

## EL NITROGENO EN LOS SUELOS DEL VALLE DEL CESAR

Néstor Tafur V. (\*) y Mario Blasco L. (\*\*)

### I — INTRODUCCION

A pesar de las numerosas investigaciones realizadas falta mucho para resolver completamente el problema de la naturaleza química del nitrógeno del suelo. Aunque el nitrógeno total ha sido tomado como un índice dentro del campo de la fertilidad, su valor como tal es discutible, principalmente en suelos tropicales, cuando no se conocen sus fracciones principales, de las cuales la forma inorgánica nativa ha recibido muy escasa atención. En este trabajo se presentan algunos aspectos del nitrógeno en los suelos del Valle del Cesar.

### II — REVISION DE LITERATURA

En Colombia el nitrógeno total de los suelos tiende a aumentar con la altitud hasta la formación ecológica denominada Bosque Húmedo Montano (González, et al., 18). En general se puede decir que su contenido disminuye al aumentar la temperatura (Marín y Gómez, 21). Determinaciones realizadas por Blasco (7) en suelos del Valle del Cauca mostraron que en promedio el 93.9% del nitrógeno total estaba en forma orgánica, el 4.3% era fijo nativo y el 1.74% correspondió a la forma intercambiable. En esos mismos suelos, según Blasco y Cornfield (9), el nitrógeno mineral se acumuló mayormente como  $\text{NH}_3\text{-N}$  en suelos ácidos (máximo 190 ppm. pFO, en el suelo de Jamundí), mientras que en suelos neutros se acumuló como  $\text{NO}_3\text{-N}$  (máximo 25.9 ppm, pF 3.4, en el suelo de Palmira).

### III — MATERIALES Y METODOS

Los suelos aluviales utilizados pertenecen al Valle del Cesar (región de Valledupar, Valencia de Jesús y Aguasblancas) situado en la parte Noreste del área Caribe de Colombia y a una altura de 100 m. sobre el nivel del mar, entre la Sierra Nevada de Santa Marta y la cadena Oriental de los Andes. Los promedios anuales de temperatura y lluvia son 27°C y 991,5 mm respectivamente. Algunas de las características generales aparecen en la Tabla I.

Después de secar las distintas muestras a temperatura ambiente y tamizarlas (2 mm), se procedió a analizar las distintas formas de nitrógeno, según la metodología siguiente:

(\*) Néstor Tafur V., I. A. Turipaná, ICA (Córdoba).

(\*\*) Mario Blasco L., Ph. D. Dpto. Suelos, Fac. Agronomía, Palmira.

## — T A B L A I —

## Algunas características generales de los suelos estudiados.

| Nº | Capa | Suelo         | Prof.<br>cms. | Textura    | pH   | Arcillas<br>% | Carbón<br>Org. % | CCC<br>m.e.<br>/100g |
|----|------|---------------|---------------|------------|------|---------------|------------------|----------------------|
| 1  | A    | Villa Rosario | 0 — 20        | F.         | 7.35 | 25.15         | 1.35             | 20.40                |
|    | B    |               | 20 — 70       | F. Arc.    | 7.10 | 39.69         | 0.90             | 22.95                |
|    | C    |               | 70 — 120      | F. Arc.    | 6.48 | 30.92         | 1.14             | 21.40                |
| 2  | A    | Sta. Marta    | 0 — 20        | F.         | 7.38 | 21.84         | 1.14             | 15.00                |
|    | B    |               | 20 — 60       | F. Arc.    | 5.85 | 32.15         | 0.96             | 23.97                |
|    | C    |               | 60 — 95       | F. Arc. A. | 5.65 | 30.23         | 0.51             | 19.89                |
|    | D    |               | 95 — 120      | F. Arc. A. | 5.88 | 27.69         | 1.02             | 20.91                |
| 3  | A    | Marilandia    | 0 — 20        | F. Arc. A. | 7.00 | 26.38         | 1.45             | 16.32                |
|    | B    |               | 20 — 60       | F. Arc. A. | 6.05 | 29.00         | 0.63             | 15.81                |
|    | C    |               | 60 — 95       | F. Arc. A. | 5.95 | 33.19         | 0.27             | 25.50                |
|    | D    |               | 95 — 120      | F. Arc. A. | 6.30 | 29.69         | 0.75             | 16.32                |
| 4  | A    | Costa Azul    | 0 — 20        | F.         | 7.16 | 22.81         | 1.50             | 20.40                |
|    | B    |               | 20 — 60       | F.         | 7.47 | 19.92         | 0.84             | 26.52                |
|    | C    |               | 60 — 100      | F.         | 7.58 | 20.88         | 0.96             | 24.99                |
| 5  | A    | Bella Luz     | 0 — 20        | F. Arc. A. | 6.80 | 21.84         | 0.80             | 12.75                |
|    | B    |               | 20 — 60       | F. Arc.    | 5.80 | 33.38         | 0.78             | 11.73                |
|    | C    |               | 60 — 100      | Arc.       | 5.60 | 48.77         | 0.44             | 19.38                |
| 6  | A    | Bella Luz     | 0 — 30        | F. Arc.    | 7.25 | 31.31         | 0.29             | 36.72                |
|    | B    |               | 30 — 100      | Arc.       | 7.95 | 48.77         | 0.96             | 35.70                |
|    | C    |               | 100 — 120     | F. Arc.    | 8.35 | 38.19         | 0.94             | 31.11                |
| 7  | A    | El Sol        | 0 — 30        | F. Arc. A. | 7.10 | 21.84         | 0.93             | 17.85                |
|    | B    |               | 30 — 80       | F. Arc. A. | 7.50 | 29.54         | 0.75             | 19.38                |
|    | C    |               | 80 — 100      | F. Arc.    | 7.20 | 33.38         | 0.33             | 21.42                |
| 8  | A    | Ciruma        | 0 — 30        | F. A.      | 6.00 | 9.62          | 0.99             | 11.22                |
|    | B    |               | 30 — 70       | F. A.      | 6.45 | 19.23         | 0.45             | 13.77                |
|    | C    |               | 70 — 120      | F. A.      | 7.40 | 9.62          | 0.15             | 10.20                |
| 9  | A    | Babilonia     | 0 — 30        | F. A.      | 7.10 | 12.77         | 0.54             | 14.28                |
|    | B    |               | 30 — 80       | F. Arc. A. | 6.50 | 26.23         | 0.54             | 16.32                |
|    | C    |               | 80 — 120      | F. Arc.    | 6.45 | 19.92         | 0.27             | 16.83                |
| 10 | A    | Manzanares    | 0 — 30        | F. A.      | 7.45 | 10.31         | 0.87             | 15.81                |
|    | B    |               | 30 — 80       | F. A.      | 7.60 | 16.08         | 0.63             | 13.77                |
|    | C    |               | 80 — 120      | F. A.      | 7.45 | 14.15         | 0.39             | 10.71                |
| 11 | A    | Las Mercedes  | 0 — 30        | F.         | 6.45 | 23.77         | 1.30             | 19.38                |
|    | B    |               | 30 — 70       | F. Arc.    | 6.50 | 31.46         | 1.11             | 19.89                |
|    | C    |               | 70 — 120      | Arc.       | 6.40 | 43.00         | 0.48             | 21.42                |



- a) **Nitrógeno Total (incluyendo nitratos):** Método de Kjeldahl con las modificaciones de Bremner (11) y Cornfield (16).
- b) **Nitrógeno inorgánico ( $\text{NH}_4\text{-N}$  fijo -  $\text{NH}_4\text{-N}$  intercambiable):** Según el método de Bremner (10) utilizando como extractante  $\text{N-HF-N-HCl}$ , destilando con borato amortiguado.
- c) **Nitrógeno intercambiable ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ):** De acuerdo al método propuesto por Blasco (7), extrayéndolo con  $\text{N-Cl}_2\text{Ca}$  y destilando con borato amortiguado.
- d) **Nitrógeno fijo nativo ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ):** Por diferencia entre b) y c) (Blasco, 7; Bremner, 10).
- e) **Nitrógeno orgánico:** Por sustracción entre el nitrógeno total (a) y el nitrógeno inorgánico (b) (Blasco, 7; Bremner, 10).
- f)  **$\text{NH}_3\text{-N}$ :** Método de microdifusión de Bremner y Shaw (12), mediante extracción con  $\text{N-ClNa}$  y destilación en celdas Conway con una suspensión de  $\text{MgO}$ .  
El uso de letras para distinguir las distintas muestras no tiene significado pedogenético.

#### IV — RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados aparecen en las Tablas II a V, en las cuales también se incluyen las relaciones C/N de las distintas muestras.

— T A B L A II —

##### Formas del Nitrógeno (1ª capa) Resultados como N en ppm. (\*)

| No.      | N        |                                 | N- Inorgánico                  |   | N<br>Orgánico | $\text{NH}_3\text{-N}$ | C/N   |
|----------|----------|---------------------------------|--------------------------------|---|---------------|------------------------|-------|
|          | Total    | $\text{NH}_4\text{-N}$<br>Total | $\text{NH}_4\text{-N}$<br>Fijo | $\text{NH}_4\text{-N}$<br>Intercam-<br>biable |               |                        |       |
| 1 A      | 1.660,0  |                                 |                                | 67,2  |               |                        | 8,13  |
| 2 A      | 1.285,0  | 340,0                           | 261,6                          | 78,4  | 945,0         | 8,4                    | 8,87  |
| 3 A      | 1.570,0  | 342,7                           | 281,6                          | 61,6  | 1.227,3       | 7,5                    | 9,20  |
| 4 A      | 1.856,40 |                                 |                                | 80,0  |               |                        | 8,10  |
| 5 A      | 928,20   | 220,0                           | 169,2                          | 50,8  | 708,2         | 6,6                    | 8,72  |
| 6 A      | 1.500,0  | 343,0                           | 223,0                          | 120,0   | 1.277,0       | 9,5                    | 8,60  |
| 7 A      | 858,0    |                                 |                                | 72,8  |               |                        | 10,84 |
| 8 A      | 963,9    |                                 |                                | 90,0  |               |                        | 10,27 |
| 9 A      | 571,2    |                                 |                                | 85,0  |               |                        | 9,4   |
| 10 A     | 1.285,2  | 285,6                           | 201,6                          | 84,0  | 999,6         | 7,0                    | 6,7   |
| 11 A     | 1.785,0  |                                 |                                | 120,0   |               |                        | 7,2   |
| Promedio | 1.319,6  | 306,3                           | 227,4                          | 79,0  | 1.031,42      | 7,80                   | 8,42  |
| % N      | 100      | 23,21                           | 17,23                          | 5,99  | 78,16         | 0,59                   |       |

(\*) Los promedios corresponden a las muestras que tienen todas las determinaciones.

## — T A B L A III —

**Formas del Nitrógeno (2ª Capa)**  
**Resultados como N en ppm.**

| No.      | N<br>Total | N- Inorgánico               |                            |   | N<br>Orgánico | NH <sub>3</sub> -N | C/N   |
|----------|------------|-----------------------------|----------------------------|---|---------------|--------------------|-------|
|          |            | NH <sub>4</sub> -N<br>Total | NH <sub>4</sub> -N<br>Fijo | NH <sub>4</sub> -N<br>Intercam-<br>biable |               |                    |       |
| 1 B      | 1.050,0    |                             |                            | 95,0                                      |               |                    | 8,57  |
| 2 B      | 714,0      | 347,2                       | 277,7                      | 65,0                                      | 371,3         | 8,0                | 13,44 |
| 3 B      | 892,5      | 285,6                       | 207,2                      | 78,4                                      | 606,9         | 7,0                | 7,06  |
| 4 B      | 1.071,0    |                             |                            | 72,8                                      |               |                    | 7,84  |
| 5 B      | 1.660,0    | 270,0                       | 205,0                      | 65,0                                      | 1.390,0       | 7,0                | 4,64  |
| 6 B      | 500,0      | 200,0                       | 120,0                      | 80,0                                      | 300,0         | 8,0                | 19,20 |
| 7 B      | 821,0      |                             |                            | 85,0                                      |               |                    | 9,13  |
| 8 B      | 571,2      |                             |                            | 83,0                                      |               |                    | 4,67  |
| 9 B      | 500,0      |                             |                            | 105,0                                     |               |                    | 10,80 |
| 10 B     | 430,0      | 229,0                       | 139,0                      | 90,0                                      | 201,0         | 5,0                | 14,70 |
| 11 B     | 857,0      |                             |                            | 70,0                                      |               |                    | 12,95 |
| <hr/>    |            |                             |                            |   |               |                    |       |
| Promedio | 829,3      | 265,5                       | 189,4                      | 75,7                                      | 573,8         | 7,0                | 11,81 |
| % N      | 100        | 32,01                       | 22,83                      | 9,13                                      | 69,21         | 0,84               |       |

## — T A B L A IV —

**Formas del Nitrógeno (3ª Capa)**  
**Resultados como N en ppm.**

| No.      | N<br>Total | N- Inorgánico               |                            |   | N<br>Orgánico | NH <sub>3</sub> -N | C/N   |
|----------|------------|-----------------------------|----------------------------|---|---------------|--------------------|-------|
|          |            | NH <sub>4</sub> -N<br>Total | NH <sub>4</sub> -N<br>Fijo | NH <sub>4</sub> -N<br>Intercam-<br>biable |               |                    |       |
| 1 C      | 643,0      |                             |                            | 90,0                                      |               |                    | 17,72 |
| 2 C      | 450,0      | 285,0                       | 225,0                      | 60,0                                      | 365,0         | 9,0                | 7,84  |
| 3 C      | 420,0      | 285,0                       | 215,0                      | 70,0                                      | 135,0         | 7,0                | 6,46  |
| 4 C      | 2.100,0    |                             |                            | 101,0                                     |               |                    | 4,57  |
| 5 C      | 600,0      | 300,0                       | 230,0                      | 70,0                                      | 300,0         | 6,0                | 7,33  |
| 6 C      | 357,0      | 170,0                       | 90,0                       | 80,0                                      | 187,0         | 5,0                | 23,53 |
| 7 C      | 500,0      |                             |                            | 75,0                                      |               |                    | 6,6   |
| 8 C      | 495,0      |                             |                            | 70,0                                      |               |                    | 3,03  |
| 9 C      | 358,0      |                             |                            | 84,0                                      |               |                    | 7,54  |
| 10 C     | 1.856,0    | 286,0                       | 190,0                      | 96,0                                      | 1.570,0       | 6,0                | 2,10  |
| 11 C     | 643,0      |                             |                            | 94,0                                      |               |                    | 7,46  |
| <hr/>    |            |                             |                            |   |               |                    |       |
| Promedio | 776,6      | 265,2                       | 190,0                      | 75,2                                      | 511,4         | 6,6                | 9,45  |
| % N      | 100        | 34,15                       | 24,47                      | 9,68                                      | 65,85         | 0,85               |       |



— T A B L A V —

## Formas del Nitrógeno (4ª Capa)

Resultados como N en ppm.

| No.      | N<br>Total | NH <sub>4</sub> -N<br>Total | N. Inorgánico           |                                      | N<br>Orgánico | NH <sub>3</sub> -N | C/N  |
|----------|------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------------------|---------------|--------------------|------|
|          |            |                             | NH <sub>4</sub><br>Fijo | NH <sub>4</sub> -N<br>Intercambiable |               |                    |      |
| 2 D      | 500,0      | 228,0                       | 172,0                   | 56,0                                 | 272,0         | 7,1                | 20,4 |
| 3 D      | 535,0      | 220,0                       | 128,0                   | 92,0                                 | 315,0         | 6,0                | 14,2 |
| Promedio | 517,5      | 224,0                       | 175,0                   | 74,0                                 | 293,5         | 6,55               | 17,3 |
| % N      | 100        | 43,3                        | 28,98                   | 14,3                                 | 56,7          | 1,26               |      |



El contenido promedio de nitrógeno total en los suelos de la región estudiada es inferior al de otras zonas colombianas de clima medio (Valle del Cauca) o de clima frío (Sabana de Bogotá) (Blasco, 7; Marín y Gómez, 21). Es bien conocido que la actividad microbial para atacar los compuestos orgánicos decrece con la disminución de la temperatura y/o el pH. (Alexander, 1; Sen Gupta y Cornfield, 25). Por consiguiente, los resultados obtenidos son lógicos, teniendo en cuenta que el aumento de la temperatura, contribuye a la descomposición de la materia orgánica, mediante volatilización del nitrógeno en forma de amoníaco y carbono en la forma de  $\text{CO}_2$  (Mortland, 22; Blasco, 8; Allison, 2 y Schreven, 26).

En la primera capa el nitrógeno inorgánico llegó a 306,3 ppm. en promedio, mientras que en los subsiguientes horizontes varió entre 265,5 y 224,0 ppm. siendo mayores estas cantidades a las encontradas por Blasco (7) en los suelos del Valle del Cauca, aunque son inferiores con relación a algunos resultados encontrados por Rodríguez (24) en el área británica del Caribe. Las cantidades de nitrógeno inorgánico total representaron entre el 23,21 y el 43,30% del nitrógeno total en la capa superficial y máxima profundidad estudiada respectivamente. Siguiendo la norma general (Walsh y Murdock, 31); Walsh, 30; Aomine, 3 y Hinmman, 19), el nitrógeno inorgánico aumenta con la profundidad del perfil debido a la disminución progresiva de la fracción orgánica. Por otra parte, trabajos realizados por distintos autores, Stevenson et al (29), Bremner (10) y Stevenson y Dharival (28) indican que la illita es la fracción principalmente responsable de la fijación del nitrógeno en forma inorgánica. Los resultados están señalando que estos suelos muy posiblemente tengan abundancia de esa arcilla.

Dentro del nitrógeno inorgánico la fracción correspondiente al N-intercambiable es más alta que la encontrada por Blasco (7), para los suelos del Valle del Cauca (40,5 ppm.). La abundancia de calcio, sodio y potasio en estos suelos, tal como ha ocurrido en otros experimentos, incide en que existe dentro de la fracción inorgánica del nitrógeno una aceptable cantidad en forma intercambiable, puesto que esos cationes impiden la fijación en cierto grado (Aomine y Wada, 4; Nómnik, 23). Por otra parte, también los materiales inorgánicos amorfos, tan abundantes en suelos tropicales y los complejos ferro y aluminio orgánicos pueden prevenir la fijación de los cationes intercambiables de nitrógeno (Young y Cattani, 33; Brown, 13). Estos datos indicarían que esta región tiene mayor potencial de dar nitrógeno que el Valle del Cauca y además nos demostraría que el nitrógeno total no es una buena medida de la cantidad utilizada por las plantas.

El nitrógeno orgánico da el más alto porcentaje habiendo representado 78,16% del nitrógeno total en la primera capa y variando esta fracción entre 69,21 y 56,70% en las capas más profundas, sin embargo estas cantidades son inferiores a las encontradas por Blasco (7) y al promedio mundial en zonas templadas (Kono-nova, 20) pudiéndose deber esta situación a que en la región existe déficit de materia orgánica debido al hecho de que al secarse la fracción orgánica, aumenta la superficie de exposición al ataque de los microorganismos del suelo, mientras que en regiones



frías, la mayor humedad hace que los geles orgánicos aumentan de tamaño y se cohesionen, además es conocido que en suelos tropicales es más alta la actividad de los microorganismos para atacar la materia orgánica que en áreas de clima frío (Birch y Friend, 6; Birch, 5;) y como se indicó anteriormente, la temperatura influye en una rápida descomposición de la materia orgánica.

Los resultados para la producción de  $\text{NH}_3\text{-N}$  son normales en estos suelos de reacción neutra a básica, concordando con lo indicado por Clifton (15). Posiblemente en estos suelos la mineralización está afectada adversamente por condiciones de baja humedad, tal como ha sido encontrado en suelos tropicales por Blasco y Cornfield (9); Simpson (27) y Calder (14), sin embargo la actividad de los microorganismos llega en forma aceptable hasta 120 cms. de profundidad con producciones de  $\text{NH}_3\text{-N}$  que representan el 1,26% del Nitrógeno total. Este fenómeno cabe atribuirlo entre otras razones, al hecho de que la región es predominante algodoneira y las raíces del cultivo penetran profundamente lo cual permite en el subsuelo cierta acumulación de materia orgánica y vías de acceso a la actividad de los microorganismos amonificantes; además con mejores condiciones de humedad (Ekpete y Cornfield, 17), como puede ocurrir a esas profundidades, se presenta mayor acumulación de amoníaco. Sin embargo en estos suelos es de esperarse que al aumentar la intensidad de los cultivos o con el transcurso del tiempo, la velocidad de mineralización disminuye, ya que los compuestos orgánicos degradados, son más resistentes al ataque microbiológico (Winsor y Pollard, 32).

Se aprecia cierta tendencia al aumento de la relación C/N con la profundidad del perfil, a pesar de que el contenido de materia orgánica va disminuyendo. Esto, como ha sido indicado por Hinman (19) y Stevenson et al. (29), se debe a una mayor abundancia relativa a ácidos húmicos en el subsuelo (por lixiviación o acumulación de raíces) y/o las sustancias orgánicas de las capas profundas son menos ricas en nitrógeno que las de la superficie.

## V — RESUMEN

Las muestras utilizadas en el estudio pertenecen al Valle del Cesar, la principal región algodoneira de Colombia. El Valle del Cesar está situado a 100 m sobre el nivel del mar, entre la Sierra Nevada de Santa Marta, y los Andes Orientales (NE de Colombia, área del Caribe). La temperatura promedio es de  $27^\circ\text{C}$  anuales y la precipitación de 1.000 mm. En promedio las cantidades de las diferentes formas de nitrógeno fueron como sigue (suelos superficiales, 0-25 cms.):

|                                       | ppm.   | % N - Total |
|---------------------------------------|--------|-------------|
| N- Total                              | 1319,6 | 100         |
| N- Orgánico                           | 1013,3 | 76,79       |
| N- Inorgánico                         | 306,3  | 23,21       |
| $\text{NH}_4\text{N}$ nativo fijo     | 227,4  | 17,23       |
| $\text{NH}_4\text{-N}$ intercambiable | 78,9   | 5,99        |
| $\text{NH}_3\text{-N}$                | 7,8    | 0,59        |



Como se esperaba el N- Total y el N- Orgánico de los diferentes suelos disminuyeron con la profundidad del perfil mientras que aumentó el N- Inorgánico.

## SUMMARY

### NITROGEN IN THE SOILS OF CESAR VALLEY

The samples used in this study were obtained from the Cesar Valley, the main cotton region of Colombia. The Cesar Valley lies at abbot 100 m over sea level between the Sierra Nevada of Santa Marta and the Eastern Andes mountains. (NE of Colombia. Caribbean area). Mean temperature and rainfall are 27°C and 40 in. respectively. On average the amounts of the different forms of N were as follows (surface soils):

|                                 | ppm.   | % Total-N |
|---------------------------------|--------|-----------|
| Total -N                        | 1319.6 | 100       |
| Organic-N                       | 1013.3 | 76.79     |
| Inorganic -N                    | 306.3  | 23.21     |
| NH <sub>4</sub> -N native fixed | 227.4  | 17.23     |
| NH <sub>4</sub> -N exchangeable | 78.9   | 5.99      |
| NH <sub>3</sub> -N              | 7.8    | 0.59      |

As expected Total -N and Organic -N content in the different soils decreased with the profile depth whilst Inorganic -N increased.

## BIBLIOGRAFIA

1. ALEXANDER, M. 1964. Introduction to soil microbiology. 2nd. ed. John Wiley & Sons Inc. New York. 472 p.
2. ALLISON, F. E. 1963. Losses of gaseous nitrogen from soil by chemical mechanisms involving acid and nitrites. Soil. Sci. **96**: 404-409.
3. AOMINE, S. 1951. The fixation ammonium soils. I. Jour. Sci. Man. Jap. **22**: 83-87 (Abst. in Soils and Fert. **15** (1969). 1952).
4. AOMINE, S. and K. Wada. 1952. The fixation of ammonium in soils. V. Jour. Soil Man. Jap. **23**: 1-4 (Res. en Soils and Fort. **16**: (1289). 1953).
5. BIRCH. 1959. Further observation on humus decomposition and nitrification. Plant and Soil. **11**: 262-286.
6. BIRCH, H. F. and M. T. Friend. 1956. Humus decomposition in East African soils. Nature. **178**: 500-501.
7. BLASCO, M. 1966. Ph. D. Thesis, University of London. 311 p.
8. BLASCO, M. 1968. Información preliminar de los suelos del Amazonas Colombiano. Anales de Edafología y Agrobiología. **27** (en prensa).



9. BLASCO, M. and A. H. Cornfield. 1967. Effect of soil moisture content during incubation on the nitrogen-mineralizing characteristics of the soils of Colombia (South America). *Geoderma*. 1: 19-23.
10. BREMNER, J. M. 1959. Determination of fixed ammonium in soils. *Jour. Agric. Sci.* 52: 147-166.
11. BREMNER, J. M. 1960. Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl method. *Jour. Agric. Sci.* 55: 11-33.
12. BREMNER, J. M. and K. Shaw. 1955. Determination of ammonio and nitrate in soils. *Jour. Agric. Sci.* 46: 320-328.
13. BROWN, G. 1954. Soil morphology and mineralogy. A qualitative study of some gleyed soils from North - West England. *Jour. Soil Sci.* 5: 145-155.
14. CALDER, E. A. 1957. Features of nitrate accumulation in Uganda soil. *Jour. Soil Sci.* 8: 60-72.
15. CLIFTON, C. E. 1957. Introduction to bacterial physiology. McGraw-Hill Co. New York. 414 p.
16. CORNFIELD, A. H. 1966. Laboratory manual Agricultural Chemistry. University of London, Imperial College Sci. Tech.
17. Ekpete, D. M. and A. H. Cornfield. 1966. Effects of varying static and changing moisture content during incubation of ammonia and nitrite levels in soils. *Jour. Agric. Sci.* 66: 125-129.
18. GONZALEZ, A., M. Blasco y N. Bohórquez. 1968. Relaciones entre el carbono orgánico, nitrógeno total y nitrógeno intercambiable en diferentes formaciones ecológicas colombianas. *Memorias IV Cong. Ing. Agron. Barranquilla*.
19. HINMAN, W. C. 1964. Fixed  $\text{NH}_4$  in some Saskatchewan soils. *Can. Jour. Soil Sci.* 44: 151-157.
20. KONONOVA, M. M. 1961. Soil organic matter. Trad. T.2. Nowakowski. Acad. Sci. URSS. Moscú. 450. p.
21. MARIN, G. y J. Gómez. 1966. Algunos aspectos del análisis de suelos. *Separata Agric. Tropical* 22: Nos. 4 a 8.
22. MORTLAND, M. M. 1958. Reactions of ammonia in soils. *Adv. in Agron.* 18: 325-328.
23. NOMMIK, H. 1957. Fixation and defixation of ammonium in soils. *Acta Agric. Scand.* 7: 395-436.
24. RODRIGUEZ, G. 1954. Fixed ammonium in tropical soils. *Jour. Soil Sci.* 5: 264-274.
25. SEN GUPTA, M. B. and A. H. Cornfield. 1962. Determination of the organic phosphorus contents of calcareous soils and its relation to soil calcium carbonate content. *Jour. Sci. Food Agric.* 13: 655-688.
26. SCHEREVEN, D. A. van. 1964. A comparison between the effect of fresh dried organic materials added to soil on carbon and nitrogen mineralization. *Plant and Soil.* 20: 149-165.
27. SIMPSON, J. R. 1960. The mechanisms of surface nitrate accumulation on a bare fallow soil in Uganda. *Jour. Soil Sci.* 11: 45-60.

28. STEVENSON, F. J. and A. P. S. Dharival. 1959. Distribution of fixed ammonium in soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. **23**: 121-125.
29. STEVENSON, F. J., A. P. S. Dharival and M. B. Choudri. 1958. Further evidence for naturally occurring fixed ammonium in soils. Soil Sci. **85**: 42-46.
30. WALSH, L. M. 1959. Native fixed ammonium and fixation of applied ammonium in several Wisconsin soils. Dissert. Abst. **20**: 843-844.
31. WALSH, L. M. and J. T. Murdock. 1960. Native fixed ammonium and fixation of applied ammonium in several Wisconsin soils. Soil Sci. **89**: 183-193.
32. WINSOR, G. W. and A. G. Pollard. 1956. Carbón, nitrogen relationships in soils. I - IV. Jour. Sci. Food Agric. **7**: 134-149; 613-624.
33. YOUNG, J. L. and R. A. Cattani. 1962. Mineral fixation of anhydrous  $\text{NH}_3$  by air-dry soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. **26**: 147-152.