

Contaminación del agua con nitratos en microcuencas con sistemas agroforestales de *Coffea arabica* con *Eucalyptus deglupta* en la Zona Sur de Costa Rica¹

Reina Vanessa Renderos Durán², Jean-Michel Harmand³, Francisco Jiménez⁴, Donald Kass⁵

Palabras clave: Nitrógeno; nacientes de agua; lixiviación; polución del agua.

Nitrate contamination of water in micro-watersheds containing *Coffea arabica* - *Eucalyptus deglupta* agroforestry systems in the South of Costa Rica

RESUMEN

Desde marzo hasta octubre del 2001, se estudió el efecto de la fertilización química nitrogenada en la contaminación del agua con nitratos en dos fincas que poseen sistemas de café (*Coffea arabica*) con sombra de eucalipto (*Eucalyptus deglupta*) en la zona Pacífica Sur de Pérez Zeledón, Costa Rica. La dos fincas recibieron 260 kg N ha⁻¹año⁻¹ hasta el 2000 pero solamente 120 kg N ha⁻¹ en el 2001. Los promedios de N-NO₃ registrados en las nacientes son de 0,21 mg l⁻¹ bajo bosque y 1 - 1,6 mg l⁻¹ en las dos fincas cafetaleras; valores más bajos que los reportados en zonas cafetaleras del Valle Central de Costa Rica (2,1 a 4 mg l⁻¹). Esto podría ser debido al mayor nivel de lluvias, al aporte más bajo de fertilizante y a la baja fertilidad de los suelos en Pérez Zeledón. También el nivel máximo de N-NO₃ encontrado en este estudio (5,8 mg l⁻¹) está debajo del valor máximo permisible establecido por la Organización Mundial de la Salud (10 mg l⁻¹). En la estación lluviosa (junio), los contenidos de nitratos en el suelo y en el agua de lixiviación indicaron una acumulación alta de nitratos en el primer metro de suelo (130 kg ha⁻¹) y una concentración media en el agua libre a 1,2 m (6,2 mg l⁻¹). Los niveles más bajos en las nacientes sugirieron adsorción de nitratos o desnitrificación a profundidades más bajas que 1,2 m.

ABSTRACT

From March to October 2001, the effect of N fertilizer on water contamination with nitrates was evaluated in two coffee (*Coffea arabica*) plantations shaded with *Eucalyptus deglupta* in the Pacific southern zone of Pérez Zeledón, Costa Rica. These plantations received 260 kg N ha⁻¹ yr⁻¹ until 2000 but only 120 kg N ha⁻¹ during 2001. Concentrations of N-NO₃ averaged 0.21 mg l⁻¹ under forests and 1 - 1.6 mg l⁻¹ in the coffee farms; values lower than the 2.1 to 4.4 mg l⁻¹ reported in coffee-growing areas in the Central Valley of Costa Rica. This could be due to the greater rainfall and the lower fertilization rate as well as less fertile soils in Perez Zeledon. In this study, N-NO₃ concentration of springs did not exceed 5.8 mg l⁻¹ which is lower than the 10 mg l⁻¹ considered by the World Health Organization to represent a health hazard. During the rainy season (June), soil nitrates averaged 130 kg ha⁻¹ in the upper meter of soil. Lysimeters located 1.2 m below the soil surface detected higher mean N-NO₃ concentration (6.2 mg l⁻¹) than in springs water, suggesting that nitrate adsorption or denitrification possibly occurred in soil layers below 1.2 m depth.

INTRODUCCIÓN

El café (*Coffea arabica*) es uno de los cultivos económicamente más importantes en Costa Rica. Hasta los 70s del Siglo XX se sembró predominantemente en asocio con árboles de sombra. Sin embargo, con la introducción de variedades de café más productivas como Catu-

rra, el uso de la sombra se ha reducido o eliminado, a la vez que se ha incrementado el uso de fertilizantes nitrogenados (Babbar y Zak 1995). El N es el nutrimento más limitante en la productividad de las plantaciones cafetaleras (Carvajal 1984); entre los años 1970 y 1999,

¹ Basado en: Renderos D, RV 2001. Sistemas agroforestales café-eucalipto (*Eucalyptus deglupta*) y contaminación del agua con nitratos en microcuencas de la Zona Sur de Costa Rica. Tesis M Sc. CATIE Turrialba, Costa Rica

² M Sc en Agroforestería Tropical. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 2001. E-mail: vanren@integra.com.sv

³ Profesor Investigador CIRAD-Forêt/CATIE, Turrialba, Costa Rica. E-mail: harmand@catie.ac.cr (autor para correspondencia)

⁴ Profesor Investigador CATIE, Turrialba, Costa Rica. E-mail: fjimenez@catie.ac.cr

⁵ Profesor Investigador, 11 Riverside Drive, Apt 4PE, New York, NY 10023 USA. E-mail: dcl9@hotmail.com

la producción de café en Costa Rica ha sido subsidiada con aplicaciones de hasta 300 kg N ha⁻¹ año⁻¹ (Babbar y Zak 1995). Según Sommer (1978), solamente el 30% del N aplicado a los cafetales es absorbido por la planta de café, lo que hace suponer grandes pérdidas de N en estos agroecosistemas. La lixiviación de formas solubles y móviles de nitrógeno, como los nitratos, puede afectar la calidad de las aguas subterráneas; en el Valle Central de Costa Rica, Reynolds *et al* (1994) reportaron concentraciones superiores a 10 mg l⁻¹ de N-NO₃, nivel considerado como un riesgo para la salud humana. La acidificación de suelos y aguas y la eutroficación del agua, son otros impactos negativos de la lixiviación de nitratos (Agrawal *et al* 1997).

El objetivo de este estudio fue evaluar la influencia de la fertilización nitrogenada en plantaciones de café en asocio con *Eucalyptus deglupta*, sobre la calidad del agua superficial y de nacientes de agua (concentración de nitratos).

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en dos fincas cafetaleras (Verde Vigor y Santa Fe) ubicadas al sur de la ciudad de San Isidro del General, en el cantón de Pérez Zeledón, de la Provincia de San José, Costa Rica. Geográficamente las fincas se encuentran entre las coordenadas 9°15' - 9°18' N y 83°31' - 83°36' O, con altitudes entre 600 y 700 msnm. Los suelos de la zona son Ustic Palehumult con pendientes de 0-33% y pH 4,5-6,6. La zona de vida según Holdridge es bosque pluvial montano bajo. El contenido de materia orgánica de la capa 0-20 cm varía de 1,2% en la finca Verde Vigor a 6% en la finca Santa Fe. La precipitación anual es de 2740 mm (170 días de lluvia de abril a diciembre). La temperatura media es de 23,5 °C y la humedad relativa de 87,5%.

Descripción de los sistemas de cultivo

Anteriormente en las fincas se sembró pastos y en algunas partes por un corto periodo caña de azúcar. Posteriormente se estableció *C. arabica* en asocio con *E. deglupta*. En estas fincas grandes (600 a 1000 ha), las microcuencas no tuvieron 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 Fe se sembró el café en 1988 y siete años más tarde se introdujo el eucalipto. Las fincas fueron fertilizadas simultáneamente a partir de las primeras lluvias fuertes. Hasta el año 2000 se realizaron cada año tres fertilizaciones de abril a septiem-

bre con la fórmula 18-3-15-6-0,4-7,3 (N-P₂O₅-K₂O-MgO-B-S), para un total de 180 kg N ha⁻¹ en las tres aplicaciones y una última fertilización con Nutrán (16,5% de N nítrico y 16,5% de N amoniacal), que en el año 2000 se realizó del 20 de noviembre al 14 de diciembre, aportando 80 kg N ha⁻¹. En total, se introdujeron 260 kg N ha⁻¹ durante el ciclo de fertilización anual, aunque en el 2001 se aplicaron solamente 120 kg N ha⁻¹, en dos aplicaciones de la fórmula completa (primera fertilización del 20 de abril al 6 de junio; segunda fertilización del 5 de julio al 7 de agosto), debido a la crisis de bajos precios del café.



Quebrada en la finca Verde Vigor, Pérez Zeledón, Costa Rica, la cual muestra el asocio *Coffea arabica* - *Eucalyptus deglupta*. Foto: Vanessa Renderos.

Metodología de Toma de Datos

Nitratos en el agua superficial

Con el fin de medir la concentración de nitratos en el agua freática procedente del movimiento vertical, se tomaron muestras en las nacientes u ojos de agua. Asimismo, se obtuvieron muestras en las quebradas que recogen el agua horizontal por escorrentía superficial (incluyendo el agua procedente de las nacientes). Se muestrearon al menos cinco nacientes y cinco quebradas en ambas fincas (Verde Vigor y Santa Fe) y al mismo tiempo se muestrearon cinco quebradas en el bosque, tanto durante la época seca, como en los periodos pre y post-fertilización durante la época lluviosa (hasta octubre). En cada fecha hubo por lo tanto al menos 25 puntos de muestreo. Las muestras colectadas en el campo se filtraron (con filtros "miliporos" de 0,2µm) e inmediatamente después se colocaron en hieleras y luego en un refrigerador a 4°C (por un periodo no mayor de 48 horas),

antes de ser analizadas en el laboratorio. Se compararon las diferencias de calidad del agua de quebradas y nacientes entre fincas, así como entre quebradas y nacientes por fecha dentro de las fincas; para esto se utilizaron pruebas de t-test y de Mann Whitney Wilcoxon en los casos en que los datos no se distribuían normalmente.

Nitratos en el suelo

En la finca Santa Fe se escogieron dos plantaciones adyacentes (café con eucalipto y café a pleno sol), en las cuales el café fue establecido en 1988 y tuvieron la misma historia y el mismo manejo. Dado que no había otra pareja de parcelas con las mismas condiciones, no fue posible obtener repeticiones. Los eucaliptos fueron plantados en 1995 y las plantaciones fueron fertilizadas por última vez el 4 de mayo del 2001. El 23 de junio del 2001 se tomaron muestras de suelos a 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 y 80-100 cm de profundidad, con cinco muestras compuestas en cada plantación. Cada muestra compuesta estaba formada por cinco sub-muestras tomadas a 50 cm de distancia una de otra y a 40 cm de una línea de cafetos

Nitratos en la solución del suelo

En la finca Santa Fe se establecieron cápsulas de cerámica a 30, 60 y 120 cm de profundidad, con seis repeticiones dentro de cada plantación: café a pleno sol y café con eucalipto. Las extracciones del agua de lixiviación se hicieron desde junio hasta octubre del 2001, a cada 10 días aproximadamente.

Precipitación

La cantidad de lluvia se midió con pluviómetros en cada una de las fincas, obteniendo el promedio de lluvia 15 días antes de cada muestreo, para observar su relación con la concentración de nitratos encontrados en el agua freática y agua superficial.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentración de nitratos en el agua de nacientes y quebradas

En la finca Verde Vigor, la concentración de N-NO₃ en el agua al fin de la estación seca (marzo) fue la más baja: 0,18 mg l⁻¹, tanto en nacientes, como en quebradas. Para cada fecha de muestreo, la tendencia fue de una mayor concentración de nitratos en las nacientes que en las quebradas, pero la diferencia fue significativa solamente en abril (Figura 1). Esto significa que hay más nitratos en el agua freática que en la de escorrentía, concordante con lo mencionado por Petterjhon y Correll (1984). La primera fertilización parece tener

un efecto sobre las concentraciones de nitratos en las nacientes y quebradas, pero esto no ocurrió con la segunda fertilización. Por lo tanto, el aumento de la concentración de nitratos en mayo parece deberse más al inicio de las lluvias que lavan los nitratos contenidos en el suelo hacia la capa de agua freática. Esos nitratos acumulados durante la estación seca en el perfil del suelo provienen de aportes de fertilizantes y de la mineralización lenta del N orgánico del suelo. Es poco probable que la mineralización de la materia orgánica que pudo ocurrir al inicio de la estación lluviosa del 2001 haya tenido el mayor efecto, ya que se constató que luego de la segunda fertilización pasó un mes para que la concentración de nitratos aumentara a 30 cm de profundidad (6 a 40 mg l⁻¹). También, la elevación progresiva del nivel freático al inicio de la estación lluviosa pudo favorecer la captación de nitratos que se encontraban en el suelo. Las nacientes fueron subiendo de nivel durante los primeros muestreos, encontrándose a mayor nivel a finales de mayo y principios de junio; posteriormente los afloramientos de agua fueron bajando lentamente en julio.

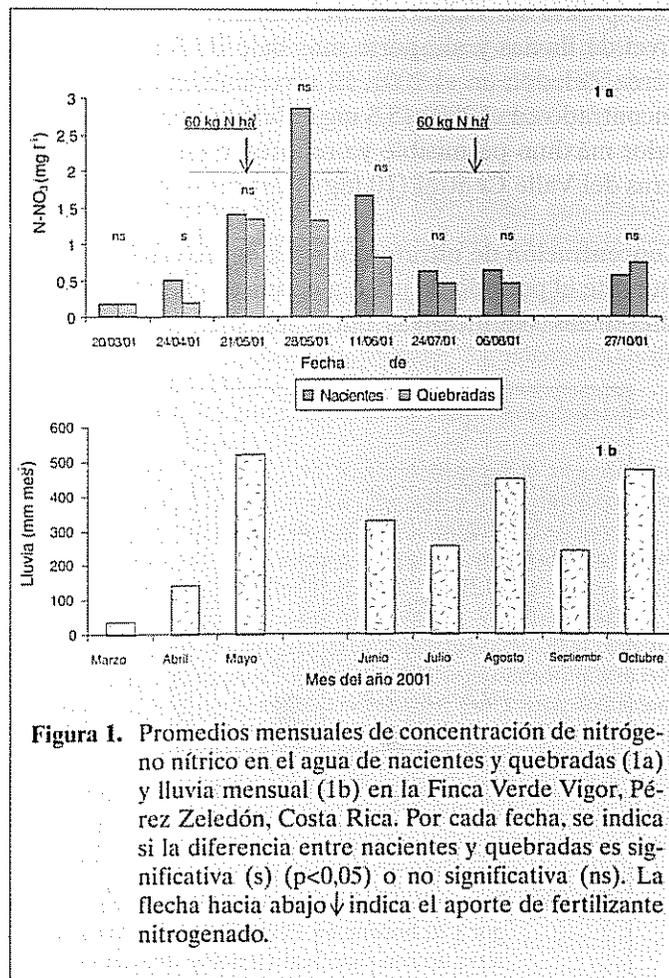


Figura 1. Promedios mensuales de concentración de nitrato-nitrógeno en el agua de nacientes y quebradas (1a) y lluvia mensual (1b) en la Finca Verde Vigor, Pérez Zeledón, Costa Rica. Por cada fecha, se indica si la diferencia entre nacientes y quebradas es significativa (s) ($p < 0,05$) o no significativa (ns). La flecha hacia abajo \downarrow indica el aporte de fertilizante nitrogenado.

Comparación de concentración de nitratos entre sistemas de café y el bosque

Los promedios anuales de la concentración de nitratos en las nacientes indican valores muy bajos en el bosque y más altos en los sistemas con café, aunque con diferencias entre Santa Fe y Verde Vigor. El bosque es un sistema no perturbado que tiene la capacidad de equilibrar la mineralización y la absorción por las plantas, además de no recibir fertilización química. Por el contrario, los sistemas de café son sistemas artificiales con un desequilibrio en el balance de nutrientes: el aporte de N por los fertilizantes es un flujo enorme que no puede ser completa y rápidamente absorbido por la planta. Los niveles fueron generalmente más altos en Santa Fé que en Verde Vigor y el nivel mínimo fue más alto en Santa Fe (Figura 2). Éstos pueden explicarse por dos razones: i) el tiempo de fertilización más largo en Santa Fé; ii) la mayor cantidad de materia orgánica en el suelo de Santa Fé que puede favorecer un flujo mayor de N mineralizado. Los promedios registrados en Pérez Zeledón son más bajos que aquellos reportados por Reynolds-Vargas *et al* (1994) en zonas urbanas y cafetaleras de manejo intensivo del Valle Central de Costa Rica (Cuadro 1). Esto podría ser debido al suelo menos fértil, al mayor nivel de lluvias y al aporte más bajo de fertilizante en Pérez Zeledón en el 2001. El nivel máximo de N-NO₃ encontrado en el 2001 (5,8 mg l⁻¹) estuvo por debajo del valor máximo permisible ya reportado en áreas cafetaleras del Valle Central (10 mg l⁻¹).

Concentración de nitratos en agua de lixiviación

Durante el periodo de junio a octubre del 2001 no hubo diferencias significativas entre los sistemas de café a

pleno sol y café bajo sombra de eucalipto con respecto a las concentraciones de nitratos en el agua de lixiviación (Figura 3). En el sistema café – eucalipto, el promedio de la concentración de N-NO₃ en el agua libre a 1,2 m de profundidad fue de 6,2 ± 1,3 mg l⁻¹, más bajo que a 0,6 m (12 ± 4 mg l⁻¹), pero más alto que al nivel de las nacientes (1,6 mg l⁻¹). Aunque debe existir una dilución a nivel de la capa freática, es probable que también haya pérdidas por desnitrificación o adsorción de nitratos a más profundidad que 1,2 m, reduciendo la lixiviación hasta el agua freática que surge en las nacientes.

Cuadro 1. Promedios de la concentración de nitrógeno nítrico (mg l⁻¹) en el agua de las fincas Verde Vigor, Santa Fe y el bosque en Pérez Zeledón, Costa Rica. Los promedios seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes (p<0,05)

Zona de muestreo	Bosque	Zona cafetalera	
		Verde Vigor	Santa Fe
Nacientes	---	1,01 (ab)	1,62 (a)
Quebradas	0,21 (b)	0,67 (b)	1,5 (a)
Nacientes del Valle Central *	0,37	2,1 a 4,4	

*Fuente: Reynolds-Vargas *et al* (1994).

Concentración de nitratos en el suelo

El 23 de junio (un mes y medio después de la fertilización y de las primeras lluvias fuertes), se observó en Santa Fe un alto contenido de N nítrico en todo el perfil del suelo (Cuadro 2). A pleno sol se observaron mayores concentraciones en los primeros 10 cm que bajo eucalipto y la tendencia, aunque no significativa, se mantuvo hasta los 60 cm. La diferencia puede atribuir-

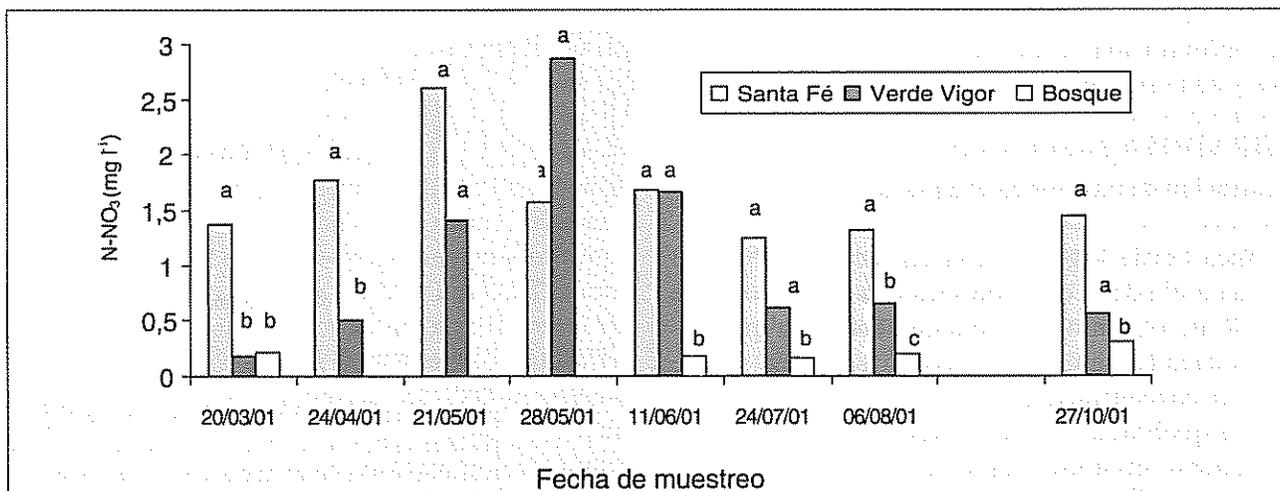


Figura 2. Promedios de concentraciones de nitrógeno nítrico (N-NO₃) en nacientes de las fincas Santa Fe, Verde Vigor y el bosque en Pérez Zeledón, Costa Rica. Los promedios para una fecha dada seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes (p<0,05).

Cuadro 2. Concentraciones de nitrógeno nítrico (mg N kg^{-1} de suelo) en el perfil de suelo del sistema café (*Coffea arabica*) a pleno sol y café con eucalipto (*Eucalyptus deglupta*). Finca Santa Fe, Pérez Zeledón, San José, Costa Rica.

Profundidad (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-60	60-80	80-100
Café - eucalipto	13,67*	16,37	13,27	9,81	12,41	10,67	22,53
Café a pleno sol	25,81*	20,59	17,77	16,02	15,32	8,28	12,59

* Promedios significativamente diferentes ($p < 0,05$) en la capa 0-10 cm solamente

se a: i) un eventual efecto del eucalipto como inhibidor de la nitrificación; y/o ii) una mayor absorción de nitratos por el sistema café-eucalipto que posee mucha más biomasa. El contenido de nitratos en el suelo calculado hasta 1 m es alto (130 kg ha^{-1}), lo que hace suponer que muchos de estos nitratos vienen de la acumulación de años de fertilización.

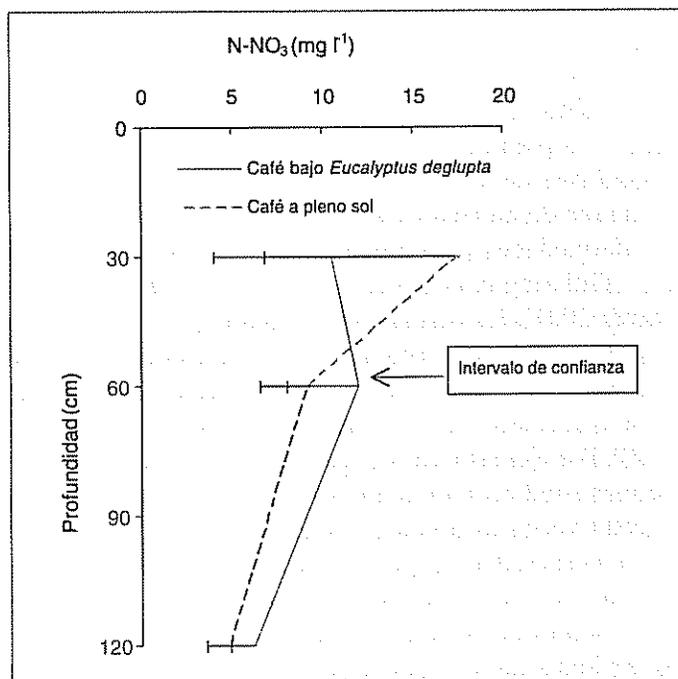


Figura 3. Promedios de concentraciones de nitrógeno nítrico (N-NO_3) en agua de lixiviación de junio a octubre del 2001, bajo dos sistemas de café en la finca Santa Fe, Pérez Zeledón, Costa Rica.

CONCLUSIONES

- La pérdida de nitratos hacia aguas freáticas y superficiales en los sistemas estudiados se ve influenciada por la interacción de diversos factores propios de la zona como el régimen de lluvias, la cantidad de ma-

teria orgánica en el suelo y la historia de fertilización del cultivo.

- Los sistemas de café con eucalipto con más años de fertilización química nitrogenada parecen tener mayor efecto sobre la contaminación de aguas freáticas y superficiales con nitratos.
- La combinación de *E. deglupta* con café parece disminuir el contenido de nitratos de la capa superficial del suelo, lo cual podría reducir las pérdidas de nitratos por lixiviación y desnitrificación.
- Los niveles de contaminación por nitratos encontrados en el 2001 en Pérez Zeledón son más bajos que aquellos reportados en zonas cafetaleras del Valle Central de Costa Rica.
- Los bajos niveles de nitratos encontrados en el agua freática pueden deberse a un grande nivel de lluvia, a la alta acumulación de nitratos en el perfil del suelo y/o a las pérdidas por desnitrificación.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Agrawal, GD; Lunkad, SK; Malkhed, T. 1997. Diffuse agricultural nitrate pollution of ground-waters in India. Kurukshetra, India. Institute of Environmental Science. 14 p.
- Babbar, LI; Zak, DR. 1995. Nitrogen loss from coffee agroecosystems in Costa Rica: leaching and denitrification in the presence and absence of shade trees. *Journal of Environmental Quality* 24 (2): 227-233.
- Carvajal, JF. 1984. Cafeto: cultivo y fertilización. Berna, Suiza. Instituto de la Potasa.
- Petterjhon, W; Correll, D. 1984. Nutrient dynamics in an agricultural watershed: observations on the role of a riparian forest. *Ecology* 65 (5): 1466-1475.
- Reynolds, JS. 1991. Soil nitrogen dynamic in relation to ground water contamination in the Valle Central Costa Rica. Ph.D. dissertation. University of Michigan, Ann Arbor, MI.
- Reynolds-Vargas, JS; Ritcher, DD; 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.
- Sommer, K. 1978. Use of radioisotopes in agriculture. Report to the government of Costa Rica. International Atomic Agency-TA. Report N°1360.