

**EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DEL NITRÓGENO EN EL
ARREGLO SILVOPASTORIL ALISO (*Alnus jorullensis* H B & K) KIKUYO
(*Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov.)**

**EVALUATION OF THE CURRENT STATE OF THE NITROGEN IN THE
ARRANGEMENT ALISO (*Alnus jorullensis* H B & K) KIKUYO
(*Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov.)**

Elizabeth Muñoz H.¹, Silvia Pupiales A.¹, Jorge Navia E.²

Fecha de recepción: 6 de marzo de 2010 Fecha de aceptación: 4 de octubre de 2010

RESUMEN

El estudio se realizó en el Centro Experimental FEDEPAPA, Corregimiento de Obonuco, municipio de Pasto, Departamento de Nariño, ubicado a 1°11" latitud norte y 77°18" longitud oeste, a 2710 msnm, con una precipitación promedio anual de 840 mm y una temperatura promedio de 13°C, zona de vida, bosque seco montano bajo (bs-MB). Se evaluó el estado actual del nitrato y amonio en el sistema silvopastoril aliso (*Alnus jorullensis*) y kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) en dos profundidades y cinco distancias donde se comparó con el monocultivo de pasto kikuyo, y se determinó la producción de forraje y la humedad del suelo. Se presentaron mayores niveles de nitrato y amonio en el arreglo aliso+kikuyo que en el monocultivo de kikuyo y en las primeras capas hubo mayores contenidos de estos dos elementos durante la realización de este estudio, igualmente se presentaron mayores cantidades de nitrato que de amonio. Los tratamientos aplicados al arreglo aliso+kikuyo en cuanto a la humedad del suelo, indicaron que la humedad fue homogénea entre distancias y profundidades. En el monocultivo se observó que ésta fue superior a mayores profundidades. Para la producción de forraje se presentaron diferencias significativas, indicando que la distancia afectó producción de forraje.

Palabras clave: Nitrato, amonio, humedad, producción de forraje, sistema silvopastoril.

1 Ingenieros Agroforestales, Programa de Ingeniería Agroforestal, Facultad de Ciencias Agrícolas Universidad de Nariño. cristy_hernandez33@yahoo.es silviapupiales@gmail.com

2 Profesor Asistente, Universidad de Nariño, Ph. D. jornavia@yahoo.es

ABSTRACT

The study was realized in the Experimental Center FEDEPAPA, municipality of Pasto, Department of Nariño located to 1°11" north latitude and 77°18" longitude west, to 2710 msnm, with precipitation average of 840 mm and a temperature of 13°C, zone of life bs-MB. Evaluates the current state of the nitrate and ammonium in the system aliso (*Alnus jorullensis*) and grass (*Pennisetum clandestinum*) in two depths and five distances it was compared with the monoculture of grass and decided the forage production and soil humidity. It presented major levels of nitrate and ammonium in the arrangement aliso+grass that in the monoculture of grass and in the first caps there were major contents of these two elements during the accomplishment of this study, equally it presented major quantities of nitrate than of ammonium. The treatments applied to the arrangement aliso+grass to the humidity of the soil, indicated that the humidity was homogeneous between distances and depths. In the monoculture was observed that this was superior to major depths. For the production of forage they presented significant differences, indicating that the distance affects the production of forage.

Keywords: Nitrate, ammonium, humidity, forage production, silvopastoral system.

INTRODUCCIÓN

El uso continuo y en exceso de fertilizantes nitrogenados pueden causar problemas en los animales entre ellos de tipo reproductivo (Medina *et al.*, 2007), donde la concentración de nitratos en el forraje no representa riesgos para los animales cuando los porcentajes están entre el 0.44% y el 0.66%; entre 0.66 y 1.76%, hay algunos signos de intoxicación y no se debe alimentar a gestantes; si los porcentajes sobrepasan el 1.76% el forraje es altamente tóxico y mortal si es consumido (Rosiles y Ávila, 2005).

Los microorganismos del suelo son los responsables del suministro de elementos o compuestos inorgánicos nutricionales, así como de la descomposición y mineralización de la materia orgánica (Giardina, 2009). El suelo sostiene una red trófica y los consumidores primarios de esta red son los microorganismos (bacterias y hongos) que descomponen y mineralizan sus-

tancias orgánicas complejas (Domínguez, *et al.*, 2009). En la mineralización del nitrógeno, se distinguen los procesos de amonificación la cual es realizada por un gran número de microorganismos que atacan distintas moléculas orgánicas (urea, aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, sustancias húmicas) y la nitrificación que es la producción biológica de nitritos o nitratos a partir de amonio (Frioni, 1999). La nitrificación tiende a disminuir tanto en condiciones de excesiva humedad, como aquellas de escasez (Navarro, 2003). La actividad microbiana llega prácticamente a anularse cuando el contenido hídrico del suelo se aproxima al punto de marchitamiento y se reanuda casi inmediatamente cuando se recupera la humedad (Thompson y Troeh, 2002).

El ciclo del nitrógeno es sumamente dinámico y complejo, sobre todo por procesos microbiológicos responsables de la mineralización, fijación y desnitrificación. El nitrógeno de los fertilizantes se transforman microbiológicamente en NH_4^+

(amonio) mediante el proceso de amonificación, el ion amonio se oxida por la acción de las bacterias (*Nitroso monas* y *Nitrobacter*) convirtiéndose en nitrato (NO_3^-) con un producto intermedio nitrito (NO_2^-), en un proceso llamado nitrificación. La desnitrificación se produce en condiciones anaeróbicas, donde el nitrato se reduce a formas gaseosas (NO , NO_2 , N_2 etc.) (Muñoz, 2005). Las cantidades de nitrógeno presentes en los suelos están controladas mayormente, por las condiciones climáticas y la vegetación y su contenido y formas en el suelo no presentan una naturaleza estática, sino más bien dinámica (Fassbender y Bornemisza, 1994).

La incorporación de una especie fijadora de nitrógeno, que contribuya a descompactar el suelo y que además ayude a la regulación hídrica y al ciclaje de nutrientes en las praderas de kikuyo, es deseable porque permite reducir la dependencia sobre insumos externos, elimina el impacto ambiental de la fertilización química y atenúa el efecto erosivo del pisoteo del ganado (Murgueitio y Calle, 1999).

El aliso presenta nódulos en la raíz, como consecuencia de la simbiosis con un actinomiceto del género *Frankia*, de la especie *F. alni*, capaz de fijar el nitrógeno atmosférico. En Colombia en una plantación de aliso de dos años, con una densidad de 1.600 árboles/ha y una altura promedio de 6,2 m, se registró un incremento de nitrógeno en el suelo de 279 kg/ha/año, se encontró que el pasto kikuyo, creciendo bajo un rodal de aliso de 12 años de edad, contenía el doble de proteína que el mismo pasto a plena exposición solar (Ospina *et al.*, 2005).

Ávila *et al.* (2004), evaluaron en cafetales (*Coffea arabica*) a pleno sol y café bajo sombra de *Eucalyptus deglupta*, las tasas de mineralización

y nitrificación del nitrógeno del suelo, las pérdidas de nitrógeno por escorrentía y lixiviación y el nitrógeno mineral acumulado en el perfil del suelo. *E. deglupta* no afectó la tasa de mineralización y nitrificación del nitrógeno en la capa de suelo 0-20 cm. *E. deglupta* incrementó la demanda evaporativa total del sistema y la absorción de nitratos durante la estación seca, dando como resultado una menor lixiviación de nitratos en este sistema. En los suelos de cafetales a pleno sol y bajo *E. deglupta*, la lixiviación de nitratos fue de 103 kg/ha/año y 62 kg/ha/año de nitrato a 1,2 m y de 25 kg/ha/año y 15 kg/ha/año de nitrato a 2 m de profundidad, respectivamente. La fuerte reducción en las concentraciones de nitrato con la profundidad del suelo se debe a su adsorción por los coloides del suelo en las profundidades por debajo de 80 cm.

Bolívar *et al.* (1999), evaluaron la contribución de *Acacia mangium* en diferentes épocas sobre la fertilidad del suelo y sobre la composición mineral de *B. humidicola*. La acacia no afectó los contenidos de Ca, Mg, K, Mn, en el suelo, ni el pH y la acidez intercambiable, aunque el Ca, K y Mn tendieron a ser mayores en el sistema silvopastoril. Igualmente no afectó el contenido de minerales foliares. La acacia aumentó significativamente los contenidos de humedad P, N, amonio y nitratos en 15, 98, 38, 53 y 177% respectivamente. La *B. humidicola* presentó mayor contenido de PC en el SSP (4.7%), comparado con 3.2% sin asociación. La humedad, el pH, nitratos y fósforo fueron mayores en la época lluviosa; la acidez fue superior en la época seca. El pasto presentó mayores niveles de Ca, K y P en la época lluviosa y mayor Mn en la época seca.

El objetivo del presente estudio fue evaluar el estado actual del nitrógeno (NH_4^+ y NO_3^-) a dos

profundidades (0-20cm y 20-40cm) y a 5 distancias (0, 1, 2, 3, 4m) en el arreglo silvopastoril aliso (*Alnus jorullensis* H B & K) + Kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov.) y monocultivo Kikuyo (*Pennisetum clandestinum* hochst. ex chiov.) en el Centro Experimental Fedepapa Obonuco, Municipio de Pasto, Departamento de Nariño, evaluar la producción de forraje y humedad del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Centro experimental FEDEPAPA, corregimiento de Obonuco, municipio de Pasto, departamento de Nariño, ubicado a 1°11" latitud norte y 77°18" longitud oeste, a 2710 msnm, con una precipitación promedio anual de 840 mm y una temperatura promedio de 13°C. Corresponde a la zona de vida bosque seco montano bajo (bs-MB) (Holdrige, 2000). Estos suelos se clasifican y se agrupan a nivel de familia en vitric haplustands (AMBa), caracterizados por ser muy profundos, bien drenados, pertenecen al grupo textural franco limoso y se han desarrollado a partir de cenizas volcánicas. Químicamente son suelos de reacción fuertemente ácida en el horizonte superior y de moderada a ligeramente ácida a mayor profundidad, alta capacidad catiónica de cambio, alta saturación de bases, altos contenidos de carbono orgánico, medio contenido de fósforo y fertilidad química alta. (Becerra *et al.*, 2007).

El arreglo silvopastoril Aliso//Kikuyo fue establecido el año 2004, en el proyecto "Alternativas Silvopastoriles como estrategias de manejo sostenible de praderas". Los árboles fueron sembrados a una distancia de 8m x 8m, donde pastorean 60 animales por un periodo de 3 días y se deja descansar 45 días.

En la toma de información se definieron 3 árboles a los que se les aplicaron 10 tratamientos, numerándose los árboles ubicados dentro del arreglo, descartando los árboles con efecto de borde. Las fichas de los árboles numerados se colocaron en una bolsa y se sacaron 3 fichas al azar. Para el monocultivo, se escogieron tres sitios donde se aplicaron 2 tratamientos.

Para la realización de los análisis en laboratorio, se tomaron 10 muestras de suelo de cada tratamiento por 3 repeticiones, para un total de 30 muestras cada una con un peso de 500 g de suelo, mas 2 tratamientos del monocultivo por 3 repeticiones para un total de 6 muestras. Todas las muestras se etiquetaron respectivamente y se llevaron al laboratorio, donde se determinó el contenido de nitrato y amonio por el método de destilación (Amezquita *et al.*, 1993).

En la determinación de la humedad del suelo se empleo la fórmula descrita por Forsythe (1972):

$$\%HG = \frac{ms - mssh}{mssh} \times 100$$

Donde:

%HG: humedad gravimétrica

ms: Masa del suelo

mssh: Masa del suelo secado al horno

Para la producción de forraje, se utilizó el método del botanal, realizando aforos a 3 árboles a las mismas distancias del dosel del árbol (0, 1, 2, 3, 4 metros) utilizando un marco de 50x50 cm, luego se cortó el pasto y se pesó respectivamente. Para el testigo, se utilizó igualmente este método y se tomaron 10 muestras al azar, se cortó y pesó cada muestra.

Para las variables nitrato, amonio y humedad, se utilizó un diseño experimental bloques completos al azar con arreglo factorial asimétrico $(5 \times 2) + 2$, donde el factor A corresponde a 2 profundidades (0-20 cm y 20-40 cm) y el factor B corresponde a 5 distancias (0 m, 1 m, 2 m, 3 m y 4 m) (Figura 1), generando en total 10 tratamientos, mas 2 tratamientos para el monocultivo con 3 repeticiones.

Tratamientos:

1. Distancia 0 – profundidad 0-20-cm.
2. Distancia 1 – profundidad 0-20 cm.
3. Distancia 2 – profundidad 0-20 cm.
4. Distancia 3 – profundidad 0-20 cm.
5. Distancia 4 – profundidad 0-20 cm.
6. Distancia 0 – profundidad 20-40 cm.
7. Distancia 1 – profundidad 20-40 cm.
8. Distancia 2 – profundidad 20-40 cm.
9. Distancia 3 – profundidad 20-40 cm.
10. Distancia 4 – profundidad 20-40 cm.

11. Monocultivo pasto Kikuyo profundidad 0-20 cm.

12. Monocultivo pasto Kikuyo profundidad 20-40 cm.

Para la evaluación de la producción de pasto kikuyo, se utilizó el diseño experimental bloques completos al azar, donde se emplearon 6 tratamientos que corresponden a 5 distancias del borde del árbol (Figura 2), más un sitio escogido al azar para el monocultivo de pasto kikuyo, para un total de 6 tratamientos con tres repeticiones.

Tratamientos

1. Tratamiento 1: distancia 0 m
2. Tratamiento 2: distancia 1 m
3. Tratamiento 3: distancia 2 m
4. Tratamiento 4: distancia 3 m
5. Tratamiento 5: distancia 4 m
6. Tratamiento 6: monocultivo de pasto kikuyo.

Figura 1. Esquema del diseño experimental para las variables nitrato, amonio y humedad del suelo en el Centro experimental FEDEPAPA, 2009

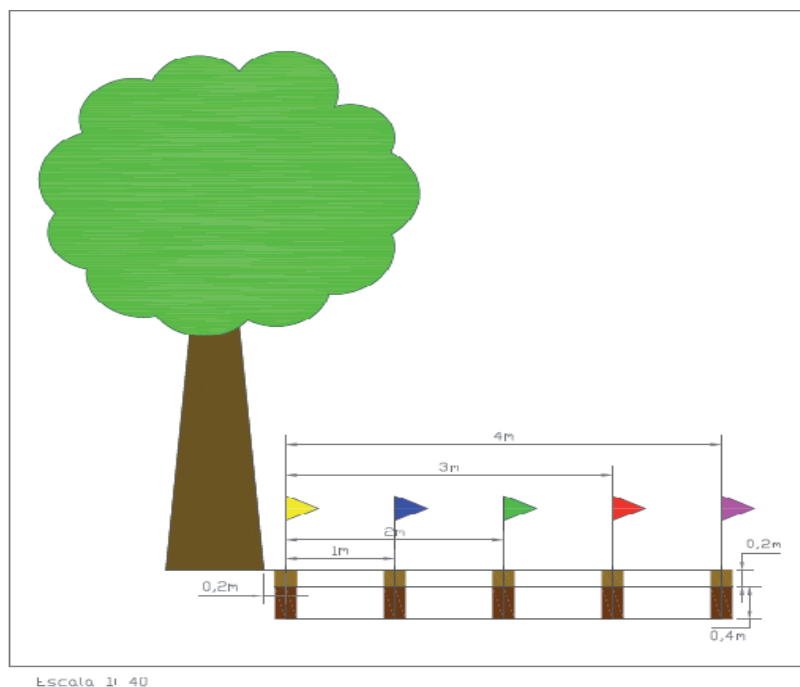
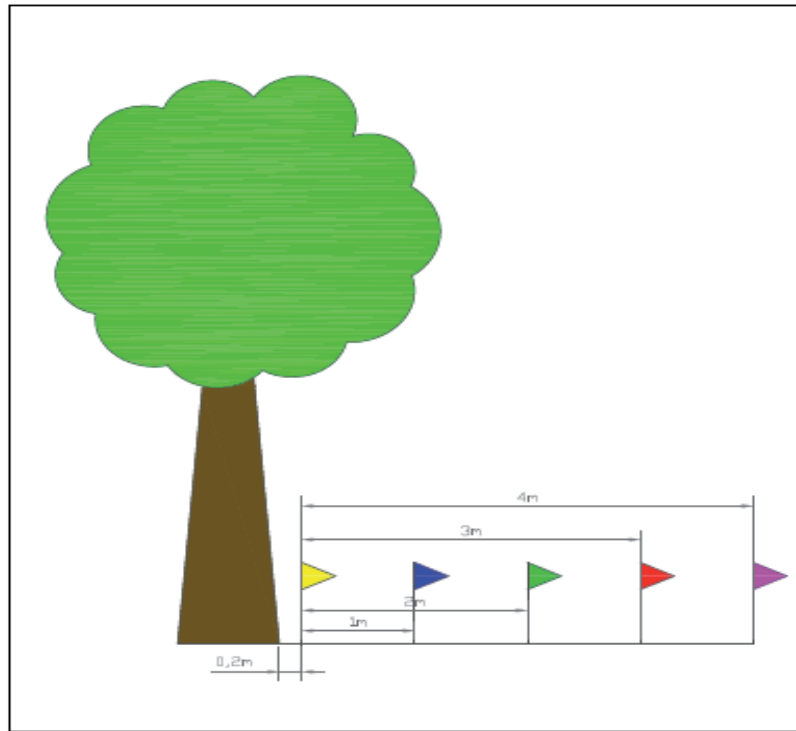


Figura 2. Esquema del diseño experimental para las producción de forraje en el Centro experimental FEDEPAPA, 2009



Escala 1: 40

El análisis estadístico para las variables nitrato y amonio se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis de dos vías, ya que los datos no cumplen los requisitos para el ANDEVA de dos vías paramétrico. Esta prueba consiste en:

- Asignar rangos a todos los datos de mayor a menor (o viceversa), irrespectivo de la celda de la tabla en que se encuentran.
- Se obtiene la suma de los rangos R_i para cada grupo.
- Se calcula el termino de corrección.

$$TC = \frac{N(N + 1)^2}{4}$$

- Calcular la suma de cuadrados entre grupos (celdas)

$$SC_G = \frac{\sum R_i^2}{n} - TC$$

- Calcular la suma de cuadrados para cada factor

$$SC_A = \frac{(\sum R_{A1})^2 + (\sum R_{A2})^2 + \dots + (\sum R_{An})^2}{c * n_i} - TC$$

$$SC_B = \frac{(\sum R_{B1})^2 + (\sum R_{B2})^2 + \dots + (\sum R_{Bn})^2}{f * n_i} - TC$$

- Calcular la suma de cuadrados de la interacción

$$SC_{AxB} = SC_G - SC_A - SC_B$$

- Calcular cuadrados medios del total

$$CM_T = \frac{N(N+1)}{12}$$

- Calcular el estadígrafo de prueba para cada factor y la interacción

$$H_A = \frac{SC_A}{CM_T}$$

$$H_B = \frac{SC_B}{CM_T}$$

$$H_{AXB} = \frac{SC_{AXB}}{CM_T}$$

- Buscar los niveles de significancia en la tabla χ^2 (Stiles, 2000).

Para humedad se realizó el análisis de varianza y cuando se presentaron diferencias estadísticas, se utilizó la prueba de diferencia mínima significativa (DMS) utilizando el paquete estadístico SAS.

Para la producción de forraje, se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis de una vía, que se utiliza cuando los datos no cumplen con los requisitos para el ANDEVA paramétrico (especialmente cuando las distribuciones son muy lejos de la normal), el procedimiento de esta prueba es:

- Asignar rangos a todos los datos de mayor a menor (o viceversa), irrespectivo de la celda de la tabla en que se encuentran.
- Se obtiene la suma de los rangos R_i para cada muestra.
- Calcular:

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^k \left(\frac{R_i^2}{n_i} \right) - 3(N+1)$$

- Buscar el valor de H en una tabla de χ^2 con $k-1$ grados de libertad (k es el número de muestras) para obtener el nivel de significancia de la prueba (Stiles, 2000).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a la prueba de Kruskal-Wallis para la evaluación del nitrato (Tabla 1), se presentaron diferencias estadísticas significativas para la distancia ($p < 0.1$), indicando que la distancia afectó los contenidos de nitrato en el suelo, no se presentaron diferencias significativas para la profundidad ($p > 0.1$) y entre la interacción distancia por profundidad ($p > 0.1$). Estos resultados se deben probablemente a una mayor cantidad del nitrógeno fijado por los nódulos, al ciclaje de nutrientes y la interacción con las raíces más profundas del suelo.

El arreglo silvopastoril Aliso+Kikuyo presenta más contenido de nitratos que el monocultivo de Kikuyo como lo indica la figura 3. Este comportamiento se debe probablemente a la presencia de una especie fijadora de nitrógeno como el aliso (Gomis, 2008), que presenta nódulos en la raíz, como consecuencia de la simbiosis con un actinomiceto del género *Frankia*, posiblemente la especie *F. alnii*, capaces de fijar el nitrógeno atmosférico (Ospina *et al.*, 2005), además sus raíces al descomponerse generan un incremento de materia orgánica y la microfauna del suelo lo descompone, provocando que el nitrato se encuentre en mayor proporción en el arreglo, también las raíces al crecer en forma horizontal evitan que se lixivie reteniéndolo en estas y evitando su lavado (Ferrari y Wall, 2004). El monocultivo al estar expuesto a muchos factores ambientales (temperatura, humedad entre otros)

Tabla 1. Prueba de Kruskal – Wallis para la evaluación del estado actual del nitrato, en el Centro Experimental FEDEPAPA, 2008 – 2009

| | | Factor B Distancias | | | | | |
|-------------------------|----------------|---------------------|---|-----------|------------|-----------|-----------|
| | | 1 m | 2 m | 3 m | 4 m | 5 m | 6 m |
| Factor A Profundidad | 0-20 cm | 245,2 (7) | 591,9 (1) | 403 (3) | 563,2 (2) | 93,3 (15) | 14,3 (23) |
| | | 237,6 (8) | 28,7(21) | 237,5 (9) | 50,5 (18) | 0 (30,5) | 7,2 (24) |
| | | 130 (13) | 0 (30,5) | 43,3 (19) | 14,4 (22) | 0 (30,5) | 0 (30,5) |
| | R | 28 | 52,5 | 31 | 42 | 76 | 77,5 |
| | 20-40 cm | 172,6 (11) | 259,8 (5) | 373 (4) | 179,3 (10) | 258,3 (6) | 0 (30,5) |
| | | 100,8 (14) | 0 (30,5) | 36 (20) | 137,5 (12) | 57,6 (17) | 0 (30,5) |
| | | 71,7 (16) | 0 (30,5) | 0 (30,5) | 0 (30,5) | 0 (30,5) | 0 (30,5) |
| | R | 41 | 66 | 54,5 | 52,5 | 53,5 | 91,5 |
| | H _A | 0,676 NS | Valores entre paréntesis corresponden a la asignación de rangos | | | | |
| H _B | 9,683 * | | | | | | |
| H _{AxB} | 1,899 NS | | | | | | |

y al no existir barreras que eviten su pérdida, hacen que el suelo sea más frágil y se pierda

con mucha más facilidad, causando la erosión y un menor aprovechamiento del fertilizante (Pérez, 2000).

Se encontraron contenidos de nitrato altos (591.9 ppm), debido a que el estudio se realizó en la época lluviosa (abril-mayo), donde se presentó mayor humedad en el suelo.

Bolívar *et al.* (1999), encontraron efectos significativos para el nitrato del suelo bajo el sistema silvopastoril, resultando ser mayores que en el monocultivo de *Brachiaria humidicola*, lo que concuerda con los resultados de este estudio. Ávila *et al.* (2004) afirmaron que las concentraciones de nitratos en la solución del suelo se presentaron de manera semejante en los sistemas cafetales (*Coffea arabica*) como monocultivo y café bajo sombra de *Eucalyptus deglupta* a los 30 y 60 cm de profundidad, diferenciándose así con lo encontrado en este estudio.

Fassbender y Bornemisza (1994), sostienen que durante la época seca se observan concentraciones

bajas de NO₃⁻, en el horizonte húmico y al iniciarse la época de lluvia se produce una nitrificación muy fuerte aumentando los contenidos de nitratos y Bolívar *et al.* (1999), no detectaron nitratos durante la época seca, pero los niveles en la época lluviosa fueron de 0.494 mg/L, lo que concuerda con lo evaluado en este estudio.

Para la variable amonio, de acuerdo a la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, se presentaron efectos significativos para la profundidad (p<0.1) (Tabla 2), indicando que ésta afectó los contenidos de amonio en el suelo, lo que se puede relacionar con la mineralización del nitrógeno orgánico del suelo.

Los tratamientos con profundidades de 0-20cm en el arreglo aliso/kikuyo mostraron niveles más altos de este elemento en comparación con el monocultivo (Figura 4). Bolívar *et al.* (1999), encontraron interacciones significativas entre

Figura 3. Evaluación del estado actual del nitrato, en el Centro Experimental FEDEPAPA, 2008 - 2009

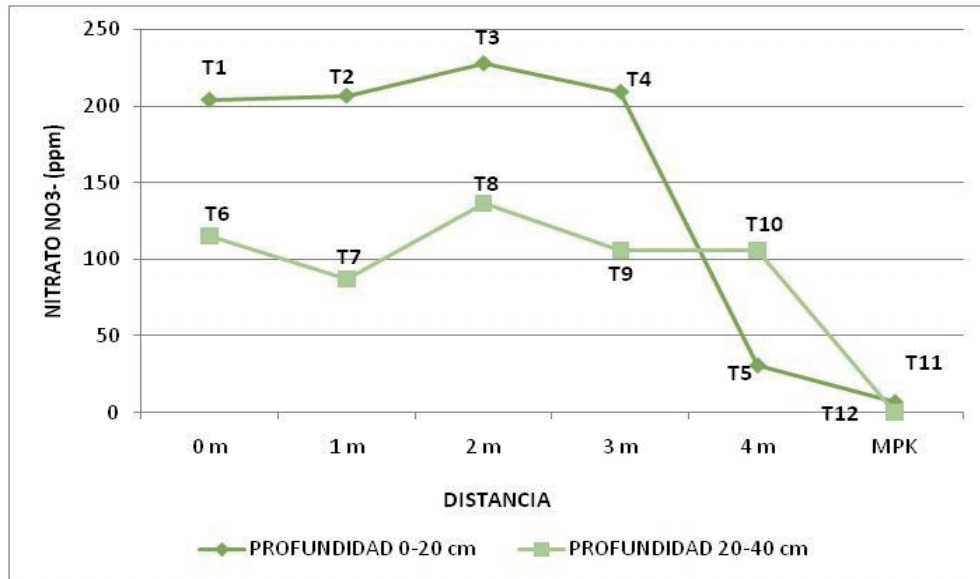


Tabla 2. Prueba de Kruskal-Wallis para la evaluación del estado actual del amonio, en el Centro Experimental FEDEPAPA, 2008 - 2009

| | | Factor B Distancias | | | | | |
|----------------------|----------|---|-----------|-----------|------------|-----------|------------|
| | | 1 m | 2 m | 3 m | 4 m | 5 m | 6 m |
| Factor A Profundidad | 0-20 cm | 101 (6,5) | 65 (9) | 244,7 (1) | 101,1 (5) | 115,1 (4) | 57,4(13,5) |
| | | 50,6 (15) | 43 (17) | 115,4 (3) | 57,7 (12) | 43 (17) | 21,5 (26) |
| | | 21,6 (25) | 36,1 (19) | 36 (20,5) | 14,4(28,5) | 35,9 (22) | 0 (35) |
| | R | 46,5 | 45 | 24,5 | 45,5 | 43 | 74,5 |
| | 20-40 cm | 93,2 (8) | 101 (6,5) | 43(17) | 137 (2) | 64,6 (10) | 14,4(28,5) |
| | | 14,4 (28,5) | 21,7 (24) | 28,5 (23) | 57,9 (11) | 36 (20,5) | 7,2 (32) |
| | | 14,4 (28,5) | 0 (35) | 7,2 (32) | 57,4(13,5) | 0 (35) | 7,2 (329) |
| | R | 65 | 65,5 | 72 | 26,5 | 65,5 | 92,5 |
| HA | 2,918 * | Valores entre paréntesis corresponden a la asignación de rangos | | | | | |
| HB | 7,318 NS | | | | | | |
| HAxB | 3,402 NS | | | | | | |

los sistemas para la variable amonio, donde las concentraciones de amonio bajo el sistema silvopastoril con *Acacia mangium* fueron mayores que en *Brachiaria humidicola* como monocultivo, lo que concuerda con este estudio, pero no coincide

con lo dicho por Avila *et al.* (2004) quienes afirman que no hubo diferencias significativas en los contenidos de amonio del suelo entre los sistemas cafetales (*Coffea arabica*) a pleno sol y café bajo sombra de *Eucalyptus deglupta*, esto

probablemente se deba a que el eucalipto no es un fijador de N y lo que hace es asimilar el nitrógeno disponible en el suelo.

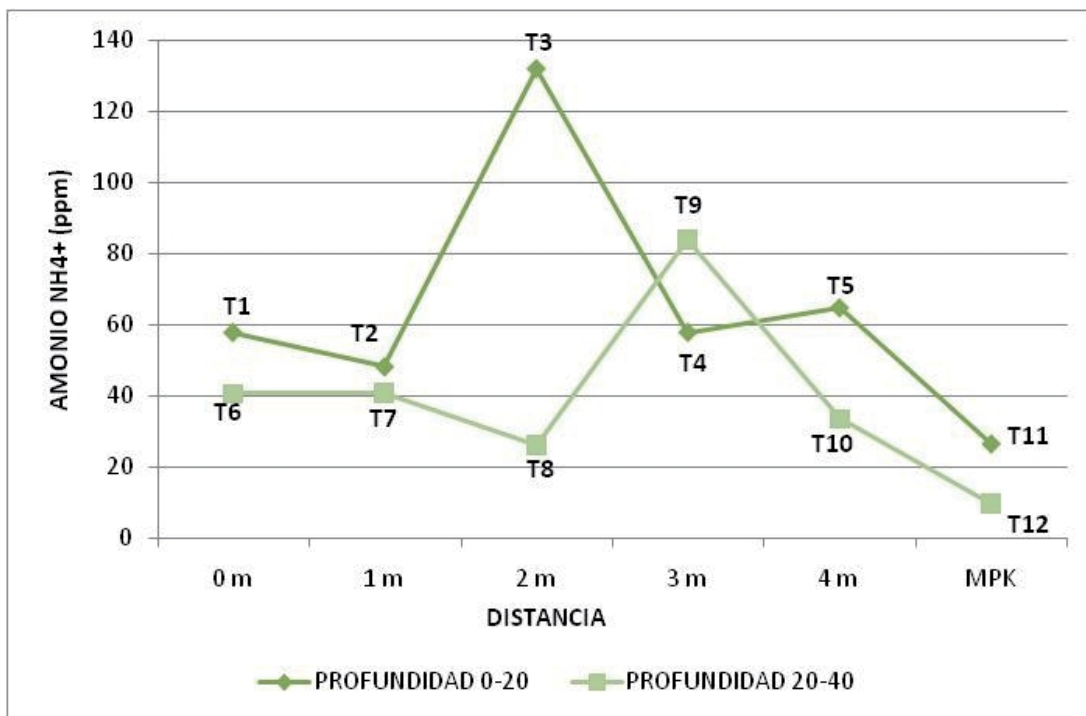
De acuerdo a la figura 3 y 4, se observa que hay mayores niveles de nitrato que de amonio lo cual es sustentado por De las Salas (1987) quien explica que la variabilidad del amonio se debe a su volatilización, lo cual es resultado de las reacciones químicas entre los diferentes componentes nitrogenados inorgánicos ya presentes en el suelo y a los aplicados con fertilizantes, además incluye las condiciones climáticas extremas, la escasa actividad biológica y la pérdida de materia orgánica por uso inadecuado del suelo o por erosión, además Fassbender (1993) afirma que el NH_4^+ puede ser lixiviado perdiéndose en el agua y García y Dorronsoro (2009), comentan que gran parte del ión amonio está adsorbido sobre las superficies

de las arcillas, mientras el nitrato se encuentra soluble en los coloides del suelo.

Igualmente estos niveles de nitrato altos pueden ser explicados por la presencia una especie arbórea cuyo efecto es positivo y relevante en áreas degradadas, ya que puede mejorar las condiciones físicas del suelo como la porosidad y densidad aparente (Botero y Russo, 2007), y como la nitrificación requiere la presencia del oxígeno, por consiguiente puede suceder solamente en ambientes ricos de oxígeno (Harrison, 2003).

Los tratamientos con profundidades de 0-20 cm obtuvieron los mayores niveles de nitrato y amonio, mientras que los tratamientos con profundidades de 20-40 cm obtuvieron los menores niveles (Figuras 3 y 4), lo anterior se ajustan con estudios sobre la distribución del nitrógeno en

Figura 4. Evaluación del estado actual del amonio, en el Centro Experimental FEDEPAPA, 2008 – 2009



el perfil del suelo que indican la disminución con la profundidad, (Fassbender y Bornemisza, 1994). Para la variable humedad no se encontraron diferencias en el arreglo aliso+kikuyo en función de la distancia y profundidad ($p>0.05$), probablemente se deba a que la cobertura arbórea ejerce una considerable influencia moderando la humedad del suelo (FAO, 1991), y cuando se presentan bajos contenidos de humedad en el suelo puede restringir fuertemente la tasa de descomposición de la materia orgánica y la mineralización del nitrógeno (Godwin y Jones, 1991, citado por Bolívar *et al* (1999).

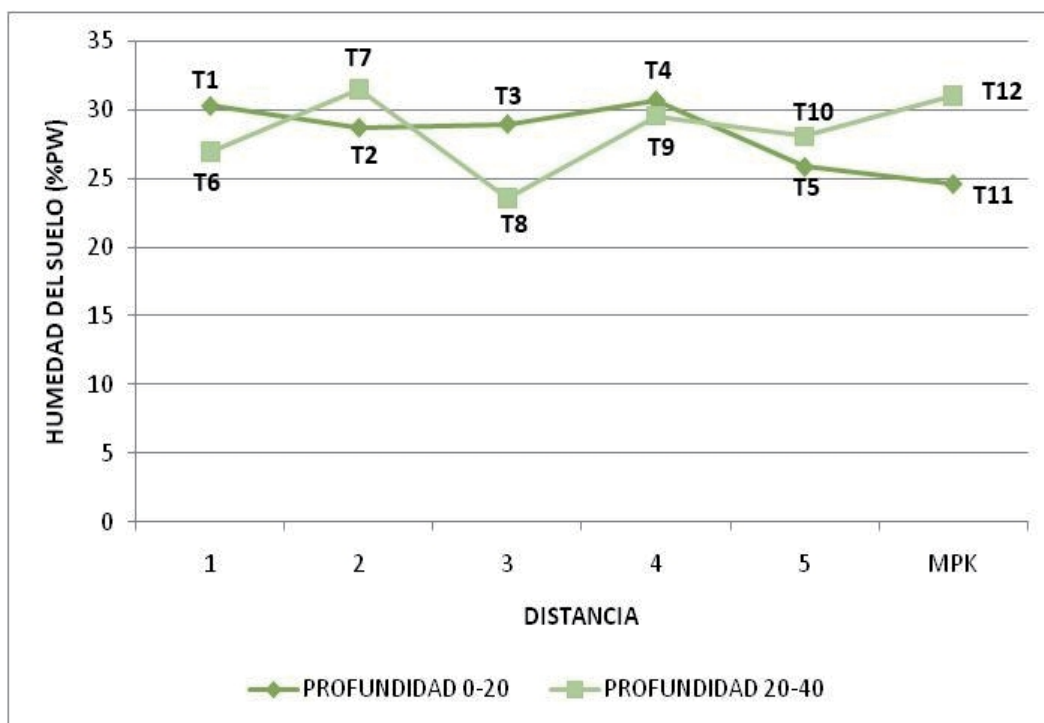
En los tratamientos aplicados al monocultivo (11 y 12), se observa que la humedad es mayor en la profundidad de 20-40 cm (tratamiento 12) que en 0-20 cm (tratamiento 11) (figura 5), esto se debe probablemente a que cuando la lluvia cae

a la superficie del suelo, parte de ella se infiltra en el suelo, y al fluir a través de éste recarga el agua subterránea. Otra parte circulará como escorrentía superficial y la restante se evaporará directamente de la superficie desprotegida del suelo y de las hojas de las plantas (Benítez y Castellanos, 2006).

Altos porcentajes de humedad en el suelo permite una mejor absorción de nitrato por las plantas. En terrenos húmedos las plantas suelen contener mayores niveles de nitrato que aquellas que habitan en suelos de poca humedad. Suele ocurrir intoxicación por nitrato luego del fin de un período más o menos prolongado de sequía y el inicio de la temporada de las lluvias (Navarro 2008).

La prueba de Kruskal-Wallis para la producción de forraje detectó diferencias estadísticas

Figura 5. Evaluación de la humedad, en el Centro Experimental FEDEPAPA, 2008-2009



significativas ($p < 0.1$) indicando que la distancia afectó la producción de forraje (Tabla 3). Esto puede deberse a que la distancia es un factor determinante en la producción de forraje, ya que la copa del aliso al no tener una copa densa, no hay exceso de sombra, también a que este pasto se encuentra asociado con una especie fijadora de nitrógeno.

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum \left(\frac{R_i^2}{n} \right) - 3(N+1)$$

$$H = \frac{12}{18(18+1)} 1921.6 - 3(18+1)$$

$$H = 10.42$$

$$\chi^2_{0.1} = 9.24$$

El kikuyo cuando es sometido a malos manejos, disminuye su capacidad productiva y entran a un estado de degradación, el cual está relacionado con la pérdida de la fertilidad y el deterioro

de las propiedades físicas del suelo (Mila y Corredor, 2004) y por esta razón es dependiente a altos niveles de fertilización. Cárdenas (2003), sostiene que se puede disminuir la fertilización nitrogenada debido al nitrógeno atmosférico fijado, lo que a su vez mejora la fertilidad del suelo. De esta manera el aliso desempeñaría un papel importante en el sistema al ser una especie fijadora de nitrógeno.

Este estudio no concuerda con lo reportado por Giraldo y Bolívar (2006), quienes no encontraron diferencia significativa para la producción de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) en asocio con *Acacia decurrens* a diferentes densidades, sin embargo tendió a ser inferior en alta densidad. Builes y Gómez (2004) concluyeron que el sistema aliso-kikuyo tiende a aumentar la calidad nutricional del pasto en términos de mayor proteína, menor fibra y mayor degradabilidad de la materia seca, más no en la producción de forraje verde y materia seca, lo que no coincide con este estudio.

Tabla 3. Prueba de Kruskal - Wallis para la producción de forraje pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov.) en el Centro Experimental FEDEPAPA, 2008-2009

| | | Distancias | | | | | |
|-------------------|---|------------|------------|-----------|------------|--------------|--------------|
| | | 1 m | 2 m | 3 m | 4 m | 5 m | 6 m |
| Repeticiones | 1 | 0,45 (3) | 0,41 (4,5) | 0,19 (14) | 0,22 (13) | 0,41 (4,5) | 0,184 (15) |
| | 2 | 0,35 (8,5) | 0,5 (1) | 0,38 (6) | 0,35 (8,5) | 0,112 (18) | 0,234 (12) |
| | 3 | 0,36 (7) | 0,48 (2) | 0,25 (11) | 0,26 (10) | 0,164 (16,5) | 0,164 (16,5) |
| n | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| R | | 18,5 | 7,5 | 31 | 31,5 | 39 | 43,5 |
| R ² /n | | 114,083 | 18,75 | 320,33 | 330,75 | 507 | 630,75 |

Valores entre paréntesis corresponden a la asignación de rangos

CONCLUSIONES

Se presentaron mayores niveles de nitrato y amonio en el arreglo aliso+kikuyo que en el monocultivo de kikuyo y en las primeras capas hubo mayores contenidos de estos dos elementos durante la realización de este estudio.

Se presentaron mayores cantidades de nitrato que de amonio, lo que probablemente se debió a que el estudio se realizó en la época lluviosa, donde hubo mayor humedad en el suelo y también probablemente se deba a la simbiosis del aliso con el actinomiceto del género *Frankia*, que fija el nitrógeno de la atmosfera.

Los tratamientos aplicados al arreglo aliso+kikuyo en cuanto a la humedad del suelo, indicaron que la humedad fue homogénea entre distancias y profundidades. En el monocultivo se observó que ésta fue superior a mayores profundidades.

Para la producción de forraje se presentaron diferencias significativas, indicando que la distancia afectó la producción de forraje.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a la Federación Colombiana de Productores de Papa FEDEPAPA.

BIBLIOGRAFÍA

AMEZQUITA, E.; CASTILLO, L.; GARCIA, A.; GONZALEZ, G.; LORA, R.; NAVAS, J. ORTIZ, G.; RAMIREZ, M.; ROJAS, L. 1993. Manual de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas para Riego.

Segunda Edición, Bogotá Colombia, Publicaciones del ICA. 16, 35 p.

ÁVILA, H.; HARMAND, J.; DAMBRINE, E.; JIMÉNEZ, F.; BEER, J.; OLIVER, E. 2004. Dinámica del nitrógeno en el sistema agroforestal *Coffea arabica* con *Eucalyptus deglupta* en la Zona Sur de Costa Rica, Revista Agroforestería en las Américas N° 41-42 2. 9 p.

BECERRA, L.; NAVIA, S.; ÑUSTES, C. 2007. Efecto de niveles de fósforo y potasio sobre el rendimiento del cultivar 'Criolla Guaneña' en el departamento de Nariño. En: www.papaslatinas.org/v14n1p51.pdf. 1 pag.; consulta: septiembre 2009.

BENÍTEZ, J Y CASTELLANOS A. 2006. Suelo y conservación del agua. Artículos agroecología. En: www.holistika.net/agroecologia/articulos/suelos_y_conservacion_del_agua.asp. 1 p.; consulta enero de 2010.

BOLÍVAR, D.; IBRAHIM, M.; KASS, D.; JIMÉNEZ, F.; CAMARGO, J. 1999. Características Químicas de un Suelo Ácido y Composición Mineral de *Brachiaria humidicola* Bajo un Sistema Silvopastoril con *Acacia mangium*. CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). En: www.fao.org/WAIRDOCS/LEAD/X6327S/X6327S00.HTM 1 p.; consulta agosto 2009.

BOTERO, R.; RUSSO, R. 2007. Utilización de árboles y arbustos fijadores de nitrógeno en sistemas sostenibles de producción animal en suelos ácidos tropicales. Conferencia electrónica de la FAO sobre "Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica" En: <http://www.fao.org/ag/aga/agap/frg/AGROFOR1/Botero8.htm>. 1 p.; consulta: diciembre de 2008.

- BUILES, A.; GÓMEZ, C. 2004. Evaluación de la producción y calidad de Kikuyo *Pennisetum clandestinum* asociado con árboles de aliso *Alnus acuminata* en bmh- mb. En: www.agro.unalmed.edu.co. 1 p.; Consulta: marzo 2008.
- CÁRDENAS, E. 2003. Evaluación de una alternativa para disminuir el impacto ambiental que causan los fertilizantes nitrogenados en las pasturas de clima frío en Colombia. Tesis de Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- DE LAS SALAS, G. 1987. Suelos y Ecosistemas Forestales, con Énfasis en América Tropical. Primera Edición, San José Costa Rica, ICCA. 164, 169 p.
- DOMÍNGUEZ, J; AIRA, M Y GÓMEZ, M. 2009. El papel de las lombrices de tierra en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes. Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente. En: www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=601 1 p.; consulta: marzo de 2010.
- FASBENDER, H. 1993. Modelos Edafológicos de Sistemas Agroforestales. Segunda Edición, Turrialba, Costa Rica, CATIE. 316 p.
- ; BORNEMISZA, E. 1994. Química de los Suelos con Énfasis en Suelos de América Latina. Segunda Edición, San José Costa Rica, DICCA. 204, 199-200, 215 p.
- FERRARI, A. E.; WALL, L., G. 2004. Utilización de árboles fijadores de nitrógeno para la revegetación de suelos degradados. 126 p.; Consulta: diciembre 2009.
- FAO, Organización e las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. 1991. Silvicultura y Seguridad Alimentaria. Roma Italia. 12 p.
- FORSYTHE, W. 1972. Manual de laboratorio de suelos. Turrialba, Costa Rica. 217 p.
- FRIONI, L. 1999. Procesos Microbianos. En: www.fagro.edu.uy/~microbiologia/Procesos%20Microbianos.pdf 114 p.; consulta: marzo de 2010.
- GIARDINA, E. 2009. La importancia de los microorganismos del suelo en la relación suelo-planta. En: http://www.hmazzier.com.ar/la-importancia-de_los_microorganismos.htm 1 p.; citado marzo de 2010.
- GIRALDO, L.; BOLIVAR, D. 2006. Evaluación de un Sistema Silvopastoril de *Acacia decurrens* Asociada con Pasto kikuyo *Pennisetum clandestinum*, en Clima Frío de Colombia. En: [www.agronet.gov.co/www/docs_si2/20061127115335_Sistema %20 silvopastoril%20acacia%20decurrens%20y%20kikuyo.pdf](http://www.agronet.gov.co/www/docs_si2/20061127115335_Sistema%20silvopastoril%20acacia%20decurrens%20y%20kikuyo.pdf). 1 p.; Consulta: marzo de 2008.
- GOMIS, C. 2008. La eutrofización. En: www.criecv.org/es/proyectos/pag_agua/eutrofizacion.html. 1p.; Consulta: enero 2010.
- GARCÍA, I.; DORRONSORO, C. 2009. La Contaminación Del Suelo. En: edafologia.ugr.es/contA/tema11/concep.htm. 20 p.; Consulta: enero 2010.
- HARRISON, J. 2003. El Ciclo del Nitrógeno: De Microbios y de Hombres, Visionlearning Vol. EAS-2 (4s). En: www.visionlearning.com/

- library/module_viewer.php?mid=98&l=s 1 p.; citado: febrero de 2010
- HOLDRIGE, L. 2000. Ecología Basada en Zonas de Vida. Quinta edición, San José Costa Rica, Instituti Interamericano de Cooperacion para la Agricultura, 14 p.
- MEDINA S.; OROZCO, H.; DÍEZ, M. 2007. Esta- blecimiento de un sistema silvopastoril median- te las especies *Alnus acuminata* H.B.K. y *Acacia decurrens* Willd y respuesta al empleo de orga- nismos rizosféricos en San Pedro (Antioquia). En: www.lrrd.org/lrrd20/1/medi20007.htm. 1 p. Consulta: marzo 2008.
- MILA, A y CORREDOR, G. 2004. Evolución de la composición botánica de una pradera de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) recuperada mediante escarificación mecánica y fertilización con compost. Revista Corpoica, VOL 5 N°1. En: www.corpoica.com 2 p.; consulta marzo de 2010.
- MURGUEITIO, E.; CALLE, Z. 1999. Diversidad biológica en sistemas de ganadería bovina en Colombia. En: Conferencia Agroforestería para la producción animal en América Latina, http://www.fao.org/ag/aga/AGA_P/FRG/AGROFOR1/murguei3.txt. 1 p.; Consulta: diciembre 2008.
- MUÑOZ, E. 2005. Efecto de los fertilizantes en el contenido de nitratos y nitritos en vegetales. En: www.fanus.com.ar. 1 p.; Consulta: abril 2008.
- NAVARRO, G. 2003. Química agrícola, segunda edición, España, editorial MP, 206-207p.
- NAVARRO, R. 2008. Intoxicación por nitratos. En: www.ropana.cl/plantas_toxicas/nitra.htm. 1p.; Consulta Noviembre 2009.
- OSPINA, C.; HERNÁNDEZ, R.; GÓMEZ, D. 2005. Guías silviculturales para el manejo de es- pecies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana. El Aliso o Cerezo *Alnus acuminata* H.B.K. ssp. *Acuminata*. En: www.cenicafe.org/modules/News/documents/cdiv_aliso.pdf. 6, 14 p.; consulta: mayo de 2009.
- PEREZ, M. 2000. Agricultura ecológica. En: www.infoagro.com/agricultura_ecologica/agricultura_ecologica.asp. 26 p.; Consulta: enero 2010.
- ROSILES, M. Y AVILA, G. 2005. Intoxicación por nitratos en la vaca lechera. Informe de un caso. En: http://ammveb.net/XXIX%20CNB/memorias/car/car_tipcom07.doc. 1 p.; Consulta octubre 2009.
- STILES, F. 2000. Curso -Muestreo y

Análisis Estadístico en
Investigaciones Biológicas-.
Universidad de Nariño, Facultad de
Ciencias Naturales y Matemáticas,
Programa de Educación Ambiental. 59 y
81p.

THOMPSON, L y TROEH, F. 2002. Los
suelos y su fertilidad, cuarta edición,
Barcelona, editorial Reverté, 310p.