

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACION
ESCUELA DE POSGRADO**



// **EFFECTO DE SISTEMAS AGROFORESTALES CAFÉ- *Eucalyptus deglupta* SOBRE LA
CONTAMINACIÓN DEL AGUA CON NITRATOS EN MICROCUENCAS DE LA ZONA
SUR DE COSTA RICA.**

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgraduados, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza como requisito parcial para optar por el grado de:

Magister Scientiae

Por

✓
Reina Vanessa Renderos Durán

Turrialba, Costa Rica
Diciembre, 2001

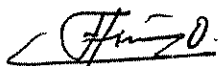
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

FIRMANTES:



Jean-Michel Harmand, Ph.D.
Consejero Principal



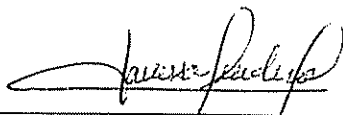
Francisco Jiménez, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Donald L. Kass, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Ali Moslemi, Ph.D.
Director Escuela de Posgrado



Reina Vanessa Renteros Durán
Candidata

DEDICATORIA

A mi Padre DIOS, por el don de la vida y por permitirme esta oportunidad y darme la fortaleza de llegar hasta el final.

A Gerardo Josué, la razón de todos mis esfuerzos, con infinito amor

A mis padres, por su amor y ayuda incondicional, ellos han sido el bastión para lograr este triunfo y en especial a mi madre que siempre estuvo a mi lado.

A mis hermanas, Paty, Iris, Vima y Héctor por impulsar mis metas y creer mi.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Jean-Michel Harmand, profesor Consejero por la acertada guía en el desarrollo de esta investigación por el feliz término de este trabajo

Al Dr. Francisco Jiménez y Dr. Donald Kass, miembros del Comité Consejero por sus valiosos aportes en la realización de este trabajo.

A todos mis profesores por todos los conocimientos compartidos los cuales son invaluable para mi formación profesional.

Al señor Javier Francisco Brenes y todo el personal de la Biblioteca Orton por su colaboración.

A Patricia Leandro, químico regente del laboratorio de suelos del CATIE, por toda la ayuda brindada.

Al Ing. Rudolf Van Kanten, estudiante de doctorado en CATIE, por su ayuda y su amabilidad.

Al Sr. Mario Cervantes por su gran colaboración en la realización del trabajo de campo.

A todo el personal administrativo y técnico de las fincas Verde Vigor y Santa fé por su permanente disposición a colaborar en el desarrollo de esta investigación.

A mi amiga Cristy por su ayuda incondicional, su paciencia y cariño

A todos mis amigos y compañeros de maestría por las muestras de solidaridad y apoyo en los momentos más difíciles durante estos 2 años.

A todo el personal de la escuela de Posgrado de CATIE, por acompañar y colaborar en el desarrollo de esta maestría.

CONTENIDO

PAGINA DE APROBACION	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
CONTENIDO	iv
RESUMEN	v
SUMMARY	vi
LISTA DE CUADROS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
1. INTRODUCCION	1
1.1 Importancia del tema de investigación	1
1.2 Objetivos	3
1.3 Hipótesis	3
2. REVISION DE LITERATURA	4
2.1 Ciclo del nitrógeno en el suelo	4
2.1.1 Formas del nitrógeno en la naturaleza	4
2.1.2 El ciclo del nitrógeno en suelos agrícolas	5
2.1.3 Saturación de nitrógeno	8
2.2 Fertilizantes químicos nitrogenados	9
2.2.1 Contaminación por fertilizantes químicos nitrogenados	10
2.2.2 Factores que contribuyen a la contaminación por fertilizantes	10
2.2.3 Dosis de la aplicación	10
2.3 Aspectos generales ligados al cultivo del café	12
2.4 El café y el nitrógeno	12
2.4.1 Fertilizantes utilizados	12
2.4.2 Épocas de fertilización y fraccionamiento y cantidad de fertilizante	13
2.5 El café y la contaminación por nitratos en Costa Rica como consecuencia de la fertilización nitrogenada	14
2.5.1 Lixiviación de nitratos	14
2.5.2 Adsorción de nitratos	15
2.6 Otros impactos de la fertilización química nitrogenada	15
3 MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1 Descripción del área de estudio	18
3.2 Descripción de los sistemas de cultivo	18
3.3 Metodología de toma de datos	19
3.3.1 Nitratos en agua	20
3.3.2 Nitratos en el suelo	21
3.3.3 Datos de caracterización del suelo	24
3.3.4 Nitratos en la solución del suelo	26
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
4.1 Concentración de nitratos en el agua de nacientes y quebradas	27
4.1.1 Concentración de nitratos a lo largo del tiempo	27
4.1.2 Concentración de nitratos entre fincas y el bosque	31
4.2 Concentración de nitratos en el suelo	35

	4.3 Concentración de nitratos en agua de lixiviación	39
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44
	5.1 Conclusiones	44
	5.2 Recomendaciones	45
6	LITERATURA CITADA	46
7	ANEXOS	50

Renderos Durán, R.V. 2001. Efecto de sistemas agroforestales café-eucalipto (*Eucalyptus deglupta*) sobre la contaminación del agua con nitratos en microcuencas de la zona sur de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE.

Palabras clave: denitrificación, nitrógeno, nitratos, nacientes, nitrificación, lixiviación, quebradas

RESUMEN

Se estudió el efecto de la fertilización química nitrogenada en la contaminación de aguas superficiales y freáticas con nitratos en dos fincas que poseen sistemas de café con eucalipto en la zona de Pérez Zeledón, Costa Rica. Se realizaron muestreos de agua en nacientes y quebradas en ambas fincas y en el bosque con el fin de evaluar el contenido de nitratos en la época seca, período pre-fertilización y post-fertilización y en época lluviosa. Como datos explicativos se obtuvieron muestras del perfil del suelo en una de las fincas en dos tratamientos: café a pleno sol y café con eucalipto y se obtuvieron las concentraciones de N-NO₃ y pH. Generalmente en estas fincas son aplicados cerca de 265 kg N ha⁻¹año⁻¹, este año debido al bajo precio del café sólo han sido aplicados 120 kg N ha⁻¹. En estos mismos tratamientos se colocaron lisímetros a profundidades de 30cm, 60cm y 120cm los cuales se muestrearon cada 10 días de junio a agosto. Se tomaron datos sobre la lluvia diaria en cada una de las fincas. La comparación de las concentraciones de N-NO₃ encontradas en el agua de las dos fincas y el bosque demostró que siguen una misma tendencia. Los niveles máximos se encontraron en la finca Santa Fé, el mayor fue de 5.8 mg/l de N-NO₃, concentración que se encuentra dentro del rango máximo permisible establecido por la norma para agua potable de la Organización mundial de la salud (OMS) como dañina para la salud humana (hasta 10 mg/l de N-NO₃). De los análisis de laboratorio realizados sobre el suelo y el agua de lixiviación se concluye que hay gran cantidad de nitratos que se acumulan en el perfil del suelo, más de 130 kg ha⁻¹ de N-NO₃. Sin embargo estos análisis también demuestran que estos suelos no poseen cargas positivas hasta los 100cm lo que indica que no habrá adsorción de aniones nitratos hasta este nivel. A 30cm y 120cm se encuentra mayor concentración de nitratos en el agua ligada (microporosidad) que en el agua libre (macroporosidad) de donde los aniones nitratos son lixiviados más fácilmente. La concentración de N-NO₃ en el agua libre a 120 cm es de 10 mg l⁻¹ de N-NO₃ más baja que en el suelo a una profundidad de 60cm, pero más alta que en las nacientes. Existe entonces la posibilidad de que esto ocurra

debido a: 1) denitrificación a lo largo del perfil del suelo antes que el agua lixiviada llegue al agua freática que surge en las nacientes, 2) a causa de la dilución del agua lixiviada que se da en el reservorio freático por su volumen de agua.

Renderos Durán, R.V. 2001. The effect of coffee-*eucalyptus-deglupta* agroforestry system over water contamination with nitrates in micro-watershed from the south zone of Costa Rica. Thesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE.

Key words: denitrification, lixiviation, nitrogen, nitrates, springs, rivulets, leaching, springs

SUMMARY

The study was carried out in coffee plantations from two coffee farms and in forest. The aim of this study was to evaluate the chemical nitrogen fertilization over phreatic and superficial water with nitrates ions in two coffee-*eucalyptus deglupta* system in Pérez Zeledón, Costa Rica. Samples from rivulets and springs were collected from March to October to evaluate the content of nitrates during dry season, period before and after fertilization, and also in the rainy season. As explanatory data samples of soil were collected from the soil profile in one of the two studied farms (Santa Fé), in two treatments: coffee at full sun light and coffee with *eucalyptus-deglupta*. The nitrate ions concentration and pH analysis were taken in each sample. Usually in these farms are applied 265 kg N.ha⁻¹year⁻¹ but because of the low coffee price this year it has been applied only 120 kg N ha⁻¹. In these same sites, lysimeters were placed at 30cm, 60cm and 120cm deep, samples of the lixivial from these lysimeters were taken every 10 days from June to August. The daily rainfall was measured in both farms. The nitrates ions concentration data found in the water collected in the two farms and in the forest shows that it follows the same tendency. The maximum level found was 5.8 mg.l⁻¹ N-NO₃ in the Santa Fé farm, quantity that is within the allowed range by the potable water standard of the World Health Organization (WHO) which has a maximum permissible level of 10 mg.l⁻¹N-NO₃. About the chemical analysis made on lixivial water it could be concluded that there is a high quantity of nitrates that are accumulated in the soil profile: more than 100 kg.ha⁻¹año⁻¹N-NO₃. Although these analyses show that these soils do not possess positive charges up to 100 cm which means there is not retention of nitrates ions up to this depth. At 30 and 120 cm it is found a larger N-NO₃ concentration in the retained water (fine pores) than in free water (coarse pores) from where the N-NO₃ ions are leached easily. The N-NO₃ concentration in the lixivial water at 120 cm is 10mg.l⁻¹ lower than in the ground at 60cm, but higher than in the spring water. Whereas exist the possibility of a denitrification through the soil profile

before the leached water reaches the phreatic water that appears at springs, besides the dilution of the leached water that occurs in the aquifer because of the large water volume existing there

LISTA DE CUADROS

No.	Título	No. Pág.
1	Promedios anuales de la Concentración de Nitratos	40
2	Análisis de suelos en muestras de sistema café pleno sol y café en eucalipto. Finca Santa Fé.	44

LISTA DE FIGURAS

No	Título	No. Página
1	Ciclo del nitrógeno simplificado. Cambios, adiciones y pérdidas. Las pérdidas estan en líneas punteadas, el cambio esta indicado por líneas de anchos relativos.	5
2	Quebrada en Finca Verde Vigor. Sistema café con eucalipto	17
3	Quebrada en Finca Verde Vigor. Sistema café con eucalipto	19
4	Naciente en Finca Verde Vigor. Sistema café con eucalipto	22
5	Quebrada en Finca Verde Vigor	22
6	Quebrada en Finca Verde Vigor	23
7	Quebrada en Santa Fé	24
8	Gráfico de regresión de suelos húmedos versus suelos secos	24
9	Promedios mensuales de concentración de N-NO ₃ en el agua de nacientes y quebradas en Finca Verde Vigor y la lluvia 15 días antes de cada muestreo	26
10	Promedios mensuales de las concentraciones de N-NO ₃ en aguas de nacientes y quebradas Finca Santa Fé y la lluvia diaria acumulada 15 días antes de cada muestreo	29
11	Comparación de promedios de concentraciones de nitrógeno nítrico en nacientes y en quebradas entre fincas y el bosque como testigo	32
12	Niveles máximos de nitrógeno nítrico en nacientes y en quebradas en las fincas Verde Vigor, Santa Fé y el Bosque	34
13	Concentración de nitrógeno nítrico en el suelo, en un sistema de café con eucalipto (EU) y café a pleno sol (PS). Extracción en KCl	35
14	Valores de pH en agua, encontrados en dos tratamientos en suelos de Santa Fé	36
15	Valores de pH en agua y en KCl, encontrados en suelos de Santa Fé.	37
16	Concentración de nitrógeno nítrico en el suelo y concentración de nitrógeno nítrico en el agua de lixiviación en dos tratamientos pleno sol (PS) y café con eucalipto (EUC) en la Finca Santa Fé	40
17	Valores de concentración de nitratos en el agua de lixiviación en el mes de julio y agosto, después de la segunda fertilización	42

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Importancia del tema de investigación

El recurso hídrico es un bien natural indispensable para la vida, por lo que todas las actividades humanas deberían ser planeadas con el fin de garantizar su disponibilidad y calidad.

Uno de los principales problemas de la calidad del agua como consecuencia de los usos agrícolas de la tierra, es el incremento de las concentraciones de nitratos debido a su toxicidad (Agrawal *et al*, 1997). Los nitratos son compuestos que existen de forma natural en el suelo y en las aguas, y es un nutriente para las plantas y los microorganismos. Sin embargo, gran parte del nitrato en los suelos cultivados proviene de los fertilizantes nitrogenados orgánicos y minerales, así como también de la mineralización de la materia orgánica (Ramos y Ocio, 1992). Estos fertilizantes nitrogenados contribuyen al incremento de nitratos en los mantos acuíferos (Wong *et al*, 1997).

El Nitrógeno es generalmente depositado en forma de nitratos o en forma amoniacal, y por ser este nutrimento el mayormente requerido por las plantas, así como por la microflora del suelo, una cantidad extra del mismo a través de los fertilizantes, provoca inevitablemente un desbalance del ecosistema. Es posible como consecuencia un aumento de la nitrificación lo cual produce la formación de iones nitratos que son fácilmente lixiviados a las aguas subterráneas (Berdén *et al*, 1995), así mismo pueden ser arrastrados por escorrentía o perderse a partir de estos agroecosistemas por denitrificación (Babbar y Zak, 1995).

En la lixiviación de dichos iones nitrato en el suelo es de importancia el drenaje, el nivel de insumo fertilizante, el grado de absorción de N por la planta, algunas transformaciones tales como la mineralización, inmovilización, nitrificación y denitrificación (Wong, 1997).

Babbar y Zak (1995) mencionan que los nitratos son solubles en agua y muy móviles en los suelos, donde el transporte de nitratos, a través de la escorrentía superficial y la percolación se ve incrementado en zonas donde hay alto régimen de lluvias, por lo que en Costa Rica, considerado un país con muchas zonas con alta pluviosidad este problema se hace más complejo.

Es probable que en Costa Rica, la alta cantidad de insumos agrícolas utilizados en los principales cultivos como el café, cuya producción se haya subsidiada con aplicaciones de N de $300 \text{ kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ (Babbar y Zak, 1995) sea una de las causas de contaminación de aguas y freáticas y superficiales con este compuesto.

La contaminación del agua con nitratos ha sido causa de preocupación por producir la enfermedad de metahemoglobinemia, denominada síndrome del bebé azul por su efecto sobre el color de la piel de los infantes. En el cuerpo, los nitratos se convierten en nitritos por acción de algunas bacterias. Los nitritos se combinan con la hemoglobina en la sangre al formar metahemoglobina, disminuyendo el transporte de oxígeno a través de la sangre. Consecuentemente, el cuerpo se ve privado de oxígeno. Esta condición ocurre mayormente en infantes, sobre todo en menores de tres meses, con una tasa de mortalidad de 7 u 8% en los casos presentados en Estados Unidos y Europa de 1945 a 1978. También el ganado vacuno se ve afectado adversamente por el uso de fertilizantes nitrogenados, pues el alto consumo de agua contaminada con nitratos produce una disminución de la producción de leche y el aborto de los terneros. Como resultado de experimentos con animales se ha encontrado que más de 100 de 130 nitrosaminas son cancerígenas, estos experimentos dan un indicio de un comportamiento similar en seres humanos (Boyce *et al.*, 1994).

La organización mundial para la salud ha recomendado el límite de 10 mg/l de nitrógeno nítrico para agua de consumo humano que es equivalente a 45 mg l⁻¹ de nitratos (Boyce *et al.*, 1994). Estudios realizados en el Valle Central de Costa Rica han revelado que, las concentraciones de nitratos en el agua subterránea exceden ocasionalmente los 10 mg/l de nitrógeno nítrico, cantidad que representa un peligro para la salud (Babbar y Zak, 1999).

Adicionalmente a la acidificación y deterioro del agua por la entrada de sustancias nitrogenadas (Sullivan, TJ, 1995), la presencia excesiva de nitratos en el agua puede dar lugar a la eutrofización, es decir el crecimiento desmesurado de algas en la superficie y las especies vegetales superiores, que impidan la llegada de oxígeno y luz a las profundidades, con la consecuente muerte de especies animales (Hem, 1970).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 *Objetivo general*

- Evaluar la influencia del uso agrícola de la tierra, específicamente de suelos cafetaleros con sombra de eucalipto, sobre la contaminación de las aguas superficiales y freáticas con respecto a la concentración de nitratos, como consecuencia de la fertilización química nitrogenada.

1.2.2 *Objetivos específicos*

- Cuantificar el efecto contaminante de la fertilización nitrogenada en términos de la concentración de nitratos en agua de nacientes y quebradas, en sistemas de café con eucalipto
- de nacientes y quebradas con concentraciones de este compuesto encontradas en el suelo y la solución del suelo en el sistema de café con eucalipto.
- Identificar factores que influyen en mayor o menor grado la contaminación con nitratos de aguas superficiales y freáticas en sistemas de café con eucalipto.

1.3 *Hipótesis*

- La concentración de iones nitratos en aguas superficiales y de origen freático está relacionada con las prácticas de fertilización química nitrogenada en sistemas de café con eucalipto.
- La relación existente entre la lixiviación de nitratos hasta aguas freáticas y su consiguiente contaminación y el régimen de lluvia está ligada a la dinámica en los suelos y sus características.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Ciclo del nitrógeno en el suelo

La atmósfera terrestre posee un 78% de nitrógeno en forma de gas, pero la mayoría de las plantas y animales no pueden usar directamente este elemento del aire tal como lo hacen con el Dióxido de Carbono y el Oxígeno. Las plantas deben esperar a que el nitrógeno sea fijado en forma de compuestos inorgánicos como amonio (NH_4^+) y nitratos (NO_3^-) que ellas puedan usar.

La mayoría del nitrógeno fijado que cicla en los ecosistemas terrestres no se encuentra disponible, sino inmobilizado en la materia orgánica, parcialmente descompuesto en los restos de animales y plantas que deben ser descompuestos por los microorganismos (Vitousek, 1997).

2.1.1 Formas de Nitrógeno en la naturaleza

Aguas

En las aguas de la hidrósfera el nitrógeno aparece en forma molecular (N_2) e inorgánica, como NO_3^- , NO_2^- y NH_4^+ , y en forma orgánica, en partículas de materia orgánica.

Suelos

Las formas principales de nitrógeno en el suelo son las siguientes:

- N-orgánico que representa un 97 %
 - Proteínico
 - Nucléico
 - Azúcares aminados

- N-inorgánico :
 - NH_4^+ nativo fijo
 - NH_4^+ intercambiable
 - NO_3^- y NO_2^- , y en cantidades casi no detectables como óxido nitroso, dióxido de nitrógeno, óxido nítrico y amoníaco (Fassbender *et al.*, 1987).

2.1.2 El ciclo del nitrógeno en suelos agrícolas

El nitrógeno en el suelo está sujeto a un conjunto de transformaciones y procesos de transporte que se denomina ciclo del nitrógeno. En la fig1 se presentan los principales componentes y procesos del ciclo, diferenciando los aportes, las reservas y las extracciones o pérdidas.

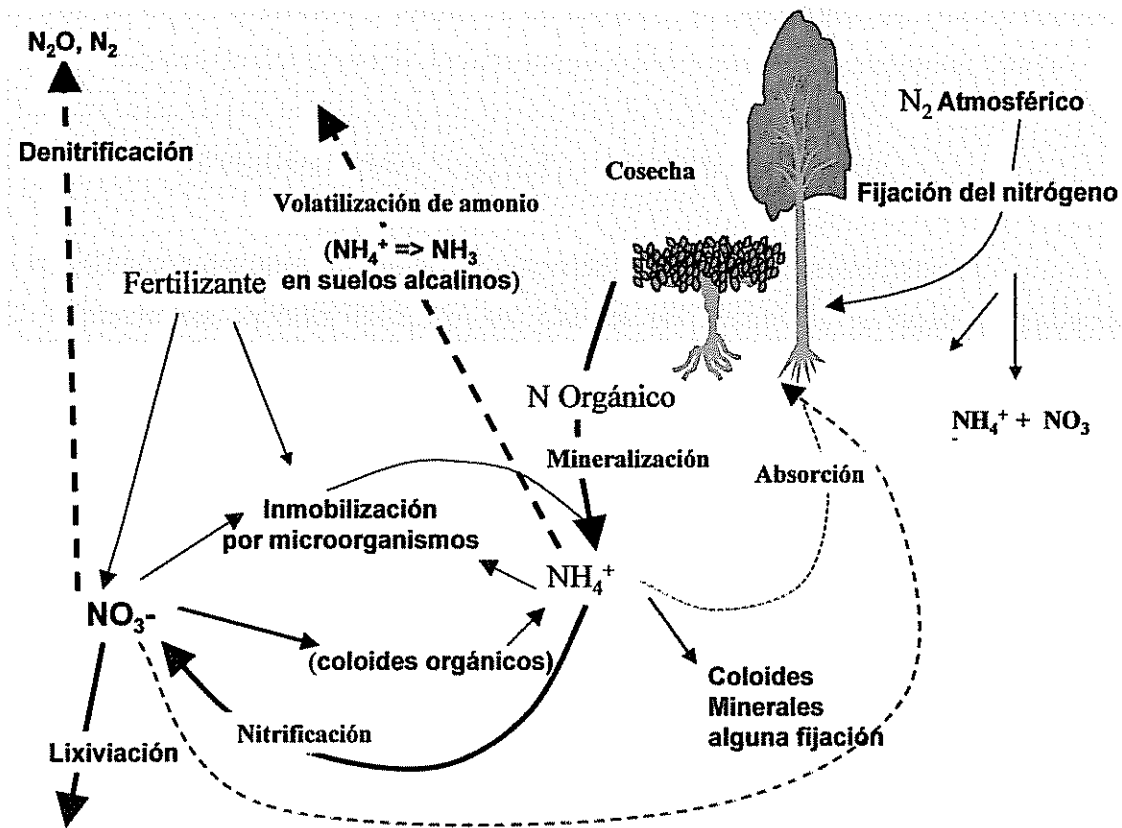


Figura1. Ciclo del nitrógeno simplificado. Cambios, adiciones y pérdidas. Las pérdidas están líneas punteadas, el cambio está indicado por líneas de anchos relativos.

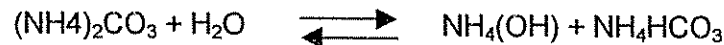
La mineralización del nitrógeno consiste en una serie de procesos a través de los cuales los componentes orgánicos, se transforman en formas inorgánicas nitrogenadas. En los procesos de mineralización toman parte los microorganismos del suelo, los que son de gran importancia.

- **Amonificación**

A partir de la urea que es una de las formas de fertilizantes nitrogenados más usadas, se da una hidrólisis por medio de las Urobacterias:

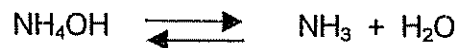


La cual se da en presencia o ausencia de oxígeno, el carbonato de amonio formado se hidroliza fácilmente por provenir de una sal de ácido y base débil (Agrawal, 1995).



la volatilización del amonio puede ser un proceso estrictamente inorgánico

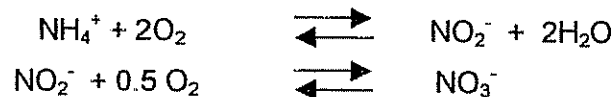
El hidróxido de amonio formado se disocia en amoníaco y agua (Fassbender y Bornemisza, 1987).



La amonificación comprende los primeros procesos de transformación, hasta que las sustancias orgánicas llegan a presentarse como ión amonio. El amonio resultante de esta etapa puede ser: absorbido por las plantas; fijado por los minerales; inmobilizado por microorganismos; lixiviado a través del suelo; oxidado hasta el nivel de nitratos (Fassbender y Bornemisza, 1987) (Ver figura 1).

- **Nitrificación**

La nitrificación comprende la transformación del amonio en nitratos, pasando previamente por la forma de nitritos. El amonio resultante de la mineralización del N orgánico y/o aplicado en forma fertilizante por acción de las bacterias Nitrosomonas y Nitrobacter es oxidado en dos distintas fases, respectivamente:



Estas dos reacciones son muy lentas y se dan a temperaturas no muy altas. La velocidad de la reacción aumenta arriba de los 26 °C y disminuye debajo de 9 °C (Agrawal, 1995).

El nitrato representan la fase más altamente oxidada en el ciclo del nitrógeno y alcanza normalmente, concentraciones importantes en las etapas finales de la oxidación biológica. En este proceso de nitrificación intervienen bacterias como las Nitrosomonas y Nitrobacter.

- **Denitrificación**

El proceso de denitrificación puede darse a través de bacterias denitrificantes que convierten los nitratos a nitritos y nitrógeno por reducción anaeróbica. Cuando este proceso no puede darse, los nitratos infiltrados profundamente en los acuíferos permanecen como tales por mucho tiempo.

El proceso de denitrificación ocurre en ausencia de oxígeno libre y en presencia de compuestos orgánicos no nitrogenados como carbohidratos, celulosa y sales de ácidos grasos volátiles que son oxidados por el oxígeno liberado por los nitratos, proveyendo la energía necesaria para la reacción:

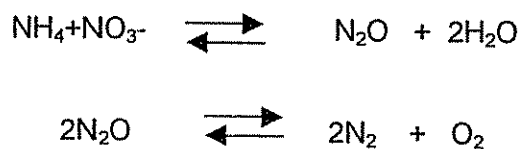


este proceso puede darse también en ausencia de materia orgánica si el azufre está presente

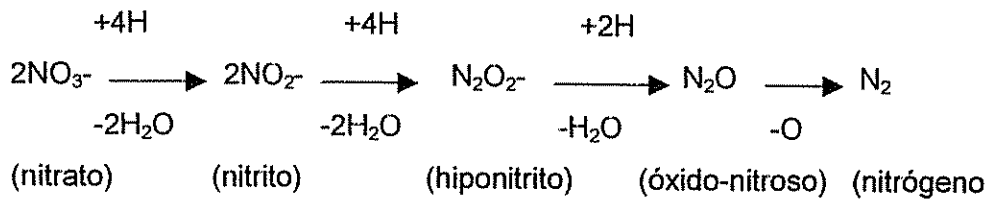


reacción que es inducida por Tiobacterias denitrificantes (Agrawal, 1995).

Bajo condiciones naturales anaeróbicas la denitrificación de nitratos a óxido nitroso equilibra la percolación hacia abajo del exceso de nitratos a través del suelo (Liptrot, 1988).



en las reacciones de denitrificación hay que considerar los siguientes pasos intermedios: (Fassbender y Bornemisza, 1987).



molecular)

La denitrificación ocurre en suelos pobremente drenados .

- **Inmovilización**

En oposición con la mineralización está la inmovilización. En este proceso el N inorgánico es incorporado e inmovilizado temporalmente en los microorganismos con transformación en forma orgánica por dichos microorganismos (Fassbender y Bornemisza, 1987).

- **Pérdidas del nitrógeno del suelo**

La lixiviación del nitrógeno es probablemente la pérdida más notable del mismo, junto con la pérdida por absorción de las plantas. La lixiviación ocurre en forma de NO_3^- y NH_4^+ , los cuales se presentan en la solución del suelo la que a su vez, percola por gravedad pasando al agua freática (Fassbender *et al.*, 1987)

2.1.3 Saturación de nitrógeno

Existen límites en la forma como el crecimiento de las plantas puede ser aumentado por la fertilización nitrogenada. En un determinado momento, cuando las deficiencias naturales de nitrógeno en un ecosistema son abastecidas, el crecimiento de la planta comienza a verse limitado por otras fuentes tales como el fósforo, el calcio y el agua. Cuando la vegetación ya no puede soportar más adiciones de nitrógeno, el ecosistema alcanza un estado descrito como "saturación de nitrógeno". En teoría, cuando un ecosistema es totalmente saturado con nitrógeno y sus suelos, plantas, y microorganismos no pueden usar o retener más nitrógeno, todos los nuevos depósitos serán dispersados hacia las corrientes, aguas subterráneas y a la atmósfera. La saturación de nitrógeno tiene consecuencias dañinas para la salud y funcionamiento de los ecosistemas. Estos impactos fueron observados en Eupora casi dos décadas atrás cuando los científicos

observaron incrementos significativos de la concentración de nitratos en lagos y corrientes y también amarillamiento y pérdida en algunos bosques de coníferas sujetas a altas deposiciones de nitrógeno.

Al acumularse el amonio en los suelos este es convertido a nitratos por la acción bacterial, este proceso libera iones hidrógeno lo que contribuye a la acidificación de suelos. La acumulación de nitratos incrementa la emisión de óxido nitroso desde el suelo y también contribuye a la lixiviación de nitratos a las corrientes y aguas subterráneas. Al filtrarse estos nitratos acarrear con ellos elementos minerales como el calcio, magnesio y potasio. Por esta razón, las modificaciones que el hombre hace sobre el ciclo de nitrógeno disminuye la fertilidad del suelo al acelerar la pérdida de nutrientes de vital importancia para el crecimiento de las plantas. Mientras el calcio es agotado y los suelos acidificados, los iones aluminio son movilizados, y eventualmente alcanzan concentraciones tóxicas que pueden dañar las raíces de los árboles o matar los peces si este aluminio es lavado hasta los cuerpos de agua. El crecimiento de árboles en suelo repleto de nitrógeno pero carentes de calcio, magnesio y potasio puede desarrollar un desbalance en sus raíces y hojas. Esto puede disminuir su tasa y eficiencia fotosintética, truncar su crecimiento, e incrementar la mortalidad.

La adición de nitrógeno inorgánico al agua fresca de ecosistemas que también son ricos en fósforo puede causar eutroficación y acidificación de las aguas, lo cual generalmente provocan una disminución en la diversidad de las especies de plantas y animales (Vitousek, 1997).

2.2 Fertilizantes químicos nitrogenados

La fijación industrial de nitrógeno para usar como fertilizante actualmente totaliza un aproximado de ochenta millones de toneladas métricas de nitrógeno por año. El proceso de manufactura de fertilizantes nitrogenados fue desarrollado en Alemania durante la primera guerra mundial, y la producción de fertilizantes ha crecido exponencialmente desde entonces.

Hasta 1970, la mayor parte del fertilizante producido industrialmente fué aplicado en los países desarrollados. El uso en dichas regiones se ha estabilizado actualmente mientras

las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados en los países en desarrollo han aumentado dramáticamente.

2.2.1 Contaminación por fertilizantes químicos nitrogenados

Las zonas vulnerables son superficies conocidas del territorio cuya escorrentía y lixiviación fluye hacia las aguas que podrían verse afectadas por la contaminación si no se toman las medidas oportunas. Las aguas susceptibles a esta contaminación pueden ser

- **Aguas subterráneas:**

Todas las aguas que estén bajo la superficie del suelo en la zona de saturación y en contacto directo con el suelo o el subsuelo.

- **Agua dulce de nacientes:**

El agua que surge de forma natural, con baja concentración de sales, y que con frecuencia puede considerarse apta para ser extraída y tratada a fin de producir agua potable.

- **Aguas superficiales:**

Pueden ser desde pequeñas quebradas hasta ríos de gran caudal, lagos y lagunas.

2.2.2 Factores que contribuyen a la contaminación por fertilizantes

La topografía y la vegetación pueden, según los casos, favorecer o limitar la escorrentía y la lixiviación así como también la naturaleza y forma del fertilizante. Los riesgos de arrastre por lixiviación o escorrentía pueden ser tanto más importantes cuando que los abonos se presenten en forma de elementos finos.

2.2.3 Dosis de la aplicación

La determinación cuidadosa de la dosis a aplicar sobre una parcela, en previsión de las necesidades del cultivo, debe permitir el evitar los excesos en la fertilización y por consecuencia el riesgo de lavado que se origina. Para lograrlo, conviene asegurarse del equilibrio entre las necesidades de los cultivos y lo suministrado por el suelo y la fertilización.

El desequilibrio puede proceder, de diferentes factores:

- La sobreestimación del rendimiento calculado.
- Conviene evaluar bien los objetivos del rendimiento por parcelas, teniendo en cuenta las potencialidades del medio y el historial de cada parcela. Esto permite precisar las necesidades en N para un cultivo dado.
- La subestimación de los aportes propios del suelo. Conviene calcular bien el suministro de N por el suelo que varía según el clima y los antecedentes culturales de la parcela.

Es recomendable equilibrar:

1. Las necesidades previsibles de N de los cultivos, teniendo en cuenta el potencial agrológico de las parcelas y el modo de llevar los cultivos.
2. Los suministros de N a los cultivos por el suelo y por el abonado, atendiendo:
 - A las cantidades de N presentes en el suelo en el momento en que el cultivo comienza a utilizarlas de manera importante
 - A la entrega de N por la mineralización de las reservas del suelo durante el desarrollo del cultivo
 - A los aportes de abonos minerales

Habiendo fijado la dosis, se recomienda fraccionar las aportaciones si fuera necesario para responder mejor a las necesidades de los cultivos en función de sus diferentes estadios y al mismo tiempo, para revisar al bajar las dosis si el objetivo de producción marcado no puede alcanzarse por causa del estado de los cultivos (limitaciones climática, enfermedades, plagas, escamado, etc.)

2.2.4 Uniformidad de aplicación

La irregularidad en la distribución puede igualmente llevar a una sobrefertilización por eso debe tenerse especial cuidado en los siguientes aspectos:

- Homogeneidad de los fertilizantes (calidad constante).
- Regulación del equipo de aplicación.

Un equilibrio de aplicación bien reglado permite controlar mejor la regularidad de la distribución y así luchar contra la sobrefertilización (MAG, 2000).

2.3 Aspecto generales ligados al Cultivo del café

Taxonómicamente, el café está definido entre la familia de las rubiáceas, que posee cerca de 400 géneros y 5000 especies, principalmente árboles o arbustos. En el género *Coffea* existen mapas de 100 especies, sin embargo sólo tres de ellas, se cultivan comercialmente, en especial *Coffea arabica*. Esta especie es la más importante de cultivo en el mundo, consecuencia de los aspectos organolépticos de la bebida, de mayor calidad y homogeneidad.

El sistema radicular está compuesto de un eje central cónico o raíz pivotante, que alcanza hasta 60 cm, de ella salen dos tipos de raíces, unas profundas de sostén y otras que se extienden lateralmente, de las cuales brotan las raicillas que son las que absorben el agua y los nutrientes del suelo, por lo que es importante protegerlas de las plagas y enfermedades. En condiciones húmedas el 80% de ellas se concentra en los primeros 30 cm y cubre un radio, a partir del tronco, de hasta 2.5 m (ICAFE, 1995).

2.4 El café y el nitrógeno

Este elemento es uno de los más limitantes en la producción cafetalera. La mineralización del nitrógeno orgánico no es suficiente para satisfacer los requerimientos de los cafetales de mediana o alta producción, por lo que sus necesidades deben ser complementadas con aplicaciones periódicas de fertilizantes químicos u orgánicos.

El cafeto retira los nutrimentos de las capas superficiales de los suelos, justamente donde se ubican una gran proporción de sus raíces absorbentes (Bertrand *et al*, 1999), y el nitrógeno pueden ser absorbido del suelo, ya sea en forma catiónica o aniónica, principalmente por medio de iones nitrato o amonio (ICAFE, 1999).

2.4.1 Fertilizantes utilizados

Las fuentes de nitrógeno más frecuentemente usadas en Costa Rica son nitrato de amonio o sulfato de amonio prefiriéndose el nitrato por tener un efecto menos acidificante sobre el suelo que el sulfato de amonio (ICAFE, 1999), debido a que además de la acidificación que pueden producir los cationes de amonio al hidrolizarse y liberar iones hidronio (H_3O^+), el sulfato de amonio puede formar ácido sulfúrico en solución el cual a su vez puede liberar iones hidronio provocando acidez en el suelo.

Se han desarrollado fórmulas completas para los cafetales con el fin de satisfacer la demanda nutrimental de dicho cultivo y considerando la respuesta de los cafetos a fertilización con fórmulas puras. Entre las fórmulas completas de uso tradicional por parte del caficultor nacional se encuentran la 18-5-15-6-2; la 18-3-10-10-8-1.2; la 20-7-12-3-1.2 y la 15-3-22-6-2 (los número indican los porcentajes de N, P₂O₅, K₂O, MgO y B₂O₃ respectivamente). La fórmula más apropiada para cada finca o lote en particular, dependerá del contenido y balance de nutrimentos de cada suelo, para lo cual es necesario un análisis químico de suelo.

La demanda por nitrógeno de los cafetos es completada con la aplicación de compuestos fertilizantes con altas concentraciones de dicho elemento como en nitrato de amonio (33.5%) que es uno de los compuestos más utilizado en Costa Rica.

2.4.2 Épocas de fertilización y fraccionamiento y cantidad del fertilizante

El periodo de fertilización está determinado en gran medida por la precipitación de cada zona; esto se debe a que la lluvia ejerce una fuerte influencia sobre la fenología de los cafetos, además de ser necesaria para mantener húmedos los suelos cafetaleros permitiendo un crecimiento activo de las plantas así como la adecuada solubilización de los elementos nutritivos contenidos en los insumos fertilizantes.

También se recomienda el fraccionamiento de la aplicación del fertilizante en tres épocas, esto con el fin de aminorar las pérdidas por lixiviación, escorrentía y volatilización. Los periodos de fertilización varían según la región, en lugares que presentan un período seco extenso y bien definido (diciembre- abril) se recomienda hacer la primera fertilización a base de fórmula completa con el establecimiento de las lluvias (mayo-junio), la segunda, con la misma fórmula y dosis, dos meses después (julio-agosto) y la tercera con un compuesto puramente nitrogenado, antes de la finalización del período lluvioso (octubre-noviembre) (ICAFE, 1999).

2.5 El café y la contaminación por nitratos en Costa Rica como consecuencia de la fertilización nitrogenada

El nitrógeno es requerido en grandes cantidades por la planta pues es el elemento limitante en la productividad de las plantaciones de café (Babbar y Zak, 1995), pero debido a la escasez de este elemento en el suelo y la facilidad con que se pierde por lixiviación o volatilización es necesario la fertilización nitrogenada. Investigaciones llevadas a cabo en Costa Rica revelan que es necesaria una aplicación de aproximadamente 200-300 kg ha⁻¹año⁻¹ dividida en tres aplicaciones. Este con el fin de mejorar la producción (ICAFFE,1999). En Costa Rica existe subsidios para la producción del café; como consecuencia las aplicaciones de nitrógeno fertilizante están entre los 270 y 300 kg ha⁻¹año⁻¹ (Babbar y Zak, 1995).

2.5.1 Lixiviación de nitratos

Sommer (1991) dice que aproximadamente un 30% de nitrógeno aplicado es absorbido por las plantas de café; el 70% de nitrógeno aplicado restante es lixiviado del suelo con el agua, desnitrificado en forma gaseosa, o almacenado por la materia orgánica del suelo. Es probable que la mayor parte sea lixiviado y alcance, de esa manera, las aguas subterráneas. Aunque algunos autores sugieren que un alto porcentaje del N mineralizado se pierde por denitrificación, esto no puede ser afirmado pues solo se ha estudiado a nivel de laboratorio (Babbar y Zak ,1995).

La lixiviación de nitratos procedentes de estos agroecosistemas puede afectar potencialmente la calidad del agua subterránea. Aunque en el Valle Central el 50% del área de recarga de aguas subterráneas están bajo manejo de cafetales, la magnitud de lixiviación de nitratos procedentes de agroecosistemas cafetaleros aún no se conoce. Por esta razón, no se tiene un completo entendimiento del potencial del manejo de cafetales para influir en las concentraciones de nitratos en aguas subterráneas (Babbar y Zak,1995).

En este mismo estudio llevado a cabo en el Valle Central de Costa Rica por Babbar y Zak sobre lixiviación anual de nitratos, se demostró que ésta es tres veces mayor en cafetales sin sombra (24 kg ha⁻¹año⁻¹) que en aquellos con sombra (9 kg ha⁻¹año⁻¹). Se observó también en los meses más lluviosos (de junio a septiembre) valores entre 11 y 37 mg l⁻¹ de nitrógeno nítrico en la solución del suelo, siendo más altas las concentraciones en plantaciones sin sombra. Esta diferencia entre las concentraciones de nitrógeno nítrico en

cultivos con y sin sombra se consideran debidas a que los sistemas agroforestales se supone ayudan a ciclar los nutrientes en forma conservativa, reteniendo en este caso el nitrógeno para evitar pérdidas (Babbar y Zak, 1995).

2.5.2 Adsorción de nitratos

Los estudios realizados en los suelos Adisólicos del Valle Central de Costa Rica indican que después de la nitrificación, no se puede esperar que los nitratos sean simplemente lixiviados, porque esos suelos son potencialmente capaces de adsorber aniones tales como los NO_3^- . Esta adsorción puede aún retardar la lixiviación de nitratos. Sin embargo, las fuerzas electrostáticas que adsorben los iones NO_3^- , son típicamente débiles, y la adsorción es una función de una compleja interrelación de las propiedades del suelo. Las arcillas alofánicas le dan a los Andisoles su variables cargas potencialmente positivas, pero la adsorción de NO_3^- es afectada también por el pH del suelo, la materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónica y la competencia de aniones. Los resultados del estudio de Reynold mostraron que los iones NO_3^- pueden acumularse en el perfil del suelo durante la época seca. En conclusión la capacidad de adsorción de los mencionados iones en los suelos Andisólicos del Valle Central, se ve afectada por el alto régimen de fertilización (Reynolds-Vargas *et al.*, 1994).

2.6 Otros impactos de la fertilización química nitrogenada

Por otro lado, la concentración de óxido nitroso en la atmósfera está actualmente aumentando en un 2 a 3 % anual. Aunque no se conoce a ciencia cierta el origen de este incremento, la fertilización agrícola ha sido considerada como una de las principales fuentes junto con la quema de combustibles fósiles. Buena parte de otros gases como el amoníaco y el óxido nítrico se derivan del uso de fertilizantes nitrogenados en los suelos. El óxido nítrico junto con otros óxidos de nitrógeno, pueden ser transformados en la atmósfera en ácido nítrico, el cual es uno de los mayores componentes de la lluvia ácida.

La fertilización intensiva de suelos agrícolas puede incrementar el porcentaje al cual el nitrógeno en forma de amoníaco es volatilizado y perdido hacia el aire. También puede acelerarse el rompimiento microbial del amonio y el nitrato del suelo, provocando la liberación del óxido nitroso. Aunque el óxido nitroso es no reactivo y tiene larga vida en la baja atmósfera, cuando este alcanza la estratosfera puede desencadenar reacciones que

agotan y adelgazan la capa de ozono estratosférico que protege a la tierra de los rayos ultravioleta.

También puede mencionarse la pérdida de nutrientes que aseguran la fertilidad de los suelos a largo plazo, así como también ha contribuido a la pérdida de la biodiversidad de plantas y animales adaptados a suelos con bajas cantidades de nitrógeno (Vitousek *et al.*, 1997).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

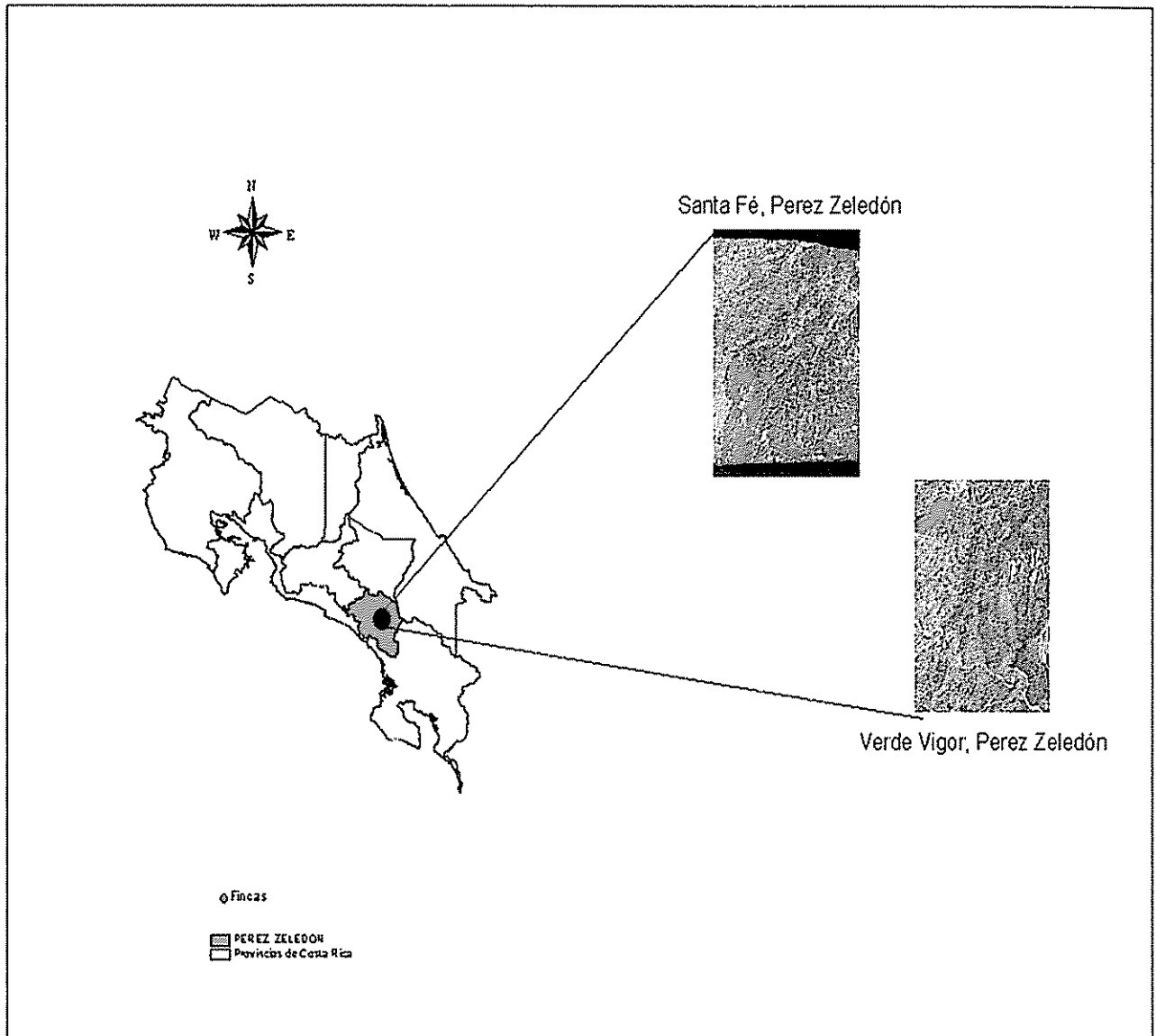


Figura 2. Ubicación del sitio de estudio. Cantón Pérez Zeledón, San José, Costa Rica

3.1 Descripción el área de estudio

El estudio se realizó en dos fincas cafetaleras ubicadas 20 kilómetros al sur de la ciudad de San Isidro del General, en el cantón de Pérez Zeledón, Costa Rica. Geográficamente las fincas se encuentran entre las coordenadas 9°15' - 9°18' latitud norte y 83°31' a 83°36' latitud oeste con altitudes entre 600 y 700 msnm (SIG). Los suelos de la zona son Ustox Palehumult (Aguilar, 2000), con pendientes de 0-33%, pH 4.5-6.6. La materia orgánica es 1.2% para la finca Verde Vigor y de 6% para la finca Santa fé. El tipo de suelos es Ustic Palehumults son ácidos y de baja fertilidad con concentraciones de óxidos de hierro junto con altos contenidos de materia orgánica (ICAFE,1995). Anteriormente en estas fincas se sembró caña por un corto período y pastos. La precipitación anual es de 3853 mm para la finca Verde Vigor y de 4039 mm para la finca Santa Fé. El período de lluvias es de 170 días, la temperatura de 23.5°C , brillo solar de 43% y una humedad relativa de 87.50%. El sitio pertenece a la zona de vida de Holdridge bosque pluvial montano bajo.

3.2 Descripción de los sistemas de cultivo

Las especie de café sembrada en ambas fincas es *Coffea arabica* en asocio con *Eucalyptus deglupta* (figura 3). Es importante señalar, que las fincas no tienen influencia de otros cultivos ni de asentamientos humanos. En la finca Verde Vigor el sistema café-eucalipto fue establecido de 1995 a 1998-99, mientras que en la finca Santa Fé aproximadamente desde 1970 el café y en 1995 se introdujo el eucalipto. Las fincas fueron fertilizadas simultáneamente a partir de las primeras lluvias fuertes, condición necesaria para una adecuada solubilización de los nutrimentos; así, la primera fertilización en la finca Verde Vigor se inició el 20 de abril y terminó el 6 de junio. La segunda fertilización inició el 5 de julio y finalizó el 7 de Agosto. La fórmula aplicada fue 18-3-15-6-0.4-7.3 (N-P₂O₅-K₂O- MgO-B-S) donde el Nitrógeno se encuentra en un 8.6% como nitrógenon nítrico y el 9.4% como nitrógeno amoniacal (FERTICA, 2001).

En años anteriores se han realizado 3 fertilizaciones con esta fórmula a razón de 59 kgN ha⁻¹ totalizando aproximadamente 177 kgN ha⁻¹ en las tres aplicaciones. Este año, sin embargo, por el bajo precio del café sólo se han realizado las dos primeras aplicaciones.

Figura 3. Quebrada en finca Verde Vigor, Sistema café con eucalipto.



Figura 3. Quebrada en finca Verde Vigor, Sistema café con eucalipto.

Existe una última fertilización en la estación lluviosa que el año pasado se realizó del 20 de noviembre al 14 de diciembre, la fórmula aplicada es Nutrán el cual tiene un 33.5% de nitrógeno con 16.5% de nitrógeno nítrico y 16.5% de nitrógeno amoniacal (FERTICA, 2001) aportando 88.5 kgN ha^{-1} . Este año todavía no se ha realizado esta fertilización.

En total durante el ciclo de fertilización anual se introducen 265 kg N/ha , aunque este año por el momento, se han aplicado 118 kgN ha^{-1} en Verde Vigor y 124 kgN ha^{-1} en Santa Fé. En la finca Santa Fé varió un poco los períodos de fertilización; así, la primera fue realizada entre el 23 de abril y el 17 de mayo, y la segunda entre el 6 de julio y el 7 de agosto. Las fórmulas y cantidades aplicadas fueron las mismas con excepción de que en julio se aplicó la fórmula 20-0-20 (65 kgN ha^{-1}) que contiene sulfato de amonio.

3.3 Metodología de toma de datos

Se cuantificó la concentración de iones nitrato en el agua superficial, para lo cual se muestrearon quebradas, que recogen el agua movida verticalmente por lavado y escorrentía, asimismo, se obtuvieron muestras en las nacientes u ojos, de agua con el fin de medir la concentración de nitratos en el agua freática procedente del movimiento

Existe una última fertilización en la estación lluviosa que el año pasado se realizó del 20 de noviembre al 14 de diciembre, la fórmula aplicada es Nutrán el cual tiene un 33.5% de nitrógeno con 16.5% de nitrógeno nítrico y 16.5% de nitrógeno amoniacal (FERTICA, 2001) aportando 88.5 kgN ha^{-1} . Este año todavía no se ha realizado esta fertilización.

En total durante el ciclo de fertilización anual se introducen 265 kg N/ha , aunque este año por el momento, se han aplicado 118 kgN ha^{-1} en Verde Vigor y 124 kgN ha^{-1} en Santa Fé. En la finca Santa Fé varió un poco los períodos de fertilización; así, la primera fue realizada entre el 23 de abril y el 17 de mayo, y la segunda entre el 6 de julio y el 7 de agosto. Las fórmulas y cantidades aplicadas fueron las mismas con excepción de que en julio se aplicó la fórmula 20-0-20 (65 kgN ha^{-1}) que contiene sulfato de amonio.

3.3 Metodología de toma de datos

Se cuantificó la concentración de iones nitrato en el agua superficial, para lo cual se muestrearon quebradas, que recogen el agua movida verticalmente por lavado y escorrentía, asimismo, se obtuvieron muestras en las nacientes u ojos, de agua con el fin de medir la concentración de nitratos en el agua freática procedente del movimiento vertical del agua, que por lixiviación arrastra los iones nitratos hacia los mantos acuíferos. Se tomaron muestras de agua en quebradas del bosque como testigo. También se midió el contenido de iones nitrato en el suelo y en el agua de lixiviación. También se obtuvieron datos de la precipitación diaria de marzo al mes de octubre. La cantidad de fertilizante nitrogenado aplicado se obtuvo por consulta con los mandadores de las fincas.

3.3.1 Nitratos en agua

Para obtener los datos de nitratos en agua de nacientes y quebradas se eligieron los puntos de muestreo en las dos fincas los cuales debían cumplir con ciertas características.

Para nacientes:

- Evitando los lugares con agua proveniente de filtraciones muy superficiales de la lluvia (figuras 4 y 5).

Para quebradas:

- Sin influencia de la escorrentía de caminos.

vertical del agua, que por lixiviación arrastra los iones nitratos hacia los mantos acuíferos. Se tomaron muestras de agua en quebradas del bosque como testigo. También se midió el contenido de iones nitrato en el suelo y en el agua de lixiviación. También se obtuvieron datos de la precipitación diaria de marzo al mes de octubre. La cantidad de fertilizante nitrogenado aplicado se obtuvo por consulta con los mandadores de las fincas.

3.3.1 Nitratos en agua

Para obtener los datos de nitratos en agua de nacientes y quebradas se eligieron los puntos de muestreo en las dos fincas los cuales debían cumplir con ciertas características.

Para nacientes:

- Evitando los lugares con agua proveniente de filtraciones muy superficiales de la lluvia (figuras 4 y 5).

Para quebradas:

- Sin influencia de la escorrentía de caminos.
- Si era el caso que el agua mostraba demasiada turbiedad por escorrentía se filtró en el campo con papel filtro de 0.2 μm colocado en la punta de un jeringa de 50 ml, para evitar el efecto de la materia orgánica y de los sedimentos arrastrados (figuras 4 y 5).

Para ambas:

- Que fueran representativas del drenaje de un área cubierta con el sistema café con eucalipto.

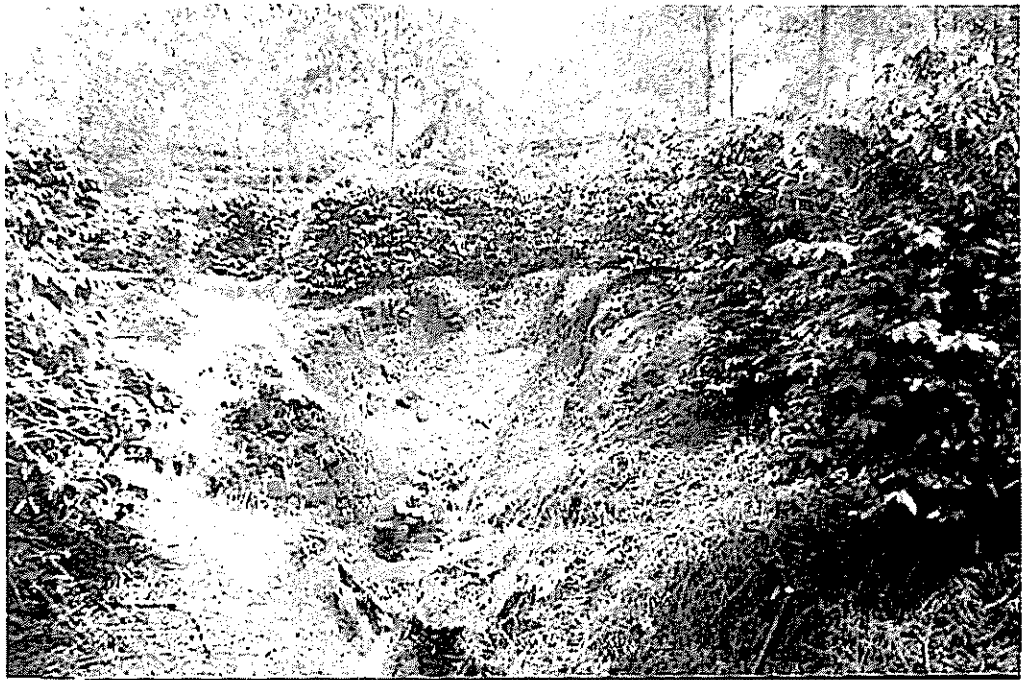


Figura 4. Naciente en Finca Verde Vigor. Sistema café con eucalipto.



Figura 5. Naciente en finca Verde Vigor. Sistema Café con eucalipto

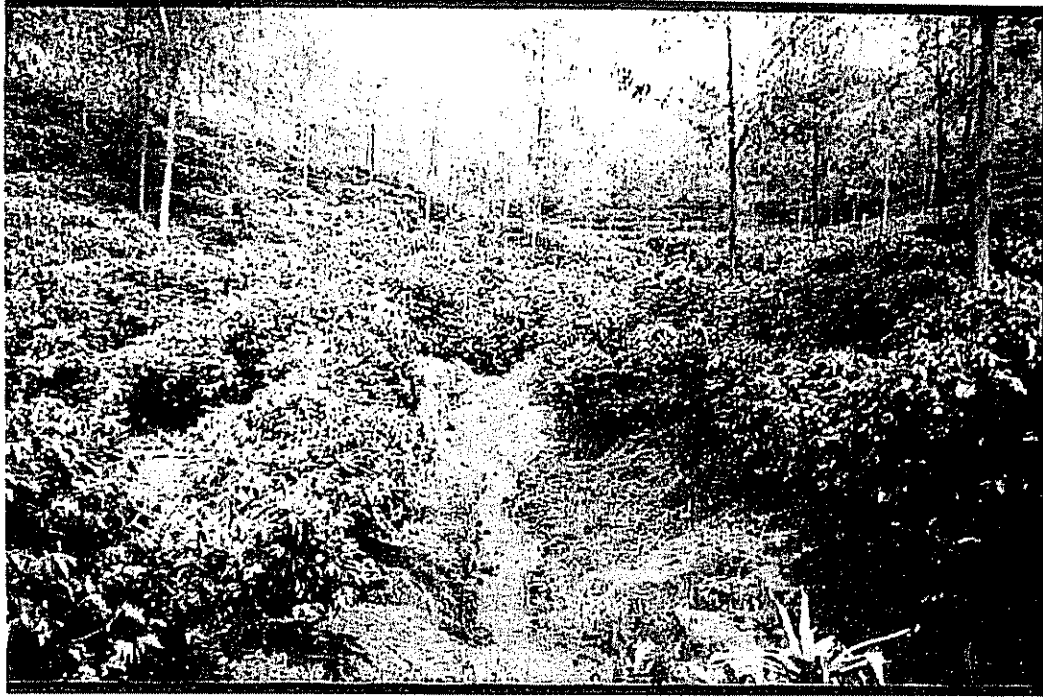


Figura 6. Quebrada en Verde Vigor.

Las muestras una vez colectadas en campo se colocaban inmediatamente en hieleras, para después ser puestas en un refrigerador a 4°C, por un período no mayor de 48 horas, antes de ser analizadas en el laboratorio de suelos, tejido vegetal y aguas del CATIE. Este procedimiento es muy importante pues la concentración de nitratos puede variar de manera impredecible debido a la actividad biológica que favorece reacciones de nitrificación y denitrificación, provocando datos erróneos en los resultados.



Figura 7. Quebrada en Santa Fé.

Los resultados de nitratos en agua se analizaron estadísticamente a lo largo de tiempo. Se hicieron regresiones de los tres ambientes tomando como ambiente 1 la finca Verde Vigor, ambiente 2 la finca Santa Fé y ambiente 3 el bosque para observar la tendencia de los datos en el tiempo. Se compararon las diferencias entre fincas de la calidad del agua de quebradas y nacientes, y dentro de las fincas entre quebradas y nacientes por fecha; para esto se utilizaron pruebas de t-test y la prueba de Mann Whitney Wilcoxon en los casos en que los datos no se distribuían normalmente.

3.3.2 Nitratos en el suelo

Se escogieron dos tratamientos para la toma de muestras en el perfil del suelo en la finca Santa fé: café con eucalipto y café a pleno sol. La parcela a pleno sol se encuentra a la par del aeropuerto que se encuentra en la finca y tiene la misma historia y manejo que la finca vecina de café-eucalipto estudiada. Se tomaron muestras a 0-10, 10-20, 20-30, 30-

40, 40-60, 60-80 y 80-100 cm de profundidad con cinco repeticiones en cada tratamiento. Cada repetición estaba compuesta por cinco submuestras en las primeras cuatro profundidades y de tres submuestras en las tres profundidades mayores. Se tomaron a 50 cm de distancia una de otra y a 40 cm de una línea de cafetos. Las muestras fueron colectadas el 23 de junio en las dos parcelas, las cuales fueron fertilizadas el 4 de mayo. Las muestras fueron analizadas con el método de destilación Kjeldhal para determinar la concentración de nitratos en el suelo. Este análisis se realizó extrayendo los nitratos en agua y en KCl, además se obtuvo pH en agua y en KCl. A los datos obtenidos de esta forma, se les aplicó un análisis de varianza por medio de un diseño irrestricto al azar.

Las muestras de suelo primero fueron secadas a temperatura ambiente para luego analizarlas en laboratorio. Para esto previamente se realizó un muestreo con el fin de comprobar la variación en la concentración de nitratos en muestras húmedas y secas, obteniéndose un coeficiente de regresión (r^2) de 0.99 a un nivel de confianza de 0.05 (figura 8), demostrando que el análisis de la concentración de nitratos en muestras secas siguen la misma tendencia de los análisis de la concentración de nitratos en muestras húmedas. De acuerdo a esto, el modelo de la ecuación de regresión explica que el 99% de la variación de los datos en muestras húmedas se encontró asociada a la variación de los datos de muestras secas por lo que se decidió aplicar la ecuación a la transformación de los resultados de muestra seca a húmeda, condición real en el campo.

Los niveles de humedad del suelo fueron de 32.11 % en suelos húmedos y de 16.3 % a 23.3 en suelos secos, observándose que las muestras secas poseían la mitad de humedad que las muestras húmedas.

3.3.3 Datos de caracterización del suelo

Se realizaron algunos análisis de caracterización del suelo en las parcelas de la finca Santa Fé donde se colocaron los lisímetros para mediciones de agua de lixiviación y se tomaron las muestras de suelo. El muestreo se realizó el 23 de junio sobre una parcela a pleno sol y una de café con eucalipto. A las muestras se les realizaron las siguientes determinaciones:

Densidad aparente: la densidad aparente o peso específico del suelo es la masa (peso) por unidad de volumen de suelo seco. El volumen aparente incluye el volumen de las partículas sólidas de suelo y el espacio poroso. A la muestra obtenida a una humedad correspondiente a la capacidad de campo en cilindros especiales, se le determinó el peso seco a (105-110 °C durante 24 horas). Se calculó la densidad aparente según la fórmula:

$$Da = Ps / V$$

Donde: Da= densidad aparente

Ps= peso del suelo seco(g)

V= volumen del cilindro $\pi r^2 h$

Densidad de partícula: la densidad de partícula o peso específico real de los suelos se refiere a la masa (peso) de una unidad de volumen de las partículas sólidas del suelo, sin incluir el espacio poroso. Se obtuvo por medio del método del Keroseno. Este dato sirve para poder calcular la porosidad.

Porosidad: la porosidad se refiere a la naturaleza y cantidad de espacio entre y dentro de las partículas del suelo, es decir la fracción del volumen del suelo que está ocupada por aire y agua. Esta generalmente oscila entre 0.3-0.6. El espacio poroso está formado por poros de diferente tamaño y se les clasifica comúnmente como macroporos, mesoporos y microporos. En los macroporos, el agua no puede ser retenida, debido a la mayor fuerza de la gravedad con relación a la fuerza de retención que ejercen las paredes de los macroporos, por lo que da lugar al agua de percolación. El agua en los microporos es retenida con tal fuerza que no es disponible para las plantas. La porosidad expresada en porcentaje se calcula a partir de la densidad aparente (Da) y la densidad de partículas (Dp) (Jiménez, 2000).

$$P = ((Dp - Da)/Dp)*100$$

Cálculo de nitratos en kgN ha⁻¹:

Concentración de nitratos en kgN ha⁻¹ * la densidad aparente

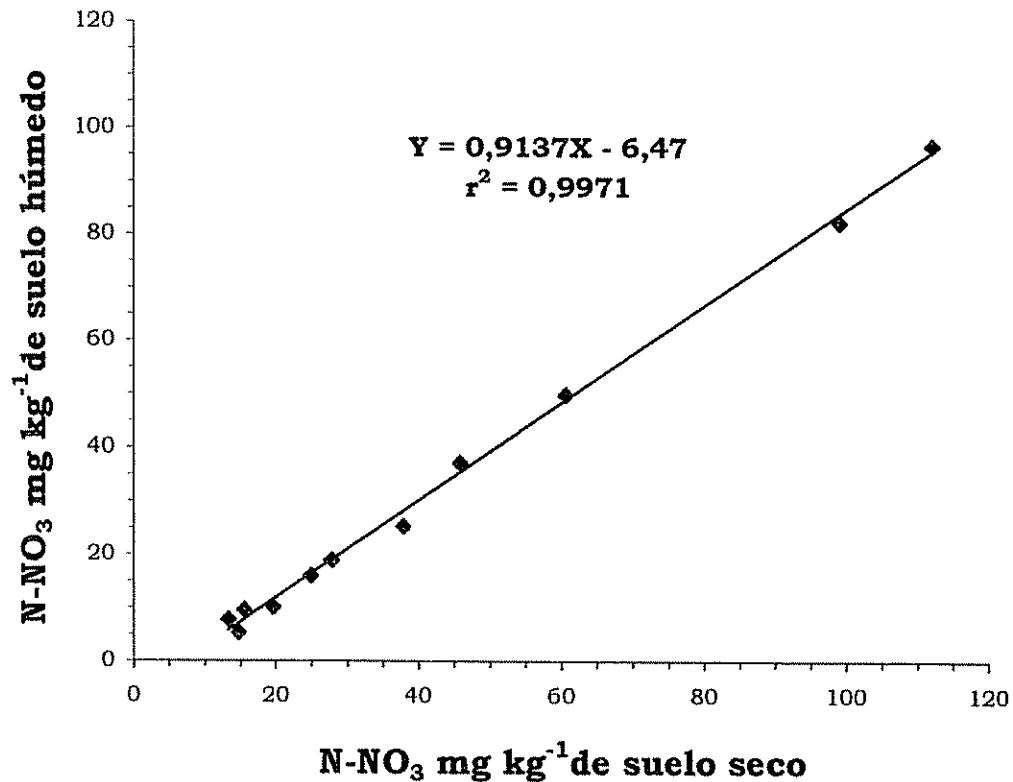


Figura 8. Gráfico de regresión de suelos húmedos versus. suelos secos

3.3.4 Nitratos en la solución del suelo

Se establecieron bujías de cerámica en la finca Santa fé en los dos tratamientos, café pleno sol y café con eucalipto, a tres profundidades: 30, 60 y 120 cm en 5 repeticiones. La extracciones del agua de lixiviación se hicieron desde junio hasta agosto cada 10 días aproximadamente. Seguidamente se obtuvieron las concentraciones de iones nitrato y amonio en estas muestras.

3.3.5 Precipitación

La cantidad de lluvia se midió con pluviómetros en cada una de las fincas. Se obtuvo el promedio de lluvia 15 días antes de cada muestreo para observar el efecto y relación con la concentración de nitratos encontradas en el agua freática, superficial, agua de lixiviación y suelos.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Concentración de nitratos en el agua de nacientes y quebradas

4.1.1 Concentración de nitratos a lo largo del tiempo

En las figuras 9 y 10 se pueden observar los promedios mensuales de la concentración de nitratos en aguas provenientes de nacientes y quebradas en cada una de las fincas.

El análisis de regresión completo entre fincas muestra que, a lo largo del tiempo, los datos en las dos fincas y el bosque siguen una tendencia muy similar describiendo una línea cuadrática; esto revela que la variación en el tiempo debido a la diferente procedencia del agua, diferentes fincas no presentan diferencias significativas.

Al inicio del período de las lluvias hay un exceso de agua lo cual inevitablemente causa la lixiviación de nutrimentos hacia capas profundas del suelo, pudiendo llegar hasta el nivel freático. La primera fertilización con 59 kg/ha en forma de nitrato de amonio a finales de abril parece tener un efecto sobre las concentraciones de nitratos en las nacientes y quebradas. Pero esto no se verifica con la segunda fertilización. El análisis de correlación para las fincas indicó que existe un 86% y 78% de relación entre la lluvia y la concentración de nitratos en las nacientes y quebradas respectivamente de Verde Vigor, de Santa Fé no hubo correlación entre concentración de quebradas y nacientes con la lluvia.

En Verde Vigor, al comienzo de los muestreos, en marzo, la concentración de N-NO_3 nitratos en el agua es muy baja: 0.18 mg/l, tanto en nacientes como en quebradas. Las comparaciones de medias mediante la prueba de t dentro de la finca, para analizar diferencias entre nacientes y quebradas para cada fecha de muestreo indicó que hubo diferencias significativas en el contenido de nitratos, únicamente durante el segundo mes de muestreo (abril), en Verde Vigor y en marzo y abril en Santa Fé con mayor concentración en las nacientes que en las quebradas. Esto significa que hay más nitratos en el agua de lixiviación que en el agua de escorrentía. El aumento de la concentración de nitratos parece deberse a una combinación de un efecto de inicio de la lluvia y de la cantidad de lluvia. Esto puede explicarse como un efecto de pistón que lava los nitratos contenidos en el suelo hacia la tabla de agua freática. Estos nitratos lixiviados al inicio que provocan un aumento significativo en la concentración de las nacientes con respecto a las

quebradas, provienen de dos posibles fuentes: a) de la carga de nitratos acumulados a lo largo de los años en el perfil del suelo, ya sea por aportes fertilizantes o por la mineralización lenta de diferentes formas de nitrógeno de la materia orgánica; b) El efecto de Birch (Russel, 1976) en el cual mientras más largo es el tiempo que el suelo se deja secar durante la estación seca, más alta es la nitrificación por la actividad biológica cuando empiezan las lluvias. Los microorganismos que se encontraban en letargo durante la época seca, tales como bacterias nitrificantes, necesitan una actividad de agua en el suelo cercana a 1, es decir una humedad adecuada, para poder vivir y desarrollarse, condición que no puede lograrse a menos que el suelo se encuentre húmedo.

Las diferencias entre quebradas y nacientes en Verde Vigor puede explicarse por un efecto de dilución a nivel de quebradas, es decir, que el aumento de la concentración de nitratos no puede apreciarse a este nivel, ya que al agua de quebradas además del agua proveniente de nacientes se le suma el agua de escorrentía y la de filtraciones subsuperficiales de la lluvia que se sabe contienen muy bajas cantidades de nitratos (Petterjhon *et al*, 1984). Mientras el agua de las nacientes proviene del suelo y del subsuelo y que al inicio de la lluvia parece tener mayores concentraciones

En general la contaminación de aguas a nivel freático ocurre durante los períodos cuando el movimiento descendente del agua desde la zona de las raíces coincide con altas concentraciones de nitratos en la solución del suelo (Zebbart *et al*, 1998).

Lo más probable es que ambas hipótesis se complementan: El efecto de Birch y la acumulación en el tiempo, como resultado los nitratos quedan en el perfil del suelo hasta una profundidad importante. La elevación progresiva del nivel freático al inicio de la estación lluviosa pudo favorecer la captación de nitratos que se encontraban en el suelo. Esto pudo constatarse en las nacientes de Verde Vigor y Santa Fé, las nacientes fueron subiendo de altura durante los primeros muestreos, encontrándose a mayor altura a finales de mayo y principios de junio, posteriormente los surgimientos de agua fueron bajando lentamente en julio. Entonces se puede decir que al subir el nivel del agua freática en estos meses los nitratos que se encontraban a un nivel más superficial fueron arrastrados hasta mayores profundidades y probablemente hasta los acuíferos.

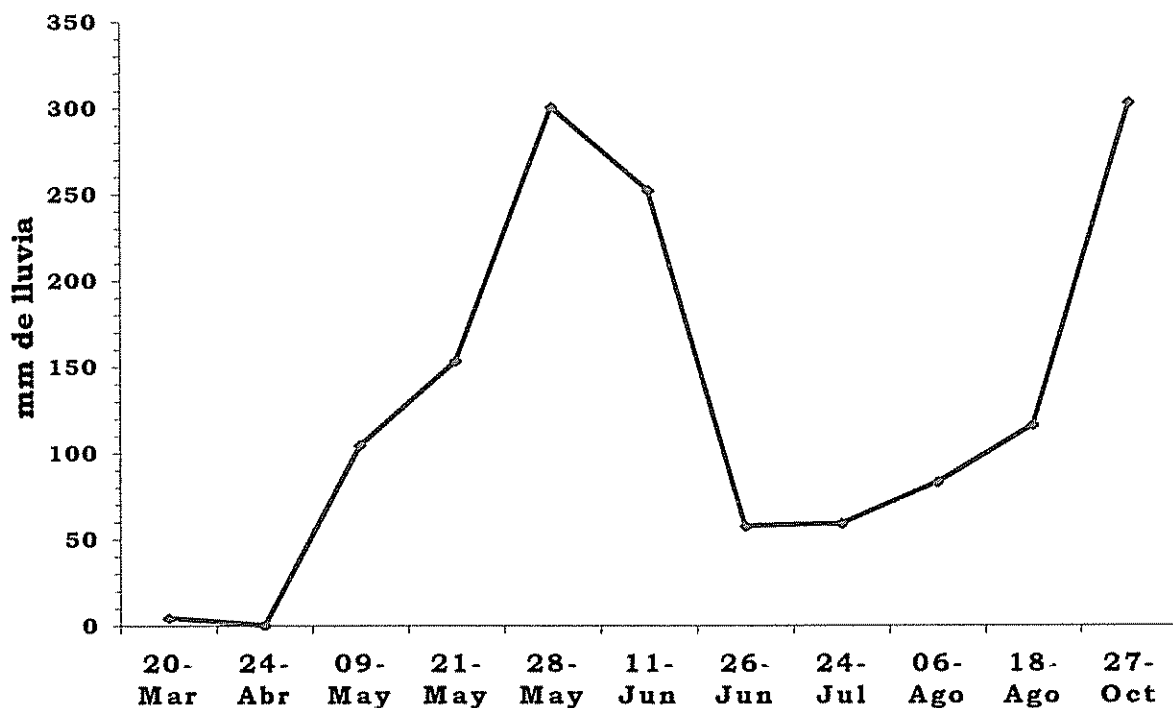
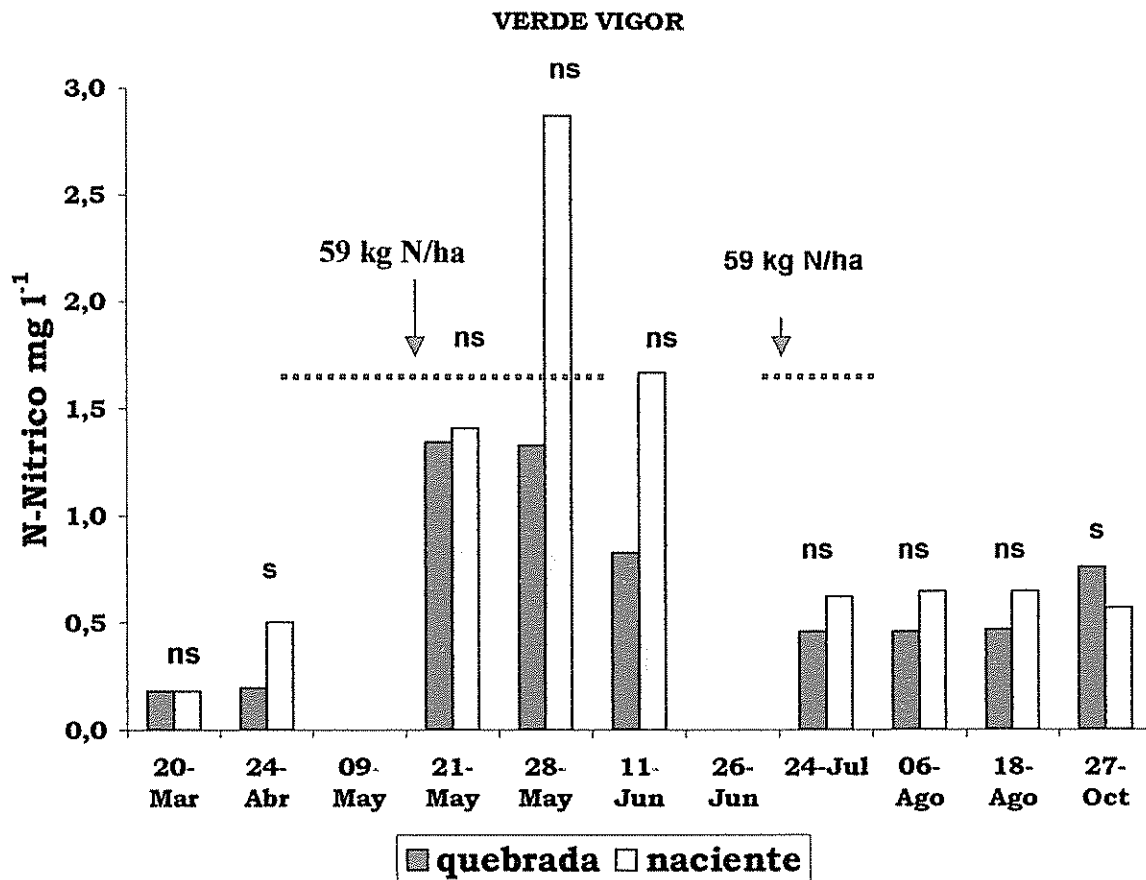


Figura 9. Promedios mensuales de concentración de N-Nítrico en el agua de nacientes y quebradas en Finca Verde Vigor y la lluvia 15 días antes de cada muestreo.

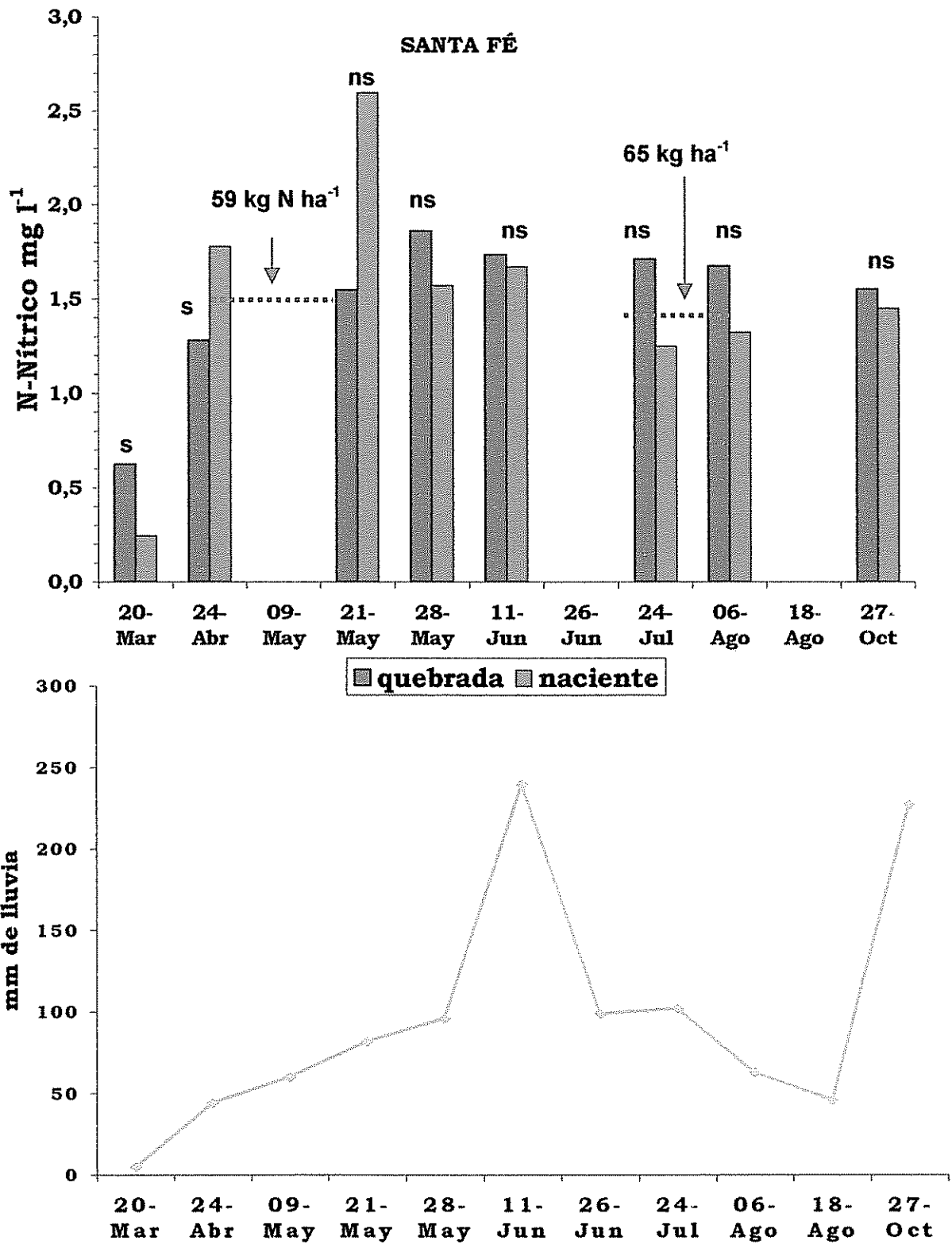


Figura 10. Promedios mensuales de las concentraciones de nitrógeno nítrico en aguas de nacientes y quebradas Finca Santa Fé y la lluvia diaria acumulada 15 días antes de cada muestreo

4.1.2 Concentración de nitratos entre fincas y el bosque

Según se muestra en la figura 11, que el nivel mínimo en las concentraciones de nitratos en las nacientes de Verde Vigor, que se da en marzo (0.181mg/l), es muy parecido a los datos de bosque. En cambio, el nivel mínimo que se observa en las nacientes de Santa Fé en marzo (1.333 mg/l) es significativamente más alto, luego se observa que con excepción de los muestreos realizados en mayo y Junio que coinciden con los primeros picos de lluvia en Verde Vigor, y el efecto de pistón anteriormente mencionado, los resultados de los demás meses son significativamente más altos en Santa Fé comparados con Verde Vigor. Esta misma tendencia se ratifica en las quebradas de ambas fincas se ve también que a este nivel los valores de nitratos son más bajos. La variabilidad de los datos en las quebradas de Santa fé es menor que en Verde Vigor. De manera global en el cuadro 1 se verifica que en promedio los datos de Santa fé son más altos que los de Verde Vigor tanto en agua de quebradas como de nacientes los cuales también son más altos que el nivel que se encuentra en el bosque.

En el bosque, el cual sirve como testigo de sistemas no perturbados, presenta siempre muy bajas concentraciones de nitratos pues tiene la capacidad de equilibrar la mineralización y la absorción por las plantas para evitar las pérdidas de nitratos hacia aguas freáticas o superficiales. Por el contrario, los sistemas de café son sistemas artificiales con un desequilibrio en el balance de nutrientes: hay una mineralización de la materia orgánica mientras la restitución es muy poca.

El aporte de nitrógeno por los fertilizantes es un flujo brutal y una cantidad muy importante que no puede ser completa y rápidamente absorbido rápidamente por la planta. Por tanto, la gran cantidad de nitratos aportados al suelo provocan una saturación eventual que favorece el incremento de los contenidos de este anión en la tabla freática.

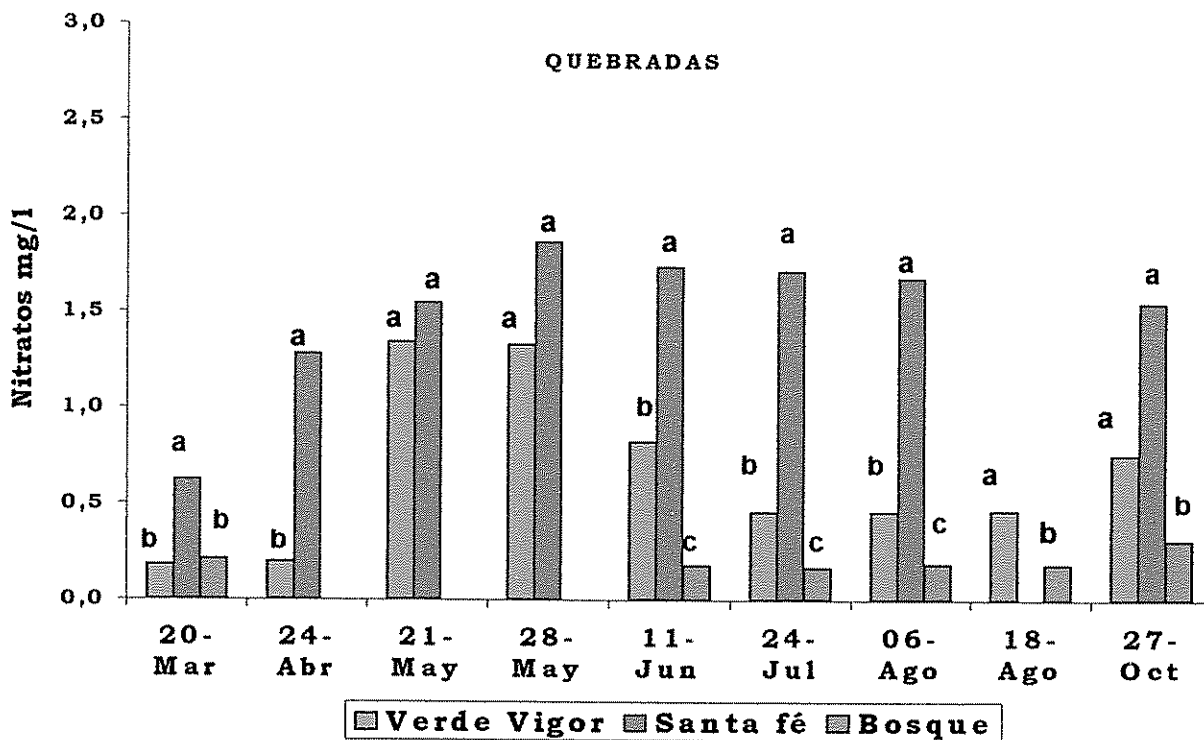
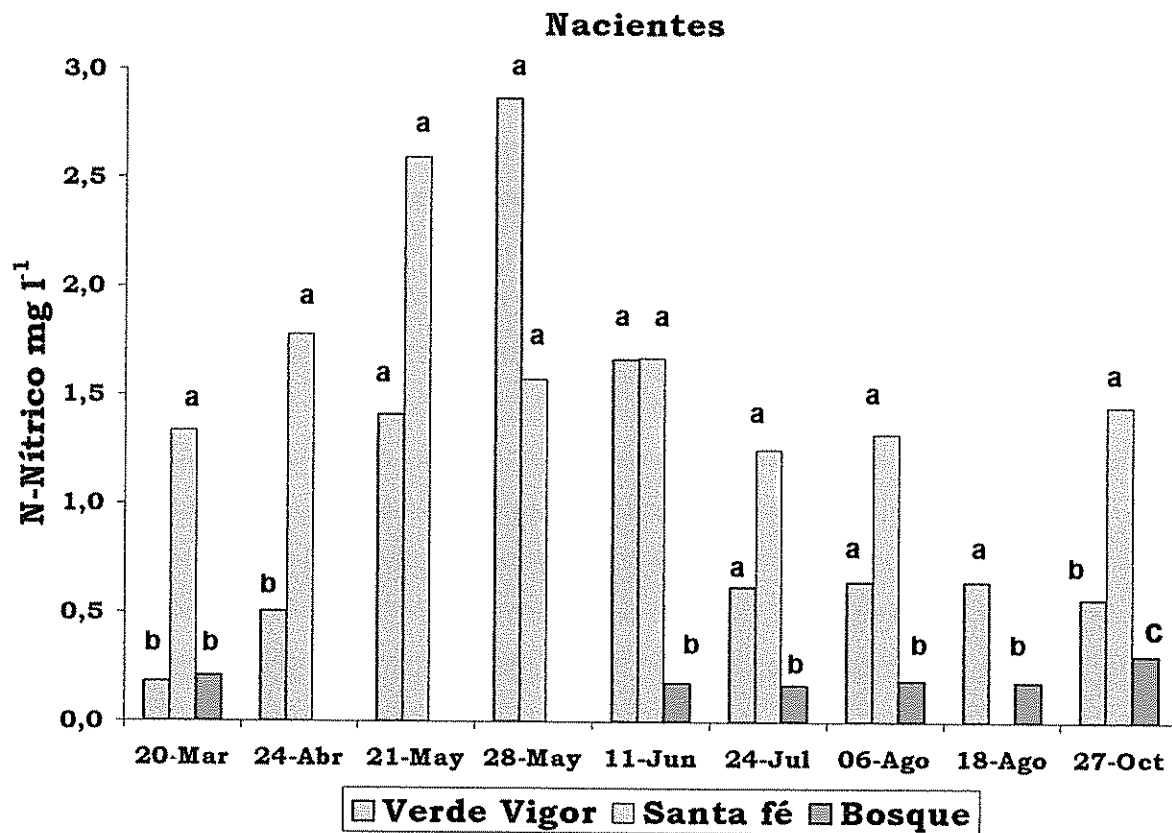


Figura 11. Comparación de promedios de concentraciones de nitrógeno nítrico en nacientes y en quebradas entre fincas y el bosque como testigo

Las diferencias entre Verde Vigor y Santa Fé pueden explicarse por dos razones: a) Si se compara la edad de los cafetos en Santa Fé mayor que en Verde Vigor donde el café es más joven, habrá por consiguiente menos acumulación de formas de Nitrógeno en el perfil del suelo, b) La mayor cantidad de materia orgánica en el suelo de Santa Fé 6% en comparación a 1.2% de Verde Vigor, en la capa de 0-20 cm que puede favorecer un flujo más importante de nitrógeno mineralizado en Santa Fé.

En la figura 12 se muestran los niveles mensuales máximos de N-NO₃ encontrados en el agua encontrados en el agua de nacientes y quebradas en las dos fincas y el bosque. Es importante destacar que la máxima concentración se encontró en las nacientes de Santa Fé: 5.80 mg/l N-NO₃ en mayo. Este valor se encuentra por debajo del límite máximo recomendado para consumo humano según las normas de Organización Mundial de la Salud.

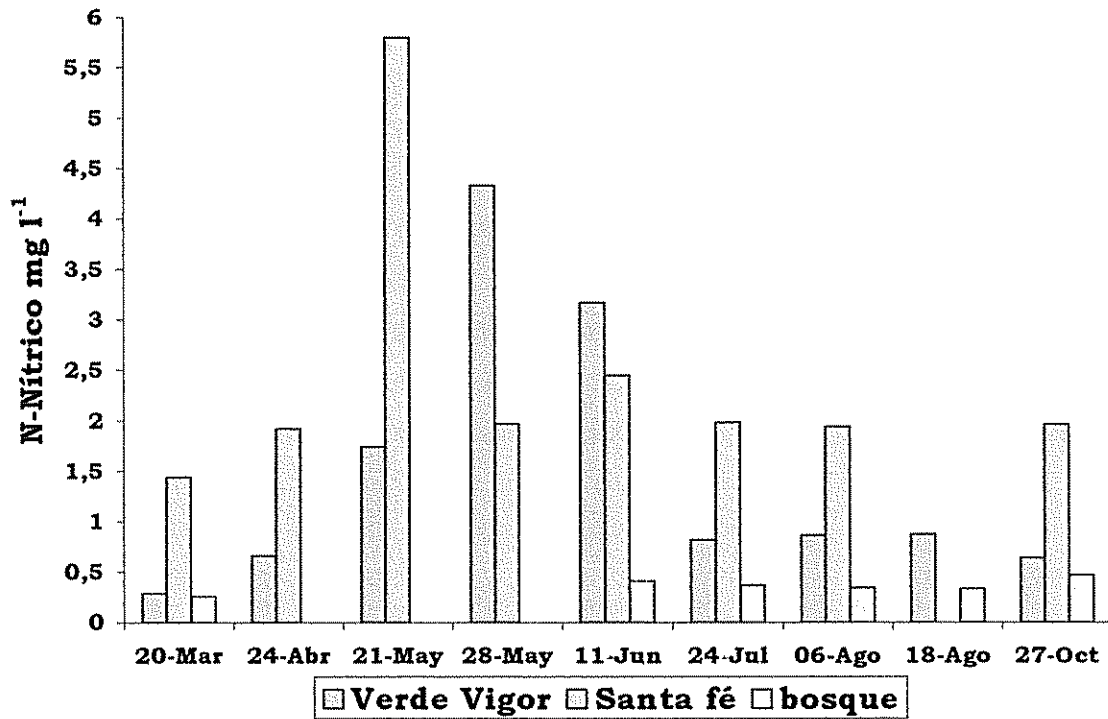
En el cuadro 1 se verifica que los niveles de nitratos no llegan a ser de riesgo para la salud humana pues se encuentran muy por debajo del valor máximo permisible. El nivel de nitrato en las aguas subterráneas, al cual ocurre la denitrificación como balance, varía con la geología y el ambiente local, pero pocas veces excede de 3 mg/l de nitrógeno-nítrico (12-13 mg/l de nitrato) y es bastante común encontrar un décimo de esta cantidad. La EPA (Environmental Protection Agency) escogió 3 mg/l de nitrógeno nítrico (13.3 mg/l como nitrato) como un nivel aproximado más allá del cual hay evidencia de que las actividades humanas serán contribuyentes a la contaminación del agua con compuestos nitrogenados (Agrawal, 1995).

Cuadro 1. Promedios anuales de la concentración de nitrógeno nítrico en el agua de las fincas

Verde Vigor, Santa Fé y el bosque.

	Bosque	Verde Vigor	Santa fé
Nacientes	---	1.012 mg l ⁻¹ N-NO ₃ (ab)	1.624 mg l ⁻¹ N-NO ₃ (b)
Quebradas	0.212 mg l ⁻¹ N-NO ₃ (a)	0.668 mg l ⁻¹ N-NO ₃ (a)	1.499 mg l ⁻¹ N-NO ₃ (b)

Niveles máximos en nacientes



Niveles máximos en quebradas

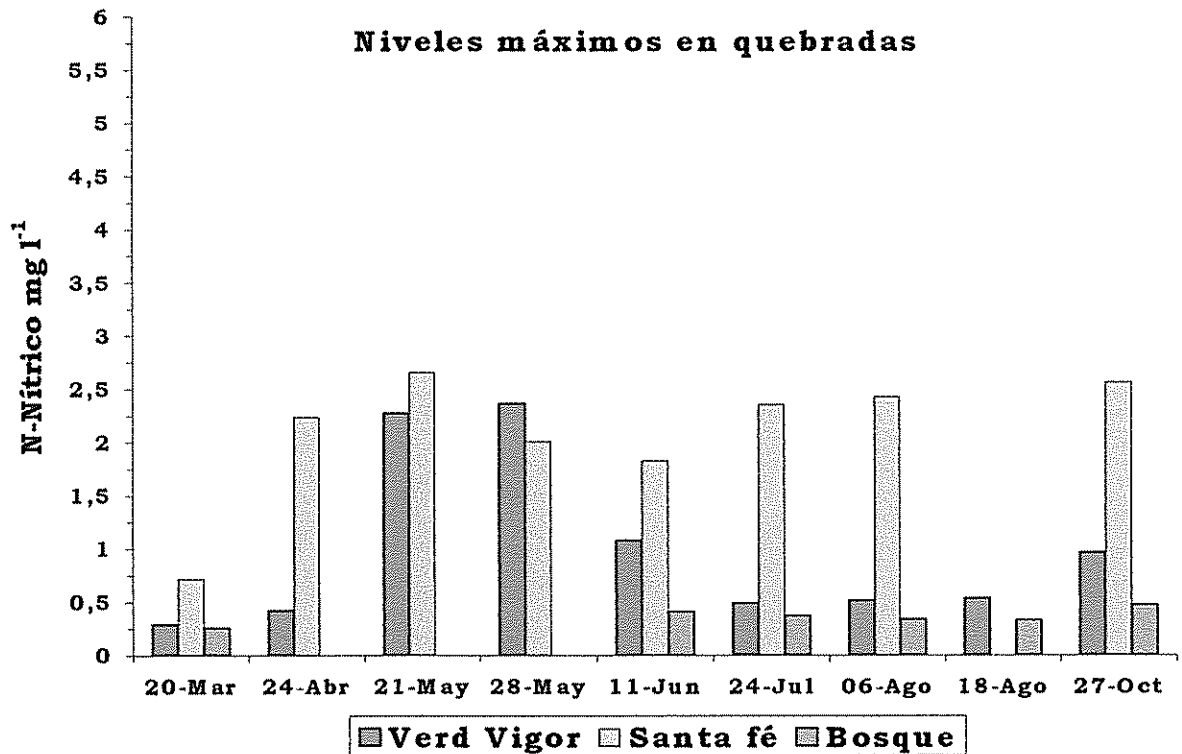


Figura 12. Niveles máximos de nitrógeno nítrico en nacientes y en quebradas en las fincas Verde Vigor, Santa Fé y el Bosque

4.2 Concentración de nitratos en el suelo

En la figura 13 se presentan los resultados de análisis de nitratos en muestras de suelo en Santa Fé en pleno sol y en el sistema de café con eucalipto. Este muestreo se realizó el 23 de junio después de la fertilización y después de las primeras lluvias fuertes. Se puede observar una acumulación de nitrógeno nítrico en todo el perfil del suelo. A pleno sol se observan mayores concentraciones en los primeros 10 cm que bajo eucalipto y la tendencia se mantiene hasta los 60 cm. En ambos tratamientos hay un descenso seguido de un aumento de la concentración de nitratos, posiblemente debido a un flujo de estos compuestos a este nivel después de la lixiviación desde profundidades más superficiales.

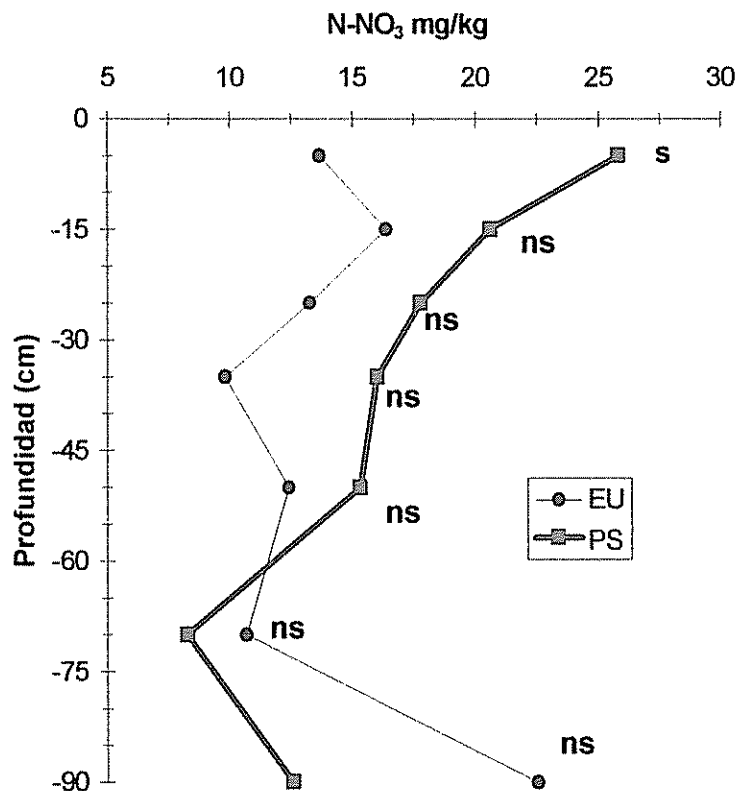


Figura 13. Concentración de nitrógeno nítrico en el suelo en un sistema café c Eucalipto (EU) y café a pleno sol (PS). Extracción en KCl.

a diferencia puede atribuirse a alguna de las siguientes hipótesis: a) un eventual efecto inhibitor de la nitrificación (más directamente sobre los organismos nitrificantes) del

eucalipto; esto se confirma por el pH más bajo en eucalipto como se observa en la figura 14, pues se conoce que el eucalipto produce sustancias como los fenoles que pueden acidificar y reducir la nitrificación b) una mayor absorción de nitratos por el sistema café-eucalipto que posee más biomasa. Según Petterjhon (1994), los bosques de galería por ejemplo, retienen hasta un 89% del nitrógeno procedente de campos cultivados. Se sabe también que hay mayor retención de aniones en los suelos si estos poseen una cantidad de cargas positivas (Fassbender, 1993).

Aunque según la clasificación del tipo de suelo (Ustic Palehumult) pueden encontrarse óxidos de aluminio en el complejo de intercambio de las arcillas, el resultado de los

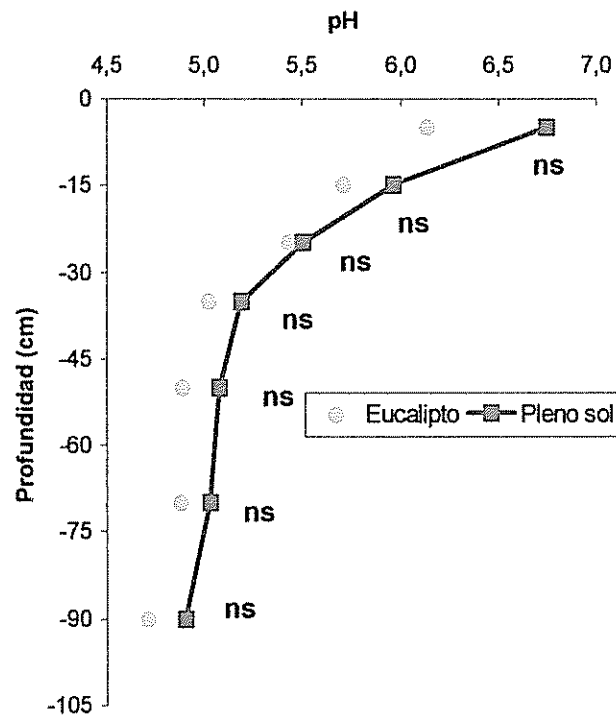


Figura 14 Valores de pH en agua encontrados en dos tratamientos en suelos de Santa Fé.

análisis presentados en la figura 14 demostró que el pH en agua tiene una tendencia a ser mayor en agua que en KCl, lo cual indica que no hay cargas positivas en el suelo, esto sucede solo hasta los 80 cm, pues más abajo en el perfil a 100 cm se llega a la PCC o punto de carga cero que es pH al cual las cargas positivas y negativas del material son iguales; esto sucede particularmente en este suelo a pH 4.7, pero en general debe ocurrir a pH 3.5 y aumenta con la elevación del contenido de óxidos de hierro (Kass, 1995).

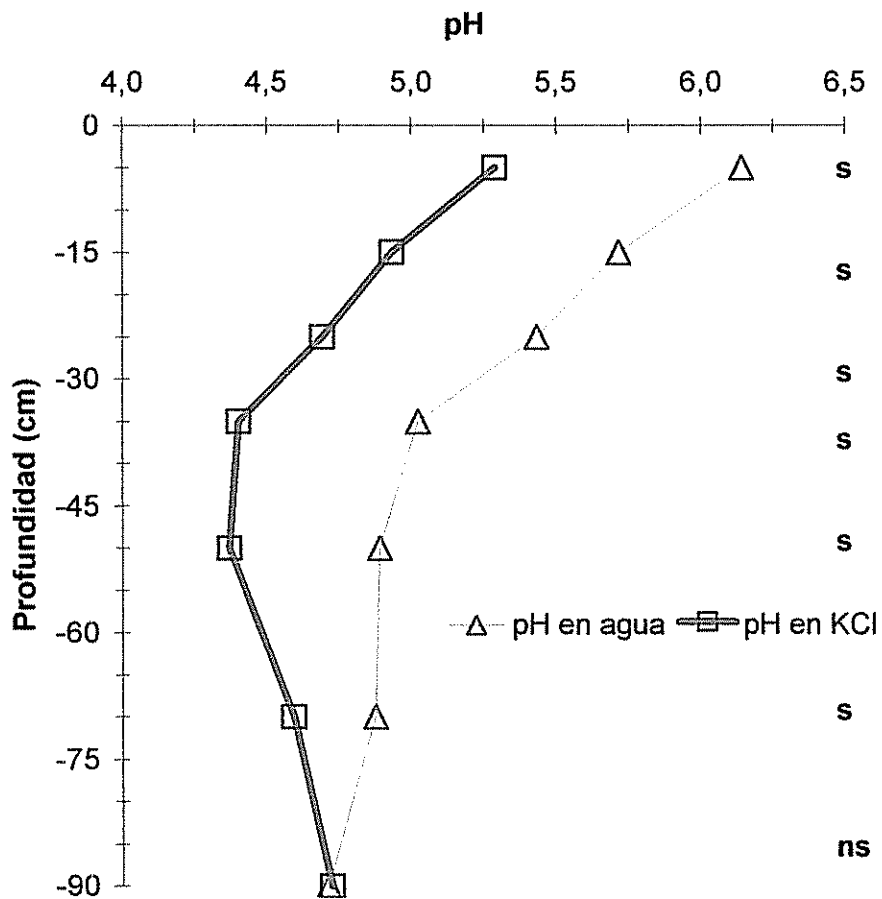


Figura 15. Valores de pH en agua y en KCl encontrados en suelo de Santa Fé

La extracción de nitratos en agua y KCl no mostró diferencias significativas a ninguna profundidad ni siquiera en el estrato de 80-100 cm entonces el suelo estudiado no posee cargas positivas hasta 1m. El desarrollo de cargas en estos suelos con silicatos 1:1

(caolinitas) está más influenciado por dependencia del pH que por sustitución isomórfica la cual es de poca importancia en estos suelos (Kass, 1995).

En el cuadro 2 se puede constatar que el contenido de nitratos en el suelo es muy alto 130 kg ha⁻¹ hasta 1 m y no parece disminuir con la profundidad, lo que hace suponer que mucho de estos nitratos vienen de la acumulación de años de fertilización, estos resultados concuerdan con los valores encontrados en suelos del Valle Central por Reynolds-Vargas (1995). Anualmente se aplican 263 Kg/ha dividido en tres aplicaciones de 59 kg/ha de fórmula 18-3-15 (como nitrato de amonio) y una aplicación de 86 Kg/ha de Nutrán (nitrato de amonio con 33.5% de N-NO₃).

Cuadro 2. Concentraciones de nitrógeno nítrico en muestras de suelos del sistema café a pleno sol y café con eucalipto. Finca Santa Fé.

Profundidad (cm)	10	20	30	40	60	80	100	TOTAL
Eucalipto (mg kg⁻¹)	13,67	16,37	13,27	9,81	12,41	10,67	22,53	
Pleno sol (mg kg⁻¹)	25,81	20,59	17,77	16,02	15,32	8,28	12,59	
Densidad aparente	0,81	0,81	0,86	0,94	0,96	0,97	0,93	
Densidad de partículas	2,46	2,46	2,50	2,54	2,60	2,64	2,64	
Porosidad	0,67	0,67	0,66	0,63	0,63	0,63	0,65	
Eucalipto (mg l⁻¹) suelos	16,51	19,78	17,43	14,53	18,97	16,39	32,44	
Pleno sol (mg l⁻¹) suelos	31,17	24,88	23,34	23,72	23,42	12,72	18,13	
Eucalipto (kg ha⁻¹)	11,07	13,26	11,43	9,18	23,88	20,73	42,00	131,55
Pleno sol (kg ha⁻¹)	20,91	16,68	15,31	14,99	29,48	16,08	23,48	136,93

Este año por variaciones en el precio del café sólo se han realizado las dos primeras aplicaciones. Se ha comprobado que los nitratos van descendiendo en el perfil durante la estación lluviosa. La velocidad a la que esto ocurre fluctúa entre 0.5 y 5 mm/mm de lluvia, según sea el suelo más o menos arenoso (Bertsch. 1995). Aunque muchas arcillas en los trópicos actúan como arenas por estar muy bien agregadas, en lo que se refiere a la retención de agua, cuando se trata de pérdidas de N mineralizado, el fenómeno es más lento porque los nitratos deben moverse, a través de los microporos antes de llegar a los

macroporos donde estarán expuestos a la lixiviación. Si existe algún grado de capacidad de intercambio aniónica aunque sea en el subsuelo, la lixiviación de nitratos hacia aguas freáticas puede reducirse. Entonces, aunque el contenido de nitratos en el suelo en este estudio se refiere a la concentración de estos en el agua libre (macroporosidad) y en el agua ligada (microporosidad) existe la posibilidad de que alguna cantidad de nitratos se encuentre adsorbido en las capas más profundas; mayores de 1 metro que es la profundidad máxima muestreada, esta hipótesis se sustenta en lo discutido anteriormente con relación al punto de carga cero.

4.3 Concentración de nitratos en agua de lixiviación

Al comparar eucalipto y pleno sol en la figura 16 se observa un ligero incremento de la concentración de N-NO₃ nitratos a 30 cm se observa que a 30 y 120 cm de profundidad las concentraciones de nitratos son más altas en el suelo (donde hay nitratos del agua libre (macroporos) + nitratos del agua ligada (microporos)). Este aumento puede atribuirse a una concentración mayor en el agua ligada, puesto que estos suelos son franco-arcillo-arenosos (ver anexos), y suelos con limos bien estructurados y arcillosos retienen grandes cantidades de nitratos contra la lixiviación, debido a que el agua percolada descende a través las fisuras y macroporos entre los agregados del suelo; además, debido a que la mayoría de los nitratos son formados en dichos agregados, éstos pueden entrar a la solución del suelo sólo por difusión el cual es un proceso muy lento (Russel, 1973).

A 120 cm de profundidad en el agua de lixiviación hay disminución de nitratos lo que posiblemente responde a la denitrificación, pues bajo condiciones naturales anaeróbicas la denitrificación equilibra la percolación hacia abajo del exceso de nitratos a través del suelo (Liptrot, 1988). La velocidad de la denitrificación biológica depende de las condiciones edafológicas, tanto por su acción indirecta, como por su influencia sobre los microorganismos participantes. Se ha establecido que ocurre bajo condiciones de alta humedad, o sea, donde hay una alta pluviosidad (Bertsch, 1995). Es posible que este factor contribuya a este proceso pues en Santa Fé se tiene una precipitación anual de 4039 mm. A pesar que se conoce que la denitrificación es mínima a pH abajo de 4.8, es posible que los organismos denitrificantes, que ocupan el oxígeno de los nitratos como receptores de hidrógeno, se adapten a estas condiciones de acidez.

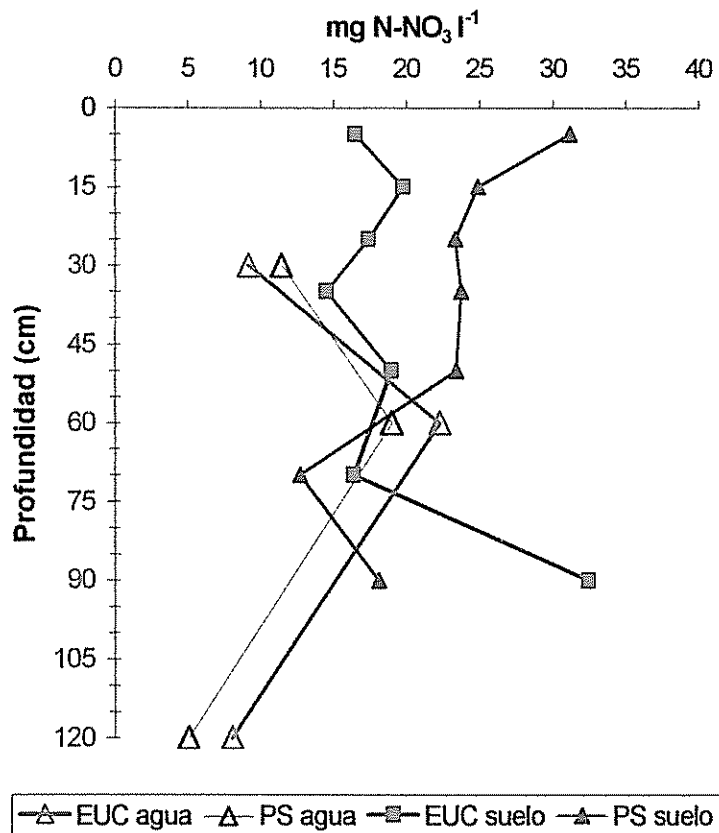


Figura 16. Concentración de N-NO₃ en el suelo y en el agua de lixiviación en dos tratamientos pleno sol (PS) y café con eucalipto (EUC) en la finca Santa Fé.

Es importante señalar que de los lisímetros colocados en las parcelas funcionaron perfectamente entre 2 y 3 de 6 colocados en las profundidades de 30 y 60 cm además los datos fueron muy variables, a 120 cm entre 4 y 5 de 6 lisímetros funcionaron entonces los resultados a esta profundidad son mucho más confiables que a 30 y 60 cm

2.2 Nitratos en el agua de lixiviación

En la figura 17 se muestran las variaciones en concentración de N-NO₃ durante los meses de julio y agosto; después de la segunda fertilización pasó un mes para que la concentración de nitratos aumentara a 30 cm de profundidad. En esta figura se verifica que buena parte del nitrógeno procedente de la fertilización de julio y agosto queda en la solución del suelo a poca profundidad, ya que no hay alta cantidad de lluvia para lixiviar el

nutrimento a mayores profundidades. Las concentraciones de nitratos en el agua libre a 1.20 cm fue de 10 mg/l, mucho más baja que en el suelo a 60 cm pero más alto que a nivel de nacientes. Aunque debe existir una dilución a nivel de la mesa freática, es probable que también haya pérdidas por denitrificación a todo lo largo del perfil en diferentes cantidades, dependiendo de la época y otros factores ligados a la naturaleza del suelo, trayendo como consecuencia que sólo una pequeña parte se lixivie hasta el agua freática que surge en las nacientes. La capacidad de infiltración varía con el tiempo, dependiendo del contenido de humedad del suelo. Durante la infiltración se llenan primero los microporos por las fuerzas de tensión que producen succión, luego se llenan los macroporos y se va reduciendo la capacidad de infiltración. Según el análisis de porosidad de los suelos estudiados esta es muy alta. Los macroporos son los que ceden el agua a los acuíferos y este drenaje va a depender del tipo de suelo si es muy arcilloso drena lentamente, si es arenoso el proceso será más rápido (Solís, 2000).

Entonces por sus características: franco arcillo arenosos en las capas más superficiales y arcillosos en las más profundas, los nitratos y formas de nitrógeno depositadas en la superficie drenarán más rápidamente en la capa arable hasta 30 cm y más abajo, donde el suelo es arcilloso, la infiltración será más lenta. Además la gran cantidad de macro y microporos disminuirá la velocidad de infiltración del agua, por el proceso de llenado de los mismos.

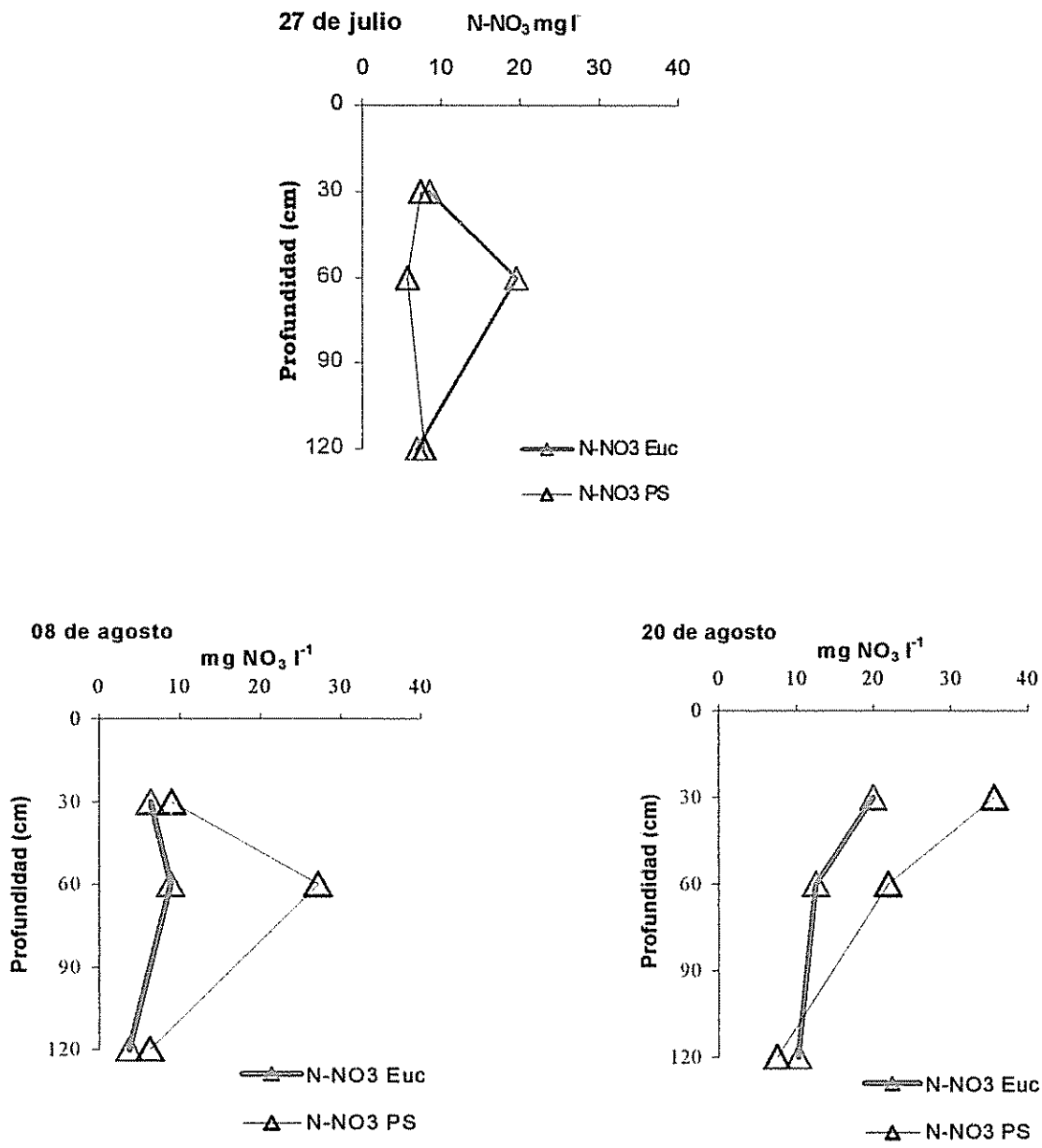


Figura 17. Valores de concentración de N-NO₃ en el agua de lixiviación en el mes de agosto, después de la segunda fertilización

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Las concentraciones de nitratos encontradas en aguas de origen freático y en aguas superficiales representan contaminación procedente de la fertilización química nitrogenada sobre los cafetales.
- La pérdida de nitratos hacia aguas freáticas y superficiales en los sistemas de café con eucalipto estudiados se ve influenciada por la interacción de diversos factores propios de la zona como el régimen de lluvias, las características del suelo y la historia de fertilización del cultivo. Los sistemas de café con eucalipto con mayor historia de fertilización química nitrogenada parecen tener mayor efecto sobre la contaminación de aguas freáticas y superficiales con nitratos.
- La sombra de *Eucalyptus deglupta* en el sistema de café con sombra parece disminuir el contenido de nitratos del suelo, lo cual puede reducir las pérdidas de nitratos por lixiviación.
- El nivel de contaminación por nitratos encontrado en el agua estudiada no llega a ser tóxico para los seres humanos, pero sí puede causar eutrofización de las aguas al encontrarse valores mayores al límite máximo al que ocurre este fenómeno.
- Los bajos niveles de nitratos encontrados en el agua pueden deberse en parte a la alta acumulación de este compuesto en el perfil del suelo y a las pérdidas por desnitrificación.
- La concentración de nitratos en el agua freática sufren una dilución a consecuencia del mayor volumen en la mesa freática, resultando en bajas concentraciones de nitratos en el agua de las nacientes a pesar de la alta concentración de nitratos encontrados en el agua libre del suelo.

- El estudio se realizó bajo un sistema de café con eucalytus deglupta, con un solo tipo de manejo y un tipo de ambiente muy específico. Los resultados son en este sentido muy particulares.

5.2 Recomendaciones

- Es importante continuar con un seguimiento en el tiempo de la contaminación de aguas freáticas y superficiales con nitratos en estos sistemas con el fin estudiar el ciclo completo de fertilización nitrogenada.
- La zona de muestreo puede reducirse con el fin de poder monitorear el comportamiento de todas las entradas y salidas de nitratos en el sistema de café con eucalipto.
- La profundidad de los perfiles del suelo analizados puede aumentarse para evaluar hasta que profundidad se acumulan los nitratos y sus concentraciones.
- Las pérdidas por denitrificación pueden ser el mayor flujo de nitrógeno como sugieren Babbar y Zak con sus estudios a nivel de laboratorio, y este estudio lanza indicios sobre este supuesto, pero es necesario profundizar particular y directamente sobre este proceso con mediciones a nivel de campo.
- Estudiar la mineralización del nitrógeno del suelo bajo los sistemas de café con eucalipto y en pleno sol para tener datos reales del nitrógeno proveniente de la materia orgánica del suelo y verificar la influencia del eucalipto sobre la disponibilidad de nitrógeno en el suelo.
- Es posible que la cantidad de lluvia durante el tiempo de muestreo haya sido insuficiente para llegar al punto de saturación de los suelos que son muy porosos para permitir una lixiviación rápida de los nitratos, pero esto debe ser estudiado más profundamente, extendiendo los muestreos en el tiempo y realizando estudios de suelos más específicos, como medición de tamaño de poro, para analizar mejor la dinámica biofísica en ellos.
- Construir un modelo de balance hídrico para medir la lixiviación.

6. LITERATURA CITADA

- Aguilar C., A. 2000. Evaluación de sistemas agroforestales con café asociado con *Eucalyptus deglupta* o *Terminalia Ivoensis* e implicaciones metodológicas. Tesis Msg. Sc. Turrialba, C.R. CATIE. 73 p.
- Agrawal, GD.; Lunkad, SK. ; Malkhed, T. 1997. Diffuse Agricultural Nitrate Pollution of Ground-Waters in India. Institute of Environmental Science. Kurukshetra, India. 14p.
- American Public Health Association. 1963. Métodos estándar para el exámen de aguas de desecho. American water Pollution Control Federation. México. Interamericana, S.A. 573 p.
- Babbar, LI.; Zak, DR. 1995. Nitrogen loss from coffee agroecosystem in Costa Rica: leaching and denitrification in the presence and absence of shade trees. Journal of Environmental Quality 24 (2): 227-233.
- Bertrand, B.; Rapidel, B. 1999. Desafíos de la caficultura en Centroamérica. PROMECAFE: CIRAD: IRD: CCC. FRANCIA. VII. Título. 496p.
- Berdén, M.; Ingvar N., S.; Nyman, P. 1997. Ion leaching before and after clear-cutting in a Norway spruce stand-effects of long-term application of ammonium nitrate and superphosphate. Water, Air and Soil Pollution 93: 1-26.
- Bertsch, F. 1995. Asociación Costarricense de la ciencia de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del suelo. San José. Costa Rica
- Boyce, JK.; Fernández, A.; Furst, E.; Segura B., O. 1994. Café y desarrollo sostenible del cultivo agroquímico a la producción orgánica en Costa Rica. Heredia, Costa Rica. EFUNA. 248 p.

- Chinchilla, V. E. 1987. Mapa del geográfico de los cantones de Buenos Aires y Pérez Zeledón. Esc. 1:250.000. 2h. color. *In Atlas Cantonal de Costa Rica*. San José, CR. Instituto de Fomento y Asesoría Municipal.
- Donahue, RL.; Miller, RW.; Shickluna, JC. 1987. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Ed. JU Miller. Trad. J Peña. México. PRENTICE-HALL. 624 p
- Fassbender, H.W.; Bornemisza, E. 1987 Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Colección de libros y materiales educativos no 81, San José, C.R. IICA 420 p.
- FERTICA (Fertilizantes Centroamericanos).2001. Composición química de los fertilizantes de FERTICA. Webpage [http:// fertica.com.fertil.htm](http://fertica.com.fertil.htm).
- Grandlund, k.;Rekolainen, S.; Gröroos,J.; Nikander, A.; Line, I. 1999. Estimatin of the impact of fertilization rate on nitrate leaching in Finland using a mathematical simulation model. *Agriculture Ecosystems & Environment* no. 80: 1-13.
- Hem, J.D. 1989. Study and Interpretation of the Chemical Charasteristics o Natural Water. United States Geological Survey Water Suplay, paper 2254. Third edition 263 p.
- ICAFE (Instituto de café de Costa Rica). 1999. Manual de recomendaciones par el cultivo del café. Costa Rica. 194 p.
- Jiménez, F. 2000. Apuntes de clase del curso de Agroambiente. El agua en el suelo. Turrialba, Costa Rica. 27 p.
- Kass, D. 1999. Apuntes de clase del curso Manejo de Suelos Tropicales. Turrialba, Costa Rica.
- Liptrot, G.F. 1988. Química Inorgánica Moderna. Trad. G Sánchez Garduño. 5ed. México. Continental S.A. de C.V. 568 p.

- MAG, 2000. Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica. Código de Buenas Prácticas Agrícolas. Webpage <http://www.mag.go.cr/>
- Mendoza, M.A. 1996. Impacto del uso de la tierra, en la calidad del agua de la microcuenca Río Sabalo, Cuenca del Río San Juan, Nicaragua. Tesis Msg. Sc. Turrialba, C.R. CATIE. 81 p.
- Myers, C.; Meek, J.; Tuller, S.; Weinberg, A. 1985. Journal of Soil and Water Conservation. 40 (1): 14-18.
- Petterjhon, W.; Correll, D. 1984. Nutrient dynamics in an agricultural watershed observations on the role of a riparian forest. Ecology 65 (5): 1466-1475
- Ramos, C.; Ocio A., J.A. 1992. La agricultura y la contaminación de las aguas por nitrato. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. Hojas divulgadoras. n 7/92. 32p.
- Reiche, E.W. 1997. Nitrate leaching from agricultural ecological modelling on catchment scale. Ecosystem Research Center. Kiel, Alemania. 17p.
- Reynolds-Vargas, J.S.; Ritcher, D.D.; Bornemisza, E. 1994. Environmental impacts of nitrification and nitrate adsorption in fertilized andisols in the Valle Central of Costa Rica. Soil Science. 157 (52): 289-299.
- Russel, W. 1976. Soil Condition and Plant Growth. 10ed. Hong Kong. 849p.
- Solís, H. 2000. Apuntes de clase del curso Base Hidrológicas para el Manejo de Cuencas Hidrográficas. Turrialba, Costa Rica.
- Villegas, J.G. 1995. Evaluación de la calidad del agua en la cuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica, bajo el enfoque de indicadores de sostenibilidad. Tesis Msc. Turrialba, C. R., CATIE. 143 p.

Vitousek, P.M.; Aber, J; Howarth, R.O.; Likens, G.E.; Matson, P.A.; Schindler, D.W.; Schlesinger, W.H.; Tilman, G.D. 1997. Human Alteration of the Global Cycle: Causes and Consequences. *Issues in Ecology* no 1: 1-15.

Wong, J.E.C.; Chan, CWY; Cheung, KC. 1997. Nitrogen and phosphorus leaching from fertilizer applied on golf course: lysimeter study. *Water, Air and Soil Pollution* 107: 335-345.

Zebarth, B.J.; Hii, B.; Liebscher, H.; Chipperfield, K.; Paul, JW.; Grove, G.; Szeto, SY. 1998. Agricultural land use practices and nitrate contamination in the Abbotsford Aquifer, British Columbia, Canada. *Agriculture Ecosystem & Environment*. 69: 99-112

ANEXOS



TEL: (506) 5562877. FAX (506)5561533. [Http://www.catie.ac.cr](http://www.catie.ac.cr)

No reporte:
Emisión:

NR01-026-ORIG.
28/03/01

Nombre Cliente: Jean-Michel Harmand/ Vanessa Renderos.
Dirección del sitio: Pérez Zeledón, San José
Tipo de muestra: Aguas de quebrada y fuentes.
Fecha Ingreso: 22/03/2001
Fecha Análisis: 22/03/2001
Método Análisis: Nitratos y Amonio por destilación con Oxido de Magnesio y Aleación Devarda.

No. Ident.	Finca	Uso de la tierra	Ubicación	N-NH4 N-NO3	
				—mg/L—	
1	Verde Vigor	café con sombra	parcela 28	0,07	0,12
2	Verde Vigor	café con sombra	parcela 36 abajo curva	0,08	0,15
3	Verde Vigor	café con sombra	parcela 30 izq. de 26	0,08	0,13
4	Verde Vigor	café con sombra	parcela 31 abajo	0,08	0,14
5	Verde Vigor	café con sombra	parcela 31 arriba	0,08	0,28
6	Verde Vigor	café con sombra	parcela 155 abajo	0,08	0,16
7	Verde Vigor	café con sombra	parcela 21 abajo	0,07	0,29
8	cerca de v.v	caña con matorral	primera quebrada al entrar	0,07	0,12
9	Santa Fé	café con sombra	quebrada principal	0,08	0,48
10	Santa Fé	café con sombra	quebrada principal	0,09	0,66
11	Santa Fé	café con sombra	quebrada principal+ adelan	0,08	0,72
12	Santa Fé	resembrando café	quebrada secundaria	0,11	1,17
13	Santa Fé	a nivel del bosque	fuelle quebrada	0,09	0,99
14	Santa Fé	café con sombra	quebrada puente concreto	0,11	0,64
15	Santa Fé	bosque talado arriba	quebrada al final finca	0,09	0,18
16	Santa Fé	café con sombra	quebrada secundaria 2	0,09	1,40
17	Santa Fé	café con sombra	quebrada secundaria 3	0,08	1,44
19	boque carretera	pastizal	fuelle- abrevadero	0,09	0,68
20	boque carretera	bosque	riachuelo en curva	0,07	0,13
21	boque carretera	bosque	cascada turbulenta	0,12	0,23
22	boque carretera	bosque	fuelle	0,07	0,30
23	boque carretera	bosque montaña	quebrada	0,08	0,26
24	boque carretera	bosque montaña	quebrada	0,14	0,15

Los resultados anteriores corresponden a las muestras ingresadas al laboratorio por el cliente.
La muestra 18 no existe.

fecha de muestreo 24 y 25 de Abril del 2000

No. ident.	Finca	N-NO3	Descripción parcela
1	Verde Vigor	0,23	21 arriba adentro
2	Verde Vigor	0,47	21 arriba cerca calle b
3	Verde Vigor	0,28	21 abajo quebrada cerca del 27 c
4	Verde Vigor	0,10	28 arriba quebrada
5	Verde Vigor	0,17	27 quebrada en curva
6	Verde Vigor	0,10	21 quebrada
7	Verde Vigor	0,35	21 abajo quebrada
8	Verde Vigor	0,12	36 arriba
9	Verde Vigor	0,13	29 abajo
10	Verde Vigor	0,13	30 arriba
11	Verde Vigor	0,09	36
12	Verde Vigor	0,10	37 abajo
13	Verde Vigor	0,32	31 arriba nacimiento adentro
14	Verde Vigor	0,30	31 arriba poza afuera
15	Verde Vigor	0,42	30 arriba quebrada
16	Verde Vigor	0,66	145 fuente
17	Verde Vigor	0,07	155 fuente dentro del cafetal
18	Verde Vigor	0,08	155 cerca del bosque
19	Santa fe	0,80	101 arriba quebrada ppal.
20	Santa fe	0,92	101 en cruce
21	Santa fe	0,98	102 quebrada ppal.
22	Santa fe	0,96	102 quebrada ppal.
23	Santa fe	1,64	105 afluente
24	Santa fe	1,92	pedra grande fuente
25	Santa fe	1,82	mas adentro piedra grande
26	Santa fe	0,92	quebrada en cruce
27	Santa fe	0,72	naciente quebrada principal pejibaye
28	Santa fe	0,40	puente de madera a la par del bosque
29	Santa fe	0,96	mas delante de la anterior
30	Santa fe	1,68	quebrada que se divide en dos
31	Santa fe	1,39	quebrada en cruce puente de piedras
32	Santa fe	2,24	quebrada lado izquierdo
33	Santa fe	1,16	quebrada que se divide en dos, union
34	Santa fe	0,78	efluente izquierdo
35	Santa fe	1,30	efluente derecho

No reporte: NR01-068-ORIG.
Emisión: 24/05/01

Nombre Cliente: Jean-Michel Harmand, Vanessa Renderos.
Dirección del sitio: Pérez Zeledón, Fincas Verde Vigor y Santa Fé, San José.
Tipo de muestra: Fuentes naturales.
Fecha Ingreso: 23/05/2001
Fecha Análisis: 23/05/2001
Método Análisis: Destilación con Oxido de Magnesio y Aleación Devarda.



No. Laboratorio	No. Ident.	Finca	N-NO3 mg/L
LS01-0 604	1	V.V.	0.92
LS01-0 605	2	V.V.	1.48
LS01-0 606	3	V.V.	1.16
LS01-0 607	4	V.V.	2.19
LS01-0 608	5	V.V.	0.94
LS01-0 609	6	V.V.	1.09
LS01-0 610	7	V.V.	1.74
LS01-0 611	8	V.V.	1.20
LS01-0 612	9	V.V.	1.05
LS01-0 613	10	V.V.	1.26
LS01-0 614	11	V.V.	1.02
LS01-0 615	12	V.V.	1.52
LS01-0 616	13	V.V.	2.28
LS01-0 617	14	V.V.	1.29
LS01-0 618	15	V.V.	1.26
LS01-0 619	16	V.V.	0.60
LS01-0 620	17	S.F.	1.29
LS01-0 621	18	S.F.	1.59
LS01-0 622	19	S.F.	2.66
LS01-0 623	20	S.F.	2.33
LS01-0 624	21	S.F.	1.99
LS01-0 625	22	S.F.	1.54
LS01-0 626	23	S.F.	1.04
LS01-0 627	24	S.F.	1.37
LS01-0 628	25	S.F.	5.80
LS01-0 629	26	S.F.	2.17
LS01-0 630	27	S.F.	1.17
LS01-0 631	28	S.F.	1.07
LS01-0 632	29	S.F.	1.48
LS01-0 633	30	S.F.	1.66
LS01-0 634	31	S.F.	1.64
LS01-0 635	32	S.F.	1.62
LS01-0 636	33	S.F.	2.11
LS01-0 637	34	S.F.	0.98

Los resultados anteriores corresponden a las muestras ingresadas al laboratorio por el cliente.

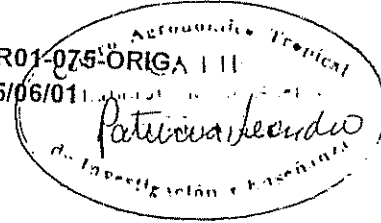


LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, VEGETAL Y AGUAS

TEL: (506) 5562877. FAX (506)556... Http://www.catie.ac.cr

No reporte:
Emisión:

NR01-075-ORIGAL II
05/06/01



Nombre Cliente: Jean-Michel Harmand, Vanessa Renderos.
Dirección del sitio: Pérez Zeledón, Fincas Verde Vigor y Santa Fé, San José.
Tipo de muestra: Fuentes naturales.
Fecha Ingreso: 30/05/2001
Fecha Análisis: 30/05/2001
Método Análisis: Destilación con Oxido de Magnesio y Aleación Devarda.

Table with columns: No. laboratorio, No. Ident., N-NH4, N-NO3, and mg/l. It lists 21 samples from Verde Vigor and Santa Fé locations with their respective nitrogen levels.

Los resultados anteriores corresponden a las muestras ingresadas al laboratorio por el cliente.
N.D.: No detectado.

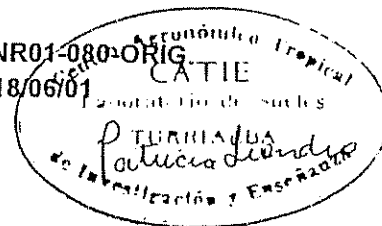
CATIE

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, TEJIDO VEGETAL Y AGUAS

TEL: (506) 5562877. FAX (506)5561533. [Http://www.catie.ac.cr](http://www.catie.ac.cr)

No reporte:
Emisión:

NR01-080-ORIG
18/06/01



Nombre Cliente: Jean-Michel Harmand, Vanessa Renderos.
Dirección del sitio: Pérez Zeledón, Fincas Verde Vigor y Santa Fé, San José.
Tipo de muestra: Nacientes y quebradas.
Fecha Ingreso: 13/06/2001
Fecha Análisis: 13/06/2001
Método Análisis: Destilación con Oxido de Magnesio y Aleación Devarda.

No. Laboratorio	No. Ident.		N-NO3 mg/L
LS01-0 766	1	Verde Vigor	3.17
LS01-0 767	2	Verde Vigor	0.68
LS01-0 768	3	Verde Vigor	2.47
LS01-0 769	4	Verde Vigor	0.78
LS01-0 770	5	Verde Vigor	0.82
LS01-0 771	6	Verde Vigor	0.63
LS01-0 772	7	Verde Vigor	1.28
LS01-0 773	8	Santa Fé	1.66
LS01-0 774	9	Santa Fé	1.83
LS01-0 775	12	Santa Fé	2.45
LS01-0 776	14	Santa Fé	1.46
LS01-0 777	15	Santa Fé	1.72
LS01-0 778	18	Santa Fé	1.07
LS01-0 779	20	Verde Vigor	1.08
LS01-0 780	21	Verde Vigor	0.72

Los resultados anteriores corresponden a las muestras ingresadas al laboratorio por el cliente.

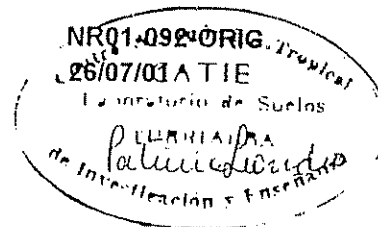


LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, TEJIDO VEGETAL Y AGUAS

TEL: (506) 5562877. FAX (506)5561533. Http://www.catie.ac.cr

No reporte:

Emisión:



Nombre Cliente: Jean-Michel Harmand, Vanessa Renderos.
Dirección del sitio: Pérez Zeledón, San José.
Tipo de muestra: Quebradas.
Fecha Ingreso: 17/07/2001
Fecha Análisis: 18/07/2001
Método Análisis: Destilación con Oxido de Magnesio y Aleación Devarda.

No. Laboratorio	No. Ident.	N-NO3 mg/L
LS01- 1038	1 B	0.20
LS01- 1039	2 B	0.17
LS01- 1040	3 B	0.05
LS01- 1041	4 B	0.41
LS01- 1042	5 B	0.07

Los resultados anteriores corresponden a las muestras ingresadas al laboratorio por el cliente.

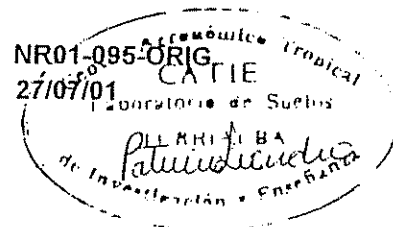
CATIE

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, TEJIDO VEGETAL Y AGUAS

TEL: (506) 5562877. FAX (506)5561533. Http://www.catie.ac.cr

No reporte:

Emisión:



Nombre Cliente: Jean-Michel Harmand, Vanessa Renderos.
 Dirección del sitio: Pérez Zeledón, San José.
 Tipo de muestra: Río.
 Fecha Ingreso: 26/07/2001
 Fecha Análisis: 26/07/2001
 Método Análisis: Destilación con Oxido de Magnesio y Aleación Devarda.

No. laboratorio	No. Ident.		N-NO3 mg/L
LS01- 1047	1	V. V.	0.48
LS01- 1048	2	V. V.	0.47
LS01- 1049	3	V. V.	0.40
LS01- 1050	4	V. V.	0.82
LS01- 1051	5	V. V.	0.64
LS01- 1052	6	V. V.	0.67
LS01- 1053	7	V. V.	0.45
LS01- 1054	8	V. V.	0.49
LS01- 1055	9	V. V.	0.33
LS01- 1056	10	V. V.	0.65
LS01- 1057	11	S. F.	1.19
LS01- 1058	12	S. F.	1.39
LS01- 1059	13	S. F.	2.36
LS01- 1060	14	S. F.	1.98
LS01- 1061	15	S. F.	0.70
LS01- 1062	16	S. F.	1.54
LS01- 1063	17	S. F.	1.91
LS01- 1064	18	S. F.	0.73
LS01- 1065	19	S. F.	0.74
LS01- 1066	20	S. F.	0.70
LS01- 1067	1 B	bosque <i>quebrantales</i>	0.06
LS01- 1068	2 B	bosque <i>la zona de</i>	0.37
LS01- 1069	3 B	bosque <i>de la zona de</i>	0.08
LS01- 1070	4 B	bosque <i>"</i>	0.12
LS01- 1071	5 B	bosque <i>la zona de</i>	0.21

Los resultados anteriores corresponden a las muestras ingresadas al laboratorio por el cliente.

CATIE

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, TEJIDO VEGETAL Y AGUAS

TEL: (506) 5562877. FAX (506)5561533. [Http://www.catie.ac.cr](http://www.catie.ac.cr)

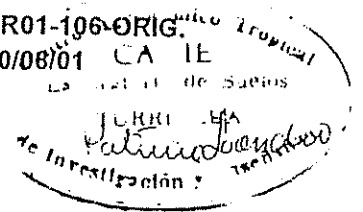
No reporte:

NR01-106-ORIG.

Emisión:

10/08/01

Nombre Cliente: Jean-Michel Harmand, Vanessa Renderos.
Dirección del sitio: Pérez Zeledón, San José y Tuis, Turrialba.
Tipo de muestra: Rio.
Fecha Ingreso: 07/08/2001
Fecha Análisis: 08/08/2001
Método Análisis: Destilación con Oxido de Magnesio y Aleación Devarda.



No. laboratorio	No. Ident.		N-NO3 mg/L
LS01- 1224	1 B	Bosque	0.20
LS01- 1225	2 B	Bosque	0.34
LS01- 1226	3 B	Bosque	0.09
LS01- 1227	4 B	Bosque	0.10
LS01- 1228	5 B	Bosque	0.21
LS01- 1229	6	Verde Vigor	0.52
LS01- 1230	7	Verde Vigor	0.43
LS01- 1231	8	Verde Vigor	0.42
LS01- 1232	9	Verde Vigor	0.69
LS01- 1233	10	Verde Vigor	0.47
LS01- 1234	11	Verde Vigor	0.45
LS01- 1235	12	Verde Vigor	0.35
LS01- 1236	13	Verde Vigor	0.67
LS01- 1237	14	Verde Vigor	0.66
LS01- 1238	15	Verde Vigor	0.86
LS01- 1239	16	Santa Fé	1.20
LS01- 1240	17	Santa Fé	1.28
LS01- 1241	18	Santa Fé	2.43
LS01- 1242	19	Santa Fé	1.85
LS01- 1243	20	Santa Fé	0.67
LS01- 1244	21	Santa Fé	1.94
LS01- 1245	22	Santa Fé	1.80
LS01- 1246	23	Santa Fé	0.72
LS01- 1247	24	Santa Fé	0.84
LS01- 1248	25	Santa Fé	0.75
LS01- 1249	26	Tuis	0.43
LS01- 1250	27	Tuis	0.60
LS01- 1251	28	Tuis	0.41
LS01- 1252	29	Tuis	1.21
LS01- 1253	30	Tuis	1.05
LS01- 1254	31	Tuis	0.54
LS01- 1255	32	Tuis	0.65
LS01- 1256	33	Tuis	0.73

John Grande (firma)
Verde Vigor
Santa Fé 2
Tuis

Los resultados anteriores corresponden a las muestras ingresadas al laboratorio por el cliente.

CATIE

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, TEJIDO VEGETAL Y AGUAS

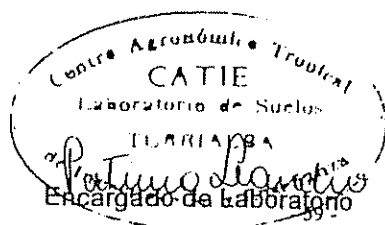
TEL: (506) 5562877. FAX (506)5561533. Http://www.catie.ac.cr

No. Reporte: NR01-105-ORIG.
Emisión: 22/08/2001

Nombre Cliente: Vanessa Renderos.
Dirección del sitio/finca: Pérez Zeledón, San José.
Tipo de muestra: Suelo
Fecha Ingreso: 07/08/2001
Fecha Análisis: 08 y 17/08/2001
Método Análisis: Nitrato extraído en KCL 2N y determinado por destilación con Oxido de Magnesio y Aleación Devarda.

No. Lab.	No. Ident.	N-NO3 mg/kg	HUMEDAD %	N-NO3 mg/kg	HUMEDAD %	No. Ident.	No. Lab.
SUELO HUMEDO				SUELO SECO			
01-	1200	PS 1h	9.6	28.9	15.5	14.8	PS 1h LS01- 1212
01-	1201	PS 2h	37.2	34.1	45.8	16.6	PS 2h LS01- 1213
01-	1202	PS 3h	25.2	32.2	37.8	16.0	PS 3h LS01- 1214
01-	1203	PS 4h	49.8	34.7	60.5	17.1	PS 4h LS01- 1215
01-	1204	PS 5h	5.3	31.5	14.7	17.4	PS 5h LS01- 1216
01-	1205	PS 6h	10.1	31.3	19.6	15.9	PS 6h LS01- 1217
01-	1206	Eu 1h	245	35.9	273	17.5	Ev 1h LS01- 1218
01-	1207	Eu 2h	97	36.6	112	23.3	Ev 2h LS01- 1219
01-	1208	Eu 3h	15.9	33.9	24.9	19.5	Ev 3h LS01- 1220
01-	1209	Eu 4h	7.7	31.9	13.3	13.4	Ev 4h LS01- 1221
01-	1210	Eu 5h	18.9	30.6	27.8	14.4	Ev 5h LS01- 1222
01-	1211	Eu 6h	82.4	33.5	99.0	16.2	Ev 6h LS01- 1223

resultados anteriores corresponden a las muestras ingresadas al laboratorio por el cliente.



CATIE

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, TEJIDO VEGETAL Y AGUAS

TEL: (506) 5562877. FAX (506)5561533. Http://www.catie.ac.cr

No. Reporte: NR01-109-ORIG.
Emisión: 22/08/2001

Nombre Cliente: Vanessa Renderos.
Dirección del sitio/finca: Pérez Zeledón, San José.
Tipo de muestra: Suelo
Fecha Ingreso: 08/08/2001
Fecha Análisis: 17/08/01
Método Análisis: Nitrato extraído en KCL 2N y determinado por destilación con Oxido de Magnesio y Aleación Devarda.

No. Lab.	No. Ident.	Prof. cm	N-NO3 mg/kg	HUMEDAD %
SUELO SECO				
Pleno Sol				
LS01- 1269	PS 5	0-10	59.9	7.8
LS01- 1270	PS 5	10-20	73.1	7.9
LS01- 1271	PS 5	20-30	67.1	8.0
LS01- 1272	PS 5	30-40	42.4	7.9
LS01- 1273	PS 5	40-60	31.3	9.0
LS01- 1274	PS 5	60-80	17.6	10.7
LS01- 1275	PS 5	80-100	23.4	5.5
Eucalipto				
LS01- 1276	Eu 4	0-10	14.8	7.4
LS01- 1277	Eu 4	10-20	29.6	8.2
LS01- 1278	Eu 4	20-30	14.7	7.9
LS01- 1279	Eu 4	30-40	17.3	7.2
LS01- 1280	Eu 4	40-60	30.9	9.1
LS01- 1281	Eu 4	60-80	29.3	6.3
LS01- 1282	Eu 4	80-100	28.2	5.8

Los resultados anteriores corresponden a las muestras ingresadas al laboratorio por el cliente.



CATIE

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, TEJIDO VEGETAL Y AGUAS

TEL: (506) 5562877. FAX (506)5561533. [Http://www.catie.ac.cr](http://www.catie.ac.cr)

No reporte: NR01-114-ORIG.
Emisión: 22/08/01

Nombre Cliente: Vanessa Renderos.
Dirección del sitio: Pérez Zeledón, San José.
Tipo de muestra: Aguas, naturales y nacientes.
Fecha Ingreso: 20/08/2001
Fecha Análisis: 20/08/2001
Método Análisis: Destilación con Oxido de Magnesio y Aleación Devarda.

No. laboratorio	No. Ident.		N-NO3 mg/L
LS01- 1310	1 B	Bosque	0.13
LS01- 1311	2 B	Bosque	0.28
LS01- 1312	3 B	Bosque	0.03
LS01- 1313	4 B	Bosque	0.16
LS01- 1314	5 B	Bosque	0.33
LS01- 1315	6	Verde Vigor	0.54
LS01- 1316	7	Verde Vigor	0.43
LS01- 1317	8	Verde Vigor	0.45
LS01- 1318	9	Verde Vigor	0.87
LS01- 1319	10	Verde Vigor	0.43
LS01- 1320	11	Verde Vigor	0.49
LS01- 1321	12	Verde Vigor	0.30
LS01- 1322	13	Verde Vigor	0.72
LS01- 1323	14	Verde Vigor	0.58
LS01- 1324	15	Verde Vigor	0.76

Los resultados anteriores corresponden a las muestras ingresadas al laboratorio por el cliente.



CATIE

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, TEJIDO VEGETAL Y AGUAS

TEL: (506) 5562877. FAX (506)5561533. [Http://www.catie.ac.cr](http://www.catie.ac.cr)

No. Reporte: NR01-136-ORIG.
Emisión: 11/10/2001

Nombre Cliente: Vanessa Renderos.
Dirección del sitio/finca: Pérez Zeledón, San José.
Tipo de muestra: Suelo
Fecha Ingreso: 21/09/2001
Fecha Análisis: 02/10/01
Método Análisis: Nitrato extraído en H₂O, relación suelo:solución 10:100,
filtrado por papel Whatman #5, luego por filtros de 0.2um.
Se determinó el nitrato por destilación con MgO y Aleación Devarda.

No. Lab.	No. Ident.	Prof. cm.	pH H ₂ O	pH KCl	N-NO3 mg/kg H ₂ O
LS01- 1269	PS 5	0-10	6.48	5.82	62.42
LS01- 1270	PS 5	10-20	5.72	5.10	84.66
LS01- 1271	PS 5	20-30	5.25	4.68	61.80
LS01- 1272	PS 5	30-40	5.07	4.51	51.96
LS01- 1273	PS 5	40-60	5.08	4.54	33.26
LS01- 1274	PS 5	60-80	5.26	4.75	16.16
LS01- 1275	PS 5	80-100	5.11	4.91	20.66
LS01- 1276	EU 4	0-10	6.40	5.60	18.75
LS01- 1277	EU 4	10-20	6.14	5.41	26.70
LS01- 1278	EU 4	20-30	5.72	5.02	16.85
LS01- 1279	EU 4	30-40	5.23	4.58	17.30
LS01- 1280	EU 4	40-60	4.97	4.55	30.99
LS01- 1281	EU 4	60-80	4.93	4.87	23.62
LS01- 1282	EU 4	80-100	4.91	5.02	17.25

Los resultados anteriores corresponden a las muestras ingresadas al laboratorio por el cliente.





LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, TEJIDO VEGETAL Y AGUAS

TEL: (506) 5562877. FAX (506)5561533. [Http://www.catie.ac.cr](http://www.catie.ac.cr)

No. Reporte: NR01-138-ORIG.
Emisión: 11/10/2001

Nombre Cliente: Vanessa Renderos.
Dirección del sitio/finca: Pérez Zeledón, San José.
Tipo de muestra: Suelo
Fecha Ingreso: 21/09/2001
Fecha Análisis: 02 y 09/10/2001
Método Análisis:

Nitrato extraído en KCL 2N, relación suelo:solución 10:100 y filtrado por papel Whatman #5. Nitrato extraído en H₂O, relación suelo:solución 10:100, filtrado por papel Whatman #5, luego por filtros de 0.2µm.
Para ambos extractos se determinó el nitrato por destilación con MgO y Aleación Devarda.

No. Lab.	No. Ident.	Prof. cm	pH H ₂ O	pH KCl	N-NO3 mg/kg KCl	N-NO3 mg/kg H ₂ O
LS01- 1524	EU 1	10-20	5.6	4.7	23.1	24.1
LS01- 1525	EU 1	20-30	5.1	4.4	34.8	42.0
LS01- 1526	EU 1	30-40	4.9	4.3	25.5	29.1
LS01- 1527	EU 1	40-60	4.8	4.3	17.7	26.1
LS01- 1528	EU 1	60-80	5.1	4.6	13.8	14.8
LS01- 1529	EU 1	80-100	4.8	4.8	31.9	30.1
LS01- 1530	EU 2	10-20	6.4	5.5	21.7	25.7
LS01- 1531	EU 2	20-30	5.8	4.8	15.5	17.1
LS01- 1532	EU 2	30-40	5.2	4.5	16.5	20.5
LS01- 1533	EU 2	40-60	5.0	4.4	17.0	17.3
LS01- 1534	EU 2	60-80	4.9	4.6	12.6	16.4
LS01- 1535	EU 2	80-100	4.8	4.7	23.3	19.9
LS01- 1536	EU 3	10-20	5.3	4.5	27.0	30.7
LS01- 1537	EU 3	20-30	4.9	4.3	23.8	27.5
LS01- 1538	EU 3	30-40	4.8	4.3	11.4	15.8
LS01- 1539	EU 3	40-60	4.9	4.3	12.4	14.4
LS01- 1540	EU 3	60-80	4.8	4.3	18.9	19.0
LS01- 1541	EU 3	80-100	4.5	4.5	43.8	33.6
LS01- 1542	EU 5	10-20	5.2	4.5	23.5	21.5
LS01- 1543	EU 5	20-30	5.7	4.9	19.2	20.9
LS01- 1544	EU 5	30-40	5.0	4.4	18.4	18.4
LS01- 1545	EU 5	40-60	4.8	4.4	25.3	25.2
LS01- 1546	EU 5	60-80	4.8	4.6	19.3	17.5
LS01- 1547	EU 5	80-100	4.6	4.7	31.5	21.0
LS01- 1548	PS 1	10-20	6.4	5.7	14.1	18.1
LS01- 1549	PS 1	20-30	5.5	4.7	15.6	20.2
LS01- 1550	PS 1	30-40	5.1	4.5	17.4	22.5
LS01- 1551	PS 1	40-60	5.2	4.5	10.2	11.9
LS01- 1552	PS 1	60-80	5.0	4.7	16.2	15.8
LS01- 1553	PS 1	80-100	4.8	4.9	27.6	20.8

No. Reporte: NR01-137-ORIG.

Emisión: 11/10/2001

Nombre Cliente: Vanessa Renderos.
Dirección del sitio/finca: Pérez Zeledón, San José.
Tipo de muestra: Suelo
Fecha Ingreso: 21/10/2001
Fecha Análisis: 02/10/01
Método Análisis: Nitrato extraído en H₂O, relación suelo:solución 10:100,
filtrado por papel Whatman #5, luego por filtros de 0.2µm.
Se determinó el nitrato por destilación con MgO y Aleación Devarda.

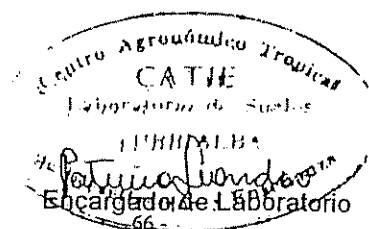
No. Lab.	No. Ident.	Prof. cm.	pH H ₂ O	pH KCl	N-NO ₃ mg/kg H ₂ O
LS01- 1516	EU 1	0-10	5.9	5.0	21.01
LS01- 1517	EU 2	0-10	6.8	6.0	31.15
LS01- 1518	EU 3	0-10	5.5	4.6	17.90
LS01- 1519	EU 5	0-10	6.2	5.3	18.02
LS01- 1520	PS 1	0-10	7.3	6.6	21.04
LS01- 1521	PS 2	0-10	6.2	5.5	43.77
LS01- 1522	PS 3	0-10	7.1	6.4	23.80
LS01- 1523	PS 4	0-10	6.6	6.0	29.53

Los resultados anteriores corresponden a las muestras ingresadas al laboratorio por el cliente.



No. Lab.	No. Ident.	Prof. cm.	pH H ₂ O	pH KCl	N-NO3 mg/kg KCl	N-NO3 mg/kg H ₂ O
LS01- 1554	PS 2	10-20	5.5	4.7	21.2	26.5
LS01- 1555	PS 2	20-30	5.3	4.5	18.0	19.9
LS01- 1556	PS 2	30-40	5.1	4.5	17.4	14.3
LS01- 1557	PS 2	40-60	4.9	4.5	29.2	34.6
LS01- 1558	PS 2	60-80	4.9	4.6	20.8	19.3
LS01- 1559	PS 2	80-100	4.6	4.7	27.9	22.1
LS01- 1560	PS 3	10-20	6.1	5.2	21.7	25.6
LS01- 1561	PS 3	20-30	5.6	4.8	10.0	12.1
LS01- 1562	PS 3	30-40	5.5	4.8	9.2	11.8
LS01- 1563	PS 3	40-60	5.2	4.7	19.2	21.2
LS01- 1564	PS 3	60-80	5.1	4.7	11.6	11.4
LS01- 1565	PS 3	80-100	5.1	5.0	11.0	7.9
LS01- 1566	PS 4	10-20	6.1	5.3	18.0	19.3
LS01- 1567	PS 4	20-30	5.9	5.1	21.9	25.0
LS01- 1568	PS 4	30-40	5.1	4.5	36.7	41.4
LS01- 1569	PS 4	40-60	5.0	4.5	29.2	28.4
LS01- 1570	PS 4	60-80	4.9	4.6	14.5	13.7
LS01- 1571	PS 4	80-100	4.9	4.9	14.4	11.7

Los resultados anteriores corresponden a las muestras ingresadas al laboratorio por el cliente.



Resumen de resultados del análisis químico de nitrógeno-nitrato en mg.kg⁻¹ en muestras de suelo

EXTRACCIÓN EN KCl			EXTRACCIÓN EN AGUA		
Profundidad cm	Eucalipto	Pleno sol	Profundidad cm	Eucalipto	Pleno sol
5	13.052	26.524	5	13.670	25.814
15	17.064	25.367	15	16.373	20.593
25	16.252	18.930	25	13.271	17.770
35	12.014	19.478	35	9.813	16.023
50	14.348	17.170	50	12.410	15.321
70	10.240	7.499	70	10.671	8.281
90	15.813	8.732	90	22.527	12.591

Resumen de resultados del análisis físico-químico de pH en muestras de suelo

pH KCl			pH agua		
Profundidad cm	Eucalipto	Pleno sol	Profundidad cm	Eucalipto	Pleno sol
5	5.29	6.07	5	6.14	6.75
15	4.93	5.22	15	5.71	5.96
25	4.69	4.76	25	5.43	5.50
35	4.40	4.54	35	5.02	5.19
50	4.37	4.53	50	4.89	5.08
70	4.59	4.66	70	4.88	5.03
90	4.73	4.88	90	4.71	4.90

Materia orgánica %		
Profundidad cm	Eucalipto	Pleno sol
5	10.1	10.6
15	9.5	10.3
25	8.4	8.3
35	6.6	6.3
50	3.9	3.9
70	2.3	2.4
90	1.7	1.5