes mecanismos. Algunos sustentan la teoría de la fotonitrificación, pues la acumulación es alta en suelos desnudos y se produce principalmente en los primeros centímetros de la superficie. Otros autores han tratado de explicar el fenómeno por la ascensión capilar de los nitratos.

Birch, citado por Fassbender (1975), estudió el efecto

del secado y del rehumedecimiento de los suelos sobre su contenido de nitratos. Encontró que el secado-humedecimiento provoca cambios físicos en el complejo orgánico del suelo que facilitan el ataque microbial y la acumulación de nitratos.

C. - Denitrificación

Para Fassbender (1975) la denitrificación encierra una serie de procesos biológicos o abiológicos que conducen a la reducción de los nitratos, lo cual produce pérdidas de nitrógeno del suelo tanto del nitrógeno nativo como del nitrógeno aplicado como fertilizante que muchas veces son considerables.

1.- Denitrificación biológica:

Es producida por microorganismos denitrificantes heterotróficos; entre ellos se encuentra: Pseudomonas sp. (el más importante es el P. denitrificans), Xanthomonas sp., Achromobacter sp., Bacterium sp., Bacillus sp., y también por algunos microorganismos autotróficos como: Micrococcus denitrificans, Thiobacillus denitrificans.

La mayor parte de estos microorganismos son anaeróbicos facultativos. Usan preferentemente el oxígeno como receptor del hidrógeno pero también pueden usar nitratos y nitritos como sustitutos.

La velocidad de la denitrificación biológica depende de las condiciones edafológicas. Se ha establecido que cuando el O₂ es limitante y bajo condiciones de alta humedad (cerca de la capacidad de campo), así como otros factores: pH, temperatura, concentración de nitratos y condiciones redox influyen sobre la denitrificación biológica.

2.- Denitrificación no biológica:

O volatilización del amonio. Resulta de reacciones químicas entre los diferentes componentes nitrogenados inorgánicos presentes en el suelo y los aplicados como fertili-

zante.

D. - Investigación realizado

Según Robinson (1960) en los primeros años del siglo XIX, Liebig creía en la teoría de que las plantas obtenían su nitrógeno de las trazas del amoníaco presente en la atmósfera y que el empleo de fertilizantes nitrogenados era tan superfluo como el uso de fertilizantes para el suministro de carbono. Sin embargo, los cuidadosos experimentos de Lawes y Gilbert, citados por el mismo autor, en Rothamsted demostraron claramente que las plantas dependían de los suministros del nitrógeno disponible, en el suelo.

Se considera que después del C, H y O el nitrógeno es el elemento más abundante en las plantas y forma parte de la estructura de compuestos biológicamente importantes. Se encuentra en metabolitos esenciales como aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, vitaminas, reguladores de crecimiento, fosfolípidos y clorofila (Rívero, 1972).

En vista de la importancia del nitrógeno para las plantas, se ha tratado de hallar un método de laboratorio lo suficientemente rápido y funcional que permita indicar cuándo un suelo es capaz de suministrar la cantidad suficiente de este elemento para el normal desarrollo de un cultivo cualquiera.

Inicialmente, y aún se sigue aplicando, se utilizó el % de materia orgánica del suelo para indicar cuando éste poseía cantidad suficiente de nitrógeno para las plantas. Según el ICA (1965), si se divide el % de materia orgánica por 20 se obtiene el % de nitrógeno total. Se puede constatar que el método no da resultado para todos los suelos.

Quienes emplean el método del % de materia orgánica para todos los suelos no tienen en cuenta que la constitución química de ésta varía con el clima, el suelo y otros factores diferentes, en mayor o menor grado, para cada zona (Mosquera, 1972).

Según Jenny *et al* (1953), a altas temperaturas anuales, como las que prevalecen a bajas alturas sobre el nivel del mar, el nitró

geno y la materia orgánica aumentan a medida que aumenta la precipitación.

A medida que se asciende desde el nivel del mar hasta grandes altitudes se nota un aumento marcado en el contenido de nitrógeno y materia orgánica del suelo.

Muchos suelos de color claro de las regiones húmedas y calientes son ricos en nitrógeno y materia orgánica.

Hay quienes consideran el % de nitrógeno total del suelo como una medida más representativa que la materia orgánica de la disponibilidad de nitrógeno para las plantas (Ancizar, 1934; Lafaurie, 1946; I.G.A.C., 1963; citados por Benavides, 1972).

Es arriesgado generalizar la relación entre nitrógeno total y nitrógeno disponible para las plantas.

Según De Benavides (1972) hay suelos con alto contenido de nitrógeno total pero con nitrógeno aprovechable muy bajo, debido a un grado exíguo de mineralización causado por uno o varios factores adversos (bajo nivel de fósforo, pH ácido, alto nivel de aluminio). Si se revisan los trabajos realizados por esta investigadora, se nota que ha dado mucho énfasis a los suelos derivados de cenizas volcánicas, los cuales por sus características químicas (pH ácido, alto aluminio, fósforo bajo, etc.), posiblemente sigan mostrando unas cantidades de nitrógeno aprovechable muy bajas (Alvarez, 1975).

Vargas (1975) trabajando con Oxisoles de los Llanos Orientales de Colombia encontró que la mineralización potencial de nitrógeno es baja en la altillanura y presenta valores relativamente altos en los suelos de las orillas de los esteros. La cobertura vegetal de pastos suprime en el campo la actividad nitrificante y, por lo tanto, la población que oxida el amonio es extremadamente baja.

La deficiencia nutricional de estos suelos, especialmente en fósforo y magnesio, puede ser la causa de que la población nitrificante no alcance en el laboratorio, niveles suficientemente altos para producir nitratos.

Según Bremner (1965) el valor práctico de un método que dé un índice del nitrógeno aprovechable del suelo ha sido ampliamente buscado y muchos métodos químicos y biológicos han sido propuestos. Ultimamente se ha propuesto la estimación del nitrógeno mineral producido por incubación del suelo bajo condiciones aeróbicas o anaeróbicas.

Los métodos que envuelven la estimación de la cantidad del nitrógeno mineral formado durante la incubación han sido ampliamente utilizados y son considerados como los más satisfactorios para medir la habilidad de los suelos para proveer de nitrógeno a las cosechas. La principal desventaja que presentan es el tiempo que se requiere para obtener resultados.

Los métodos químicos para medir el nitrógeno son muy rápidos pero se hace difícil creer que con reactivos químicos se va a simular la actividad de las raíces y microorganismos en la extracción y mineralización del nitrógeno del suelo.

La tendencia actual es la de correlacionar métodos químicos con biológicos en determinada región y en caso de hallar correlaciones altas seguir empleando el método químico en los análisis de rutina.

En suelos del Tolima Sur, Montañó *et al* (1964), luego de varios años de ensayo de campo y trabajando con algodón, encontraron respuesta a la aplicación de nitrógeno por debajo de ciertos porcentajes de nitrógeno total.

De Benavides (1972), en investigaciones realizadas en suelos de clima frío de Cundinamarca y Boyacá, encontró que la correlación entre nitrógeno total y nitrógeno mineralizado aeróbicamente, nitrógeno total y nitrógeno mineralizado anaeróbicamente, es positiva pero no significativa.

Esta misma investigadora halló en Andosoles que la capacidad de mineralización de nitrógeno de estos suelos volcánicos es muy variable y que el encalamiento aumenta ligeramente el nitrógeno mineralizado pero la cantidad es baja y no compensa los costos del encalamiento.

De Benavides (1975), también encontró en trabajos realizados

en suelos derivados de cenizas volcánicas del departamento de Nariño, que el nitrógeno mineralizado por el método aeróbico aparece como un índice de disponibilidad de nitrógeno bastante promisorio en estos suelos. Del ensayo de invernadero (cebada como planta indicadora) dedujo que para los tratamientos sin nitrógeno, la correlación entre rendimiento y nitrógeno mineralizado es positiva y significativa al nivel del 5% para el método aeróbico y positiva pero no significativa para el método anaeróbico.

Blasco (1972) dice que algunos suelos estudiados por él en regiones tropicales, en cuanto a mineralización de nitrógeno se refiere, no responden a los patrones establecidos para el mismo proceso en los suelos de la región templada.

Según dicho autor en suelos de Putumayo (Colombia) no se incrementó la nitrificación con la adición de cal, como era de esperarse. Caso contrario ocurrió con la adición de cierta cantidad de aluminio en suelos volcánicos de Nariño, en donde aumentó la cantidad de nitrógeno mineralizado.

Lora (1972) investigando en diez suelos procedentes de varias regiones de clima frío de Colombia, encontró un coeficiente de correlación positiva y altamente significativa entre la producción de nitratos y la temperatura. Para cinco de los suelos hubo una correlación altamente significativa entre producción de nitratos y niveles de CaCO_3 .

III. — MATERIALES

A. — Suelos

Se emplearon suelos sin cultivo ni fertilización nitrogenada anterior, colectados en el mes de abril de 1975 en la zona de El Espinal (Tolima Sur) a una profundidad de 0-30 cms.

Las muestras fueron secadas al aire durante ocho días; después de este período el suelo fue molido y tamizado (malla 2 mm.) y luego se almacenaron.

De un total de cinco suelos diferentes, fueron seleccionados dos, con base en el % de nitrógeno total y textura. Las muestras escogidas se molieron y tamizaron nuevamente. Estas muestras corresponden a los suelos de las series "Dindalito", de la Granja Nataima y "La Esperanza", de la Hacienda de Salvador González.

B. - Características de la región

Según el I.G.A.C. (1954), la población de El Espinal dista de Ibagué 57 kms., de Girardot 19 kms. y de Bogotá 130 kms.

1.- Altitud:

Este municipio está situado a unos 350 mts. sobre el nivel del Océano Pacífico.

2.- Cultivos:

Los principales cultivos de la zona son: algodón, tabaco, ajonjolí y maíz.

3.- Geología:

De acuerdo con estudios del I.G.A.C. (1954), los suelos estudiados corresponden a una formación aluvial cuaternaria que recubrió gran parte del Abanico de Ibagué en sus sectores más bajos. Este aluvión fue sedimentado con relativa lentitud al producirse el lago originado por un levantamiento en el cruce del río Magdalena al norte de la curva o codo que forma frente a la población de Coello.

Este material depositado fue acarreado por las aguas que bajaron principalmente de la Cordillera Central, teniendo la mayoría su origen en las tobas que habían sido de-

positadas anteriormente en el flanco oriental de la cordillera mencionada.

El aluvión está sobre el Abanico de Ibagué, de origen glaciar, y éste, a su vez, recubre las areniscas de la formación Girardot (ver Figura 1).

Por otra parte, el material más grueso traído por las aguas de la cordillera fue depositándose primero al llegar a la zona baja, de pendiente suave.

Este fenómeno natural combinado con el ~~desagüe~~ lento del lago, que dejó al descubierto con mayor prontitud las partes más altas del plano, ~~explican claramente~~ la formación gradual de los dos suelos, que en términos generales se observa, desde los de textura más gruesa y jóvenes en la parte más alta, hasta suelos de textura fina, genéticamente bien desarrollados y típicamente hidromórficos, en las partes más bajas.

4.- Clima:

a.- Epocas de lluvia:

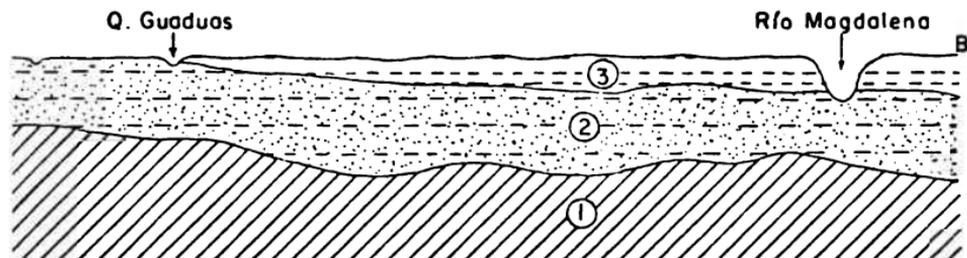
- Primer periodo: desde la segunda quincena de febrero hasta la primera quincena de mayo.
- Segundo periodo: desde la primera quincena de septiembre hasta los primeros días de diciembre.

Los periodos intermedios corresponden a épocas de verano.

La precipitación anual es de 1.300 mm. aproximadamente. No es poca pero sí muy irregular (I.G.A.C., 1954).

b.- Evaporación:

El promedio aproximado de evaporación diario es de 4,5 milímetros.



Escala 1:250.000

- ① Formación Honda (Mioceno Terciario).
- ② Abanico de Ibagué (Pleistoceno Cuaternario).
- ③ Aluvión (Cuaternario).

Figura 1. Corte de los suelos aluviales del Tolima Sur, según I. G. A. C. (1954).

c.- Temperatura:

La temperatura media de El Espinal es de 28,3 °C y de acuerdo con Holdridge (1967), se considera la zona como bosque seco tropical.

IV.- METODOS

A.- Incubación aeróbica

1.- Descripción del método:

Se utilizó el método empleado por Del Valle (1973) e inicialmente descrito por Keeney y Bremner (Bremner, 1965). Dicho método consiste en lo siguiente:

Se pesan 10 grs. de suelo en base seca y previamente pasado por malla No. 40, se le mezclan 30 grs. de arena de Ottawa (arena pura de cuarzo con cristales casi esféricos de 1 mm. de diámetro), y se llevan a un frasco con tapa de caucho perforada con un agujero de cerca de 3 mm. de diámetro. Luego se llevan a una estufa a 30 °C donde se trata de mantener una atmósfera saturada por medio de bandejas con agua. Todos los días se pesan los frascos y si ha habido alguna pérdida de peso se le agrega agua destilada para compensarla.

Los suelos fueron incubados con una tensión de humedad de 1/3 de atmósfera.

Se hicieron incubaciones por diferentes períodos: 2, 4 y 6 semanas.

El nitrógeno mineralizado es la diferencia entre el nitrógeno inorgánico inicial Ni (suma del nitrógeno amoniacal, el nitrito y el nitrato) determinado en una sub-

muestra y el final NF (N 2 semanas... 6 semanas) determinado en las muestras después del período de incubación correspondiente.

Las modificaciones con respecto al método de Keeney y Bremner (Bremner, 1965 b) fueron:

- a.- Para evitar la pérdida de agua de los frascos no se usó el sello con membrana permeable que permite el paso del aire y del CO_2 pero no el vapor de agua, si no el método ya descrito de compensar el agua perdida. También quedaba la posibilidad de usar un sello de polietileno tal como lo recomienda Bremner y utilizado por Benavides (1972), pero no se usó por temor a afectar la aireación.
- b.- Se usó arena de Ottawa de 1 mm. y no cuarzo molido arena lavada por ser mucho más uniforme y pura.
- c.- No se usó un destilador de vapor (Bremner, 1965 a) sino un destilador con empates esmerilados utilizado para semi-micro Kjeldahl.

2.- Extracción del nitrógeno inorgánico ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$).

Se usó el método descrito por Bremner (1965 a). Al suelo incubado se le mezclan 100 mls. de KCl 2N (10 mls. de KCl por un gr. de suelo) y se lleva a un agitador mecánico durante una hora, se deja reposar la dispersión hasta que el líquido supernatante quede claro, luego se extrae una alícuota de 20 mls., la cual se lleva a un balón de destilación para destilarla en una unidad utilizada para semi-micro Kjeldahl de empates esmerilados. Inmediatamente antes de la destilación se le agregan a la alícuota 0,2 grs. de MgO y 0,2 grs. de aleación de Devarda. El destilado se recibe en 10 mls. de solución indicadora de H_3BO_3 y se titula con H_2SO_4 0,001N.

B.- Incubación anaeróbica

1.- Descripción del método:

En 18 tubos de ensayo debidamente identificados correspondientes a tres replicaciones de tres periodos de incubación (2, 4 y 6 semanas), de los suelos Dindalito y La Esperanza, se colocan $12,5 \pm 1$ ml. de agua destilada y se agregan 5 grs. de suelo, seco y tamizado por tamiz de 2 mm.

Se colocan los tubos en la estufa a temperatura constante (30°C) durante 2, 4 y 6 semanas, tapados con tapón de caucho.

Al final de cada periodo se hace la extracción del nitrógeno mineralizado (NH_4). Este método corresponde al utilizado por Waring - Bremner (1964)..

2.- Extracción del nitrógeno mineralizado (NH_4).

Al final de cada periodo (2, 4 y 6 semanas) se agita el tubo por 15 segundos y se transfiere el contenido a un balón de destilación de empates esmerilados, de los empleados en semi-micro Kjeldahl.

Se completa la transferencia con 3-5 mls. de KCl 4 N, usando en total $12,5 \pm 1$ ml. Luego se agrega $0,25 \pm 0,05$ grs. de MgO y se determina la cantidad de nitrógeno amoniacal liberado por destilación de vapor en la mezcla cloruro de potasio - suelos durante 4 minutos. El amonio liberado es colectado en un erlenmeyer que contenga 5 mls. de ácido bórico indicador y determinado por titulación con solución standard de H_2SO_4 (0,001 N).

C. - Extracción del nitrógeno total

Fue empleado el método semi-micro Kjeldahl usado en el laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional, Sede de Medellín.

V. - RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos durante la incubación aeróbica y anaeróbica de las series Dindalito y la Esperanza. Así mismo, en la Tabla 1 se observan estos resultados en Kgr N/Ha.

A. - Serie Dindalito

No hay diferencia significativa entre los siguientes tratamientos: 2 semanas anaeróbico, 4 semanas aeróbico, 4 semanas anaeróbico y 6 semanas anaeróbico.

El mejor tratamiento fue el de incubación anaeróbica durante un período de dos semanas y será el más recomendable debido a que el procedimiento es muy sencillo y el tiempo empleado relativamente corto.

En la Figura 2 se observa que las cantidades mineralizadas mediante la incubación anaeróbica superan a las obtenidas por incubación aeróbica durante las seis semanas que duró el experimento (Tabla 1).

SUELO	N INICIAL	AEROBICO			ANAEROBICO		
		2 SEM.	4 SEM.	6 SEM.	2 SEM.	4 SEM.	6 SEM.
DINDALITO	253,5	128,7	947,7	674,7	865,8	1.088,1	1.123,2
LA ESPERANZA	300,3	234,0	444,6	491,4	553,8	347,1	85,8

Tabla 1. Nitrógeno mineralizada por incubación aeróbica y anaeróbica en los suelos Dindalito y La Esperanza (kg N/Ha)*.

* Los cálculos fueron hechos teniendo en cuenta uno DA = 1,3 gr/cc y una profundidad de 30 cm.

Suela	N mineral Inicial	Nitrógeno Mineralizado					
		Aeróbica			Anaeróbica		
		2 Sem.	4 Sem.	6 Sem.	2 Sem.	4 Sem.	6 Sem.
Dindalito *	0,0065	0,0033	0,0243	0,0173	0,0222	0,0279	0,0288
La Esperanza *	0,0077	0,0060	0,0114	0,0126	0,0142	0,0089	0,0022

* Los datos corresponden al promedio de tres replicaciones.

Tabla 2. Nitrógeno mineralizado mediante incubación aeróbica y anaeróbica en los suelos Dindalito y La Esperanza (gr N/100 gr de suelo).

Las cantidades encontradas durante el período de incubación y que se emplearon en la construcción de la Figura 2, no incluyen el nitrógeno mineral inicial, o sea, que la cantidad de este elemento disponible para las plantas es aún mayor.

Si se tiene en cuenta el hecho de que el nitrógeno en la incubación aeróbica se encuentra en forma de NH_4^+ , NO_2^- y NO_3^- y en la incubación anaeróbica solamente en forma de NH_4^+ , un cambio de pH (aumento) en las muestras que se están incubando puede hacer volatilizar el nitrógeno en forma de NH_3 . Desafortunadamente esta situación no fue prevista en el experimento y hubiese ayudado mucho a resolver la incógnita que se presenta con la incubación aeróbica, la cual sufre un descenso en su tasa de mineralización en el período comprendido entre las cuatro y las seis semanas (Figura 2), explicable solamente con una volatilización de nitrógeno hacia la atmósfera e imposible de medir. Se considera que este fenómeno no se presenta en la incubación anaeróbica pues el exceso de agua del medio impediría dicha volatilización.

Si se comparan los resultados obtenidos en este trabajo con los obtenidos mediante incubación aeróbica por Del Valle (1973) en la experimentación hecha con suelos derivados de cenizas volcánicas de El Retiro, Caldas y Estación Forestal Experimental, Piedras Blancas en Antioquia, con una densidad aparente promedio de 0,35 grs./c.c. y una profundidad media de 0,21 mts., se nota que el nitrógeno mineralizado a las dos semanas es muy semejante (unos 110 kgrs./Ha.). No obstante, en nuestro caso se empleó para los cálculos una profundidad de 0,30 mts. y una densidad aparente de 1,3 grs./c.c.

A las cuatro semanas la situación cambia considerablemente, pues mientras en los suelos derivados de cenizas volcánicas se mineralizan unos 125 kgrs. de N/Ha., en la serie Dindalito se mineralizan 947,7 kgrs. de N/Ha., o sea, que hay una liberación de nitrógeno unas siete veces mayor en los suelos del Tolima Sur.

A pesar de existir un descenso en la cantidad neta mineralizada en la serie Dindalito, de las cuatro a las seis semanas de incubación aeróbica, se supera en unas cuatro veces a las cantidades mineralizadas en los suelos derivados de cenizas volcánicas.

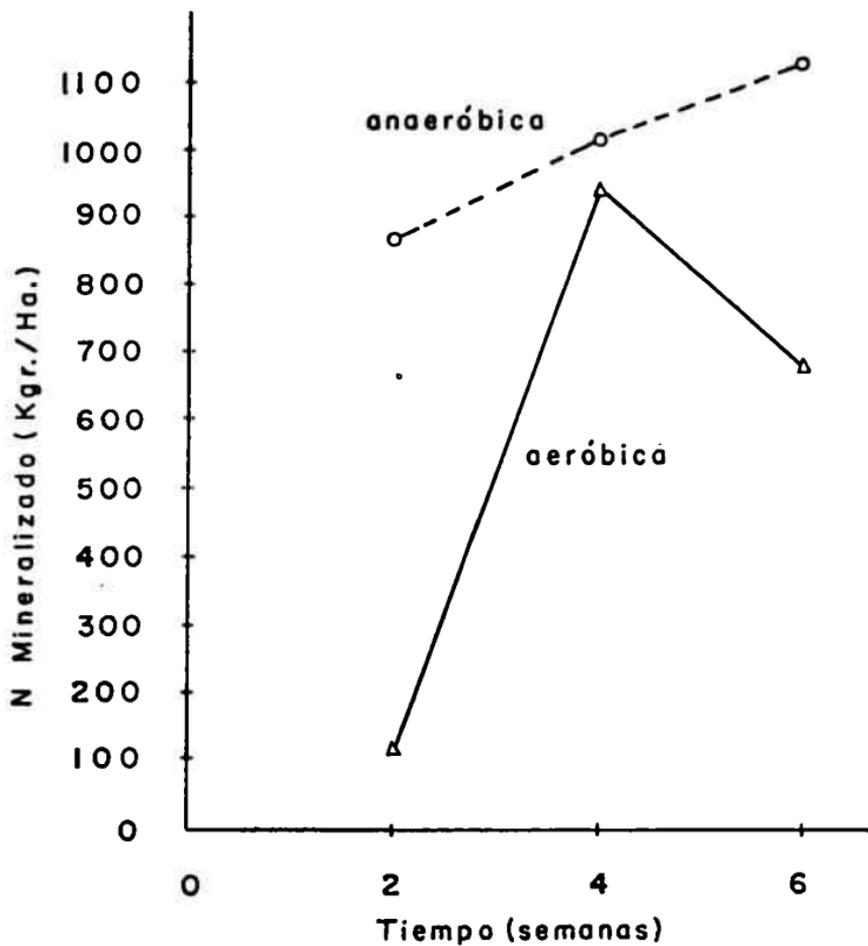


Figura 2. Nitrógeno mineralizado por incubación aeróbica y anaeróbica durante 2, 4 y 6 semanas en la serie Dindolito (Kgr./Ha.).

Obviamente estas grandes diferencias se deben, no sólo a la profundidad y densidad aparente diferentes en ambos cálculos, sino también a los complejos tan estables que se forman con la materia orgánica en los suelos derivados de cenizas volcánicas, situación ésta que la hace menos accesible a la acción de los microorganismos en su acción mineralizadora.

Otro aspecto que parece fundamental es la diferencia ecológica entre las dos zonas, aunque se considera que la temperatura influyó mucho, pues para ambos trabajos fue controlada en 30°C. Quizá el origen y composición de ambos suelos sea la diferencia más importante.

La importancia que se le ha dado a la comparación entre los suelos del Tolima Sur, objeto de este estudio y los suelos estudiados por Del Valle (1973), sirve para destacar una vez más el por qué no puede utilizarse un nivel crítico de nitrógeno total en todo el país como medida del nitrógeno disponible para las plantas, ya que la tasa de mineralización de este nitrógeno total varía considerablemente con la zona ecológica, origen y composición de la materia orgánica y el suelo, etc. Podría emplearse únicamente cuando se haya encontrado correlación alta con la tasa de mineralización de nitrógeno en una zona determinada.

La mineralización tan rápida en el suelo de la serie Dindalito, objeto de estudio, puede traer desventajas, pues puede acumularse tal cantidad de nitrógeno disponible para las plantas en el suelo que es posible esperar altas pérdidas por denitrificación, volatilización y aún por lavado, no siendo aprovechado por los cultivos.

Para concluir, se cree que los suelos de la serie Dindalito con las características de los estudiados acá (nitrógeno total superior a 0,063 %) están en capacidad de suministrar nitrógeno suficiente para los cultivos más comunes de la zona del Tolima Sur.

8. Serie La Esperanza

Desafortunadamente y desde el punto de vista estadístico, los resultados obtenidos no fueron significativos como los producidos con el suelo de la serie Dindalito. A pesar de ello, se observa en la Figura 3 que la curva del nitrógeno mineralizado mediante incubación aeróbica es ascendente con tendencia a estabilizarse con el transcurso del tiempo. Caso contrario sucede con el nitrógeno mineral obtenido por incubación anaeróbica, el cual desciende con el tiempo. Es probable que a pesar de utilizar tres replicaciones, un error en la obtención de las submuestras para cada uno de los tratamientos conlleva variación apreciable en el nitrógeno total de cada una de ellas y/o la capacidad de mineralización de ese nitrógeno no haya sido lo suficientemente homogénea para lograr unos resultados más acordes con lo esperado.

Observando nuevamente la Figura 3, se encuentra que a las dos y cuatro semanas el nitrógeno mineralizado sería suficiente para llenar los requerimientos del algodón, arroz, y maíz. A las seis semanas cambia la situación porque el nitrógeno mineral obtenido por incubación aeróbica alcanza para estos requerimientos, más no así el proveniente de la incubación anaeróbica, pero si a éste se le agrega el nitrógeno mineral inicial observamos que sobrepasa los límites de estos requerimientos y hay nitrógeno disponible para los tres cultivos antes mencionados. En otras palabras, el nitrógeno disponible en el suelo a las seis semanas es suficiente para llenar las necesidades del algodón, el arroz y el maíz.

Es de anotar que el mejor tratamiento fue el de incubación anaeróbica a las dos semanas, mediante el cual se logró la mayor cantidad de nitrógeno mineralizado en los suelos de la serie la Esperanza usados en este trabajo.

Comparando los resultados obtenidos con los suelos de la serie la Esperanza y los citados por Del Valle (1973) (suelos derivados de cenizas volcánicas), se nota que a las dos semanas de incubación aeróbica la cantidad mineralizada de nitrógeno fue dos veces superior a la obtenida en los suelos de Antioquia. A las cuatro y seis semanas es unas tres veces mayor.

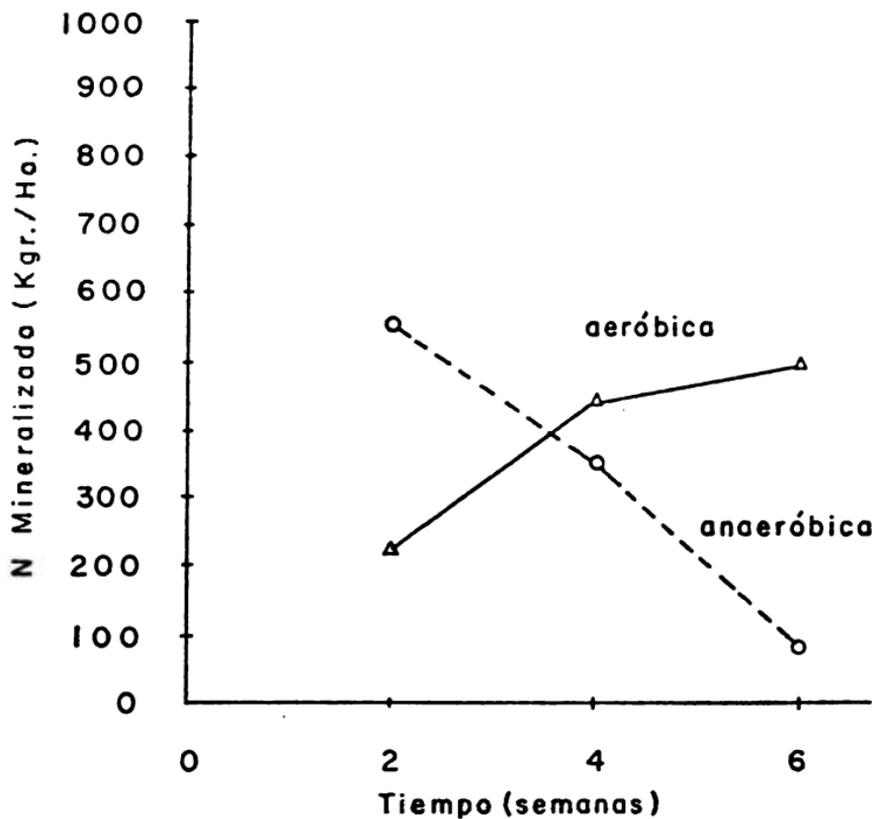


Figura 3. Nitrógeno mineralizado por incubación aeróbica y anaeróbica durante 2, 4 y 6 semanas en la serie La Esperanza (Kgr./Ha.).

C.- Serie Dindalito Vs La Esperanza

1.- Incubación aeróbica:

Si se observan detenidamente las Figuras 2 y 3 a las dos semanas de incubación aeróbica, se encuentra que el nitrógeno mineralizado en la serie La Esperanza supera en unos 100 krs./Ha. al obtenido en el suelo de la serie Dindalito.

Las cantidades de nitrógeno total encontradas en los suelos de ambas series indican que posiblemente no se obtenga respuesta a la aplicación de fertilizantes nitrogenados y las cantidades mineralizadas de este elemento así lo confirman. Extraña el hecho de encontrar una cantidad mayor de nitrógeno total en el suelo de la serie La Esperanza y una mineralización relativamente más baja que la conseguida en el suelo de la serie Dindalito con un nitrógeno total más bajo. A pesar de utilizar tres repeticiones, un error en la obtención de las submuestras para cada uno de los tratamientos conlleva variación apreciable en el nitrógeno total de cada una de ellas y/o la capacidad de mineralización de ese nitrógeno no haya sido lo suficientemente homogénea para lograr unos resultados más acordes con lo esperado.

A las cuatro y seis semanas las cantidades de nitrógeno mineralizado en la serie Dindalito superan las conseguidas en la serie La Esperanza en cantidades importantes tales como: 503 kgrs./Ha. a las cuatro semanas y 183,3 kgrs/Ha. a las seis semanas.

Lo anterior da una idea de una tasa de mineralización aeróbica mayor en el suelo de la serie Dindalito comparada con la tasa en el suelo de la serie La Esperanza.

2.- Incubación anaeróbica:

Se observa un comportamiento anormal en el suelo de la

serie la Esperanza, en el cual las cantidades de nitrógeno mineralizado anaeróbicamente son decrecientes con el tiempo, no encontrándose más explicación a este hecho que la sugerida cuando se habló de la serie la Esperanza.

A pesar de ser anormal este resultado en el suelo de la serie la Esperanza, se nota que la mayor cantidad de nitrógeno mineralizado se obtuvo con la incubación anaeróbica durante las dos primeras semanas para los dos suelos empleados en este estudio.

3.- Diferencias químicas:

Desde el punto de vista químico, los suelos estudiados presentan diferencias que pueden incidir en los resultados obtenidos: el suelo de la serie Dindalito posee un 100% aproximadamente de saturación con Ca, en tanto que el suelo de la serie la Esperanza tiene un 31% de saturación con este mismo elemento. Este hecho hace presumir mayor mineralización de nitrógeno en el suelo de la serie Dindalito, como realmente ocurrió. En otras palabras, parece normal la tasa de mineralización más alta en el suelo de la serie Dindalito aunque posea un porcentaje de nitrógeno total menor que el observado en el suelo de la serie la Esperanza. Además, el porcentaje de materia orgánica es 3 veces mayor en el suelo de la serie Dindalito.

VI. _ CONCLUSIONES

- 1.- Posiblemente el método más indicado y rápido para medir la tasa de mineralización de nitrógeno en los suelos de las series Dindalito y La Esperanza, en el Tolima Sur, es la incubación anaeróbica durante dos semanas.
- 2.- La tasa de mineralización de nitrógeno es más alta en el suelo de la serie Dindalito empleado en este estudio que

la observada en el suelo de la serie La Esperanza.

- 3.- Ambos suelos, objeto del estudio, mineralizan nitrógeno aeróbica y anaeróbicamente en cantidad tal, que están en capacidad de llenar los requerimientos de los cultivos importantes en la región del Tolima Sur muestreada.
- 4.- Los resultados obtenidos con los dos suelos están prácticamente de acuerdo con los niveles críticos de nitrógeno total propuestos por la Federación Nacional de Algodoneros en dicha zona.
- 5.- La mineralización de nitrógeno en los dos suelos del Tolima sur es, en ocasiones, hasta siete veces mayor que la observada en algunos suelos derivados de cenizas volcánicas de Antioquia.

BIBLIOGRAFIA

- ALVAREZ, C. 1975. Mineralización de nitrógeno en Suelos Colombianos. Seminario Agronomía. U. Nacional, Facultad de Ciencias Agrícolas, Medellín.
- BLACK, C.A. 1968. Plant Relationships. Wiley. New York. 792 pp.
- BLASCO, M. 1972. Mineralización del nitrógeno en suelos tropicales y volcánicos. Suelos Ecuatoriales 4 (1): 83-92.
- BREMNER, J.M. 1965. Inorganic forms of nitrogen. En: C.A. Black et al. Methods of soil analysis. Part 2. Amer. Soc. Agron., Madison, Wis, Agronomy. Vol. 9 p. 1179-1232.
- BREMNER, J.M. 1965. Nitrogen availability indexes. p. 1287-1318 En: C.A. Black et al. (ed) Methods of soil analysis. Part 2. Amer. Soc. Agron. Madison, Wis, Agronomy. Vol. 9.
- DE BENAVIDES, Gloria. 1972. Mineralización de nitrógeno en suelos de Colombia. Rev. Suelos Ecuatoriales. 4 (1): 38.
- DE BENAVIDES, Gloria. Mineralización de nitrógeno en suelos derivados de cenizas volcánicas del departamento de Nariño (Colombia). En: Resúmenes V Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y IV Coloquio Nacional sobre Suelos. Medellín.
- DEL VALLE, J.I. 1973. Efecto del secado del suelo en la mineralización del nitrógeno y la productividad y las relaciones entre la mineralización y el Índice de Sitio para Cupressus lusitanica. Univ. Nacional de Colombia. Facultad de ciencias Agrícolas. Medellín (inédito).
- FASSBENDER, H. 1975. Química de Suelos, con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Ciencias

- Agrícolas de la OEA. Turrialba, Costa Rica. 1a. Ed. 398 pp.
- HOLDRIDGE, L.R. 1967. Life zone ecology, by L.R. Holdridge and Joseph A. Tosi. San José, C.R. Tropical Science Center 206 pp.
- ICA. 1965. Algunos aspectos del análisis de suelos. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias "Tulio Ospina" p 54.
- I.G.A.C. 1954. Estudio de Suelos del distrito de irrigación del Río Coello, Tolima. Sección estudios agrológicos y catastrales. 198 pp.
- JACOB, A. 1961. Fertilización, nutrición y abonado de los cultivos tropicales y subtropicales. Traducido por L. López Martínez de Alva. Amsterdam, Internationale Handel maats CHAPPIJ VOOR MESTTOFFEN N.V. 626 p.
- JENNY, Han et al. 1953. El contenido de nitrógeno y materia orgánica en los suelos ecuatoriales de Colombia. Federación Nacional de Cafeteros. Bol. Téc. 1 (8): 1-18.
- LORA, R. 1972. Estimación del Nitrógeno disponible para la planta en algunos suelos de Colombia. Rev. Suelos Ecuatoriales 4 (1): 303-317.
- MOSQUERA, L. 1972. Normas para la descripción de perfiles y unidades cartográficas de suelos. Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", Bogotá. 159 pp.
- MONTAÑO, J. et al. 1964. Aplicación de fertilizantes en el cultivo del algodónero. Federación Nacional de algodóneros. Espinal, Tolima. Bol. Téc. No. 1. 73 pp.
- RIVERO, G. 1972. Funciones del nitrógeno en la planta. Rev. Suelos Ecuatoriales 4 (1): 9.
- ROBINSON, G.W. 1960. Los suelos, su origen, constitución y clasificación. Ed. Omega. Barcelona. p 205.

VARGAS, E. 1975. Fraccionamiento y mineralización de nitrógeno en oxioles de los Llanos Orientales, Colombia. En: Resúmenes V Congreso Latinoamericano de la Ciencia del suelo, IV Coloquio sobre suelos, Medellín. p 28.

WARIGN, S.A. y BREMNER, J.M. 1964. Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability. Nature (London) 201: 951-952.

