



Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza

**PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACION
ESCUELA DE POSGRADO**

**DINÁMICA DEL NITRÓGENO EN UN SISTEMA DE MANEJO
ORGANICO DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) ASOCIADO CON PORÓ
[*Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook]**

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

**Magíster Scientiae
Agroforestería Tropical**

**POR
VICTOR HUGO ARANA MEZA**

Turrialba, Costa Rica, 2003

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

John Beer, Ph.D.
Miembro Comité Consejero

Philippe Vaast, Ph.D.
Miembro Comité Consejero

Liana Babbar, Ph.D.
Miembro Comité Consejero

Glenn Galoway, Ph. D.
Director Programa de Educación y Decano de la Escuela de Posgrado

Víctor Hugo Arana Meza
Candidato

DEDICATORIA

A mis adorados hijos que son la fortaleza de mi vida: Víctor Hugo y Andrea Alejandra

A mí querida madre: Rosa Elena

A mis hermanos: Gema Jessica, Jean Paul, José Andrés y Gustavo René

A mis abuelos: Stella y Gustavo Alberto (q.e.p.d.)

A todos mis familiares: tíos, primos y sobrinos

AGRADECIMIENTO

Al Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA) por haberme permitido el ingreso al Programa de Maestría del CATIE, por mantener el apoyo institucional y económico durante el período de realización de la maestría.

Al Doctor Jean-Michel Harmand, mi Consejero Principal, por su importante apoyo y dedicación en la asesoría técnica para la realización de este trabajo.

A los miembros del Comité Consejero de Tesis: John Beer, Ph.D.; Philippe Vaast, Ph.D.; Liana Babbar, Ph.D., por el acompañamiento técnico y científico durante la ejecución de este trabajo.

Al Proyecto Coffee Agroforestry Systems in Central America (CASCA), financiado por el gobierno de Francia, por el importante apoyo económico para la ejecución del trabajo de investigación.

Al señor Ernesto Carman, dueño de la Finca Cristina, por su valiosa información y por haber permitido desarrollar mi trabajo de investigación en sus plantaciones privadas.

Al personal del Laboratorio de Suelos del CATIE, especialmente a Patricia Leandro, por su amistad y colaboración en los análisis de laboratorio.

Al departamento de Biometría del CATIE y en especial al Lic. Gustavo López por su apoyo en el análisis estadístico de los datos de campo.

A mis compañeros de la Promoción 2002-2003, por haberme dado la oportunidad de conocerlos, en especial a mis amigos: Alicia, Sonia, Alexis, Mauricio, Yuri, Jorge y Luis.

RESEÑA BIOGRAFICA

El autor nació en Bluefields, departamento de Zelaya, Nicaragua, el 23 de mayo de 1966.

Se trasladó a Managua en 1976, donde continúa sus estudios de primaria en el Colegio Leonor Estrada y los termina en 1979.

En 1984 obtiene su título de bachiller en el Centro Experimental de Educación México en Managua.

Se graduó de Ingeniero Agrónomo en el año 1992 en la Universidad Nacional Agraria, Managua.

Durante el período de 1993-1995 se desempeñó como profesor docente del Centro Experimental de Educación México, en el área de Biología y Química.

En el año 1996 inició a trabajar en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuaria (CNIA) del Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA) de Managua en el cargo de Asistente de Investigación. En 1997, luego de capacitarse en el Brasil, pasó a ocupar el cargo de Investigador Nacional dentro del Programa de Suelos, Agua y Agroforestería del INTA, coordinando el Proyecto Manejo Sostenible de Sistemas de Producción de Maíz, del Programa Regional de Maíz (PRM) del CIMMYT.

En el 2000 le asignaron la responsabilidad de Coordinar el Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA), en el INTA Zonal A2, proyecto ejecutado por el INTA y financiado por la FAO, desde donde coordinó actividades de sobre Diversificación Sostenible de Frutales y Hortalizas, Intensificación de la Producción Vegetal, Desarrollo Rural y Riego Artesanal con enfoque de sostenibilidad y seguridad alimentaria en comunidades de zona seca.

En el año 2002 se incorporó al Programa de Maestría del CATIE en Turrialba, Costa Rica, donde obtuvo el grado de *Magíster Scientiae* en Agroforestería Tropical, Sub-especialización en Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas, en el año 2003.

Dirección electrónica:

varana2023@hotmail.com

CONTENIDO

	Página
Lista de cuadros.....	ix
Lista de figuras.....	x
Lista de fotos.....	xiii
Lista de anexos.....	xiv
Resumen.....	xvii
Abstract.....	xviii
I. Introducción.....	1
1.1. El Problema.....	1
1.2. Importancia de la investigación.....	2
1.3. Objetivos.....	5
1.3.1. General.....	5
1.3.2. Específicos.....	5
1.4. Hipótesis.....	5
II. Revisión de literatura.....	6
2.1. Ventajas de asociar <i>E. poeppigiana</i> con café.....	6
2.2. Ciclo del Nitrógeno.....	6
2.2.1 Componentes del Nitrógeno en el suelo.....	8
2.2.1.1 Nitrógeno orgánico.....	8
2.2.1.2 Nitrógeno Inorgánico.....	8
2.3. Mineralización del Nitrógeno.....	8
2.3.1. Aminización.....	9
2.3.2. Amonificación.....	9
2.3.3. Nitrificación.....	10
2.4. Lixiviación del Nitrógeno.....	11
2.5. Denitrificación del Nitrógeno.....	11
2.6. Fijación del Nitrógeno.....	12
2.6.1. Fijación biológica.....	12
2.7. Inmovilización del nitrógeno.....	12
2.8. Flujos de nitrógeno dentro del sistema Café-Poró.....	13

2.9. Evaluación de metodologías para medir la mineralización del N.....	14
III. Materiales y métodos.....	16
3.1. Localización y descripción del sitio estudio.....	16
3.2. Tratamientos.....	17
3.3. Diseño y unidades experimentales.....	17
3.4. Distribución de los tratamientos.....	17
3.5. Manejo agronómico de las parcelas experimentales.....	17
3.6. Variables de estudio.....	19
3.7. Metodología para medir materia seca y aporte de N de los residuos.....	19
3.8. Metodología para medir mineralización y nitrificación del N del suelo.....	20
3.8.1. Procedimiento de campo.....	21
3.8.2. Procedimiento en el laboratorio.....	22
3.8.2.1. Protocolo para la extracción del N mineral del suelo.....	23
3.8.2.2. Protocolo para determinación colorimétrica del N mineral.....	23
3.8.2.3. Análisis estadístico.....	26
3.9. Metodología para medir el efecto de la poda sobre pérdida de nitratos del suelo por lixiviación.....	27
3.9.1. Concentración de nitratos en el agua de lixiviación.....	27
3.9.1.1. Análisis estadístico.....	29
3.9.2. Determinación del contenido de N mineral en el suelo.....	29
3.9.2.1. Determinación de pH de muestras del suelo.....	30
3.9.2.2. Determinación de densidad aparente del suelo.....	30
3.9.2.3. Análisis estadístico.....	31
3.10. Fijación del nitrógeno atmosférico.....	32
3.11. Estimación de la nodulación y su biomasa.....	34
3.11.1. Análisis estadístico.....	36

IV. Resultados y Discusión	
4.1. Caracterización de los sitios bajo estudio.....	38
4.2. Dinámica del N-Mineral en la capa de suelo de 0-10 cm en Paraíso.....	39
4.3. Mineralización neta del N en la capa 0-10 cm del suelo en Paraíso.....	41
4.4. Dinámica del N-Mineral en la capa de suelo de 0-10 cm en CATIE.....	45
4.5. Mineralización neta del N en la capa 0-10 cm del suelo en CATIE.....	46
4.6. Comparación entre sitios (Paraíso-CATIE) de la tasa de mineralización neta del N en la capa 0-10 cm del suelo.....	48
4.7. Concentración de nitratos en el agua de lixiviación en Paraíso.....	52
4.8. Contenido de N-Mineral (NO ₃ ⁻ y NH ₄ ⁺) en el perfil del suelo.....	55
4.8.1. Contenido de N-Mineral en el perfil del suelo de Paraíso.....	55
4.8.2. Contenido de N-Mineral en el perfil del suelo de CATIE.....	57
4.8.3. Contenido de N-Mineral en el perfil del suelo entre sitios.....	58
4.9. Fijación de nitrógeno.....	60
4.9.1. Fijación atmosférica por el poró.....	60
4.9.2. Nodulación.....	64
V. Conclusiones.....	66
VI. Recomendaciones.....	67
VII. Referencias bibliográficas.....	68
VIII. Anexos.....	74

LISTA DE CUADROS

CUADRO		PAGINA
Cuadro 1.	Descripción de los tratamientos para el estudio de la dinámica del N en un sistema de manejo orgánico de café asociado con poro.	17
Cuadro 2.	Prácticas agronómicas en la finca de manejo orgánico de café, Paraíso, Cartago, Costa Rica	18
Cuadro 3.	Prácticas agronómicas en la finca de manejo orgánico de café, Lote 8 calles, Campo Experimental La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 2003	18
Cuadro 4.	Algunas propiedades químicas de los sitios bajo estudio	19
Cuadro 5.	Profundidades y número de lisímetros con cápsula de cerámica utilizados en parcelas con y sin restitución de residuos de poda	28
Cuadro 6.	Tratamientos estudiados para determinar la fijación de N atmosférico.	33
Cuadro 7.	Tratamientos evaluados para estimar nodulación y su biomasa	35
Cuadro 8.	Algunas propiedades químicas de los sitios bajo estudio, Costa Rica, 2003	38
Cuadro 9.	Materia seca y aporte de N (kg ha^{-1}) en cada sitio de estudio en el tratamiento con restitución de residuos de poda, Costa Rica, 2003.	39
Cuadro 10.	Promedios de concentración de N (mg kg^{-1} de suelo) durante el periodo Enero-Septiembre 2003, Paraíso, Costa Rica.	41
Cuadro 11.	Mineralización y nitrificación promedio (mg N kg^{-1} de suelo) durante el periodo Febrero-Septiembre 2003.	43
Cuadro 12.	Valores promedios de N (mg kg^{-1} de suelo) del periodo Marzo-Septiembre 2003.	45
Cuadro 13.	Promedios de N mineral y mineralización neta mensual en los sitios de estudio. Costa Rica, 2003.	52
Cuadro 14.	Concentración de N-mineral, densidad aparente y acumulación de N en el perfil del suelo el 16 de junio del 2003. Finca Cristina, Paraíso, Cartago	68

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		PAGINA
Figura 1.	Ciclo del Nitrógeno	7
Figura 2.	Ubicación de los sitios de estudio: Paraíso de Cartago y Turrialba.	16
Figura 3.	Forma de muestreo en campo para determinar nodulación y su biomasa, Costa Rica, 2003.	35
Figura 4.	Promedio de Contenido de N-Mineral entre lugar de muestreo y tratamientos, Paraíso, Cartago, 2003.	40
Figura 5.	Promedio de mineralización neta entre lugar de muestreo y tratamientos, Paraíso, Cartago, 2003.	42
Figura 6.	Promedio de porcentaje de humedad inicial del suelo entre lugar de muestreo y tratamientos, Paraíso, Cartago, 2003.	43
Figura 7.	Mineralización neta acumulada ($mg\ N\ kg^{-1}$ de suelo) (Periodo 17 enero-01 septiembre), Paraíso, Cartago, 2003.	44
Figura 8.	Promedio de contenido de N-Mineral entre lugar de muestreo y trat., Estación Experimental 'La Montaña', Turrialba, 2003.	46
Figura 9.	Promedio de mineralización neta del N del suelo entre lugar de muestreo y tratamientos, Estación Experimental La Montaña, Turrialba, 2003.	47
Figura 10.	Porcentaje de humedad inicial del suelo entre lugar de muestreo y tratamientos, durante el proceso de mineralización del N, Estación Experimental 'La Montaña', Turrialba, 2003.	47
Figura 11.	Mineralización neta acumulada durante el periodo del 28 de abril al 16 de septiembre, Estación Experimental 'La Montaña', CATIE, Turrialba, 2003.	56
Figura 12.	Comparación entre sitios de la mineralización neta en la calle e hilera durante el periodo de abril-septiembre 2003.	49
Figura 13.	Comparación entre sitios de la humedad del suelo en la calle e hilera durante el periodo de abril-septiembre 2003.	49
Figura 14.	Comparación del contenido de N mineral y la mineralización neta entre sitios durante el periodo de abril-septiembre 2003.	50

Figura 15.	Comparación entre sitio de la humedad del suelo durante el periodo de abril-septiembre 2003.	50
Figura 16.	Mineralización neta ($mg\ N\ kg^{-1}$ de suelo) acumulada durante el periodo del abril a septiembre 2003, Cartago, Costa Rica.	51
Figura 17.	Concentración de $N-NO_3^-$ en la solución del suelo en los tratamientos con y sin restitución de residuos a 30 cm de profundidad, Finca Cristina, Paraíso, Cartago, 2003.	53
Figura 18.	Concentración de $N-NO_3^-$ en la solución del suelo en los tratamientos con y sin restitución de residuos a 60 cm de profundidad, Finca Cristina, Paraíso, Cartago, 2003.	54
Figura 19.	Concentración de $N-NO_3^-$ en la solución del suelo en los tratamientos con y sin restitución de residuos a 120 cm de profundidad, Finca Cristina, Paraíso, Cartago, 2003.	54
Figura 20.	Contenidos de N mineral del suelo y pH en agua en el sistema de manejo orgánico de café asociado con poró, Paraíso, 2003.	55
Figura 21.	Comparación del contenidos de nitrógeno N Mineral ($N-NO_3^- + N-NH_4^+$) del suelo en dos sistemas de manejo de café, orgánico (con y sin restitución de residuos) y convencional. Estación Experimental, La Montaña, CATIE, Turrialba, 2003.	58
Figura 22.	Comparación del contenido de N-mineral y pH del suelo en dos sitios con sistema de manejo orgánico de café asociado con poró. Paraíso, Cartago, 2003. Fecha de muestreo 16 y 30 de junio del 2003.	59
Figura 23.	Valores promedios de $d^{15}N$ en las hojas de café y <i>Erythrina poeppigiana</i> con poda parcial, total y sin poda en el sistema de manejo orgánico de café en finca Cristina, Cartago, 2003. (Fecha de muestreo agosto 2002) (Fecha de muestreo octubre 2002).	60
Figura 24.	Valores promedios de $d^{15}N$ en las hojas café y de <i>Erythrina poeppigiana</i> con poda parcial, total y sin poda en el sistema de manejo orgánico de café en dos sitios contrastantes, Cartago, 2003. (Fecha de muestreo agosto 2003).	61

- Figura 25. Comparación entre sitios de los valores promedios de $d^{15}N$ en las hojas de café y de *Erythrina poeppigiana* en el sistema de manejo orgánico de café en dos sitios contrastantes, Cartago, 2003. (Fecha de muestreo agosto 2003). 62
- Figura 26. Comparación de nódulos activos, muertos, total y producción de biomasa nodular (g/L) de raíces de *Erythrina poeppigiana* en el sistema de manejo orgánico de café en dos sitios contrastantes, Cartago, 2003. 65
- Figura 27. Comparación de nódulos activos, muertos, total y producción de biomasa nodular (g/L) de raíces de árboles de *Erythrina poeppigiana* a tres distancias (0.5, 1.0 y 1.5 m) del mismo en el sistema de manejo orgánico de café en dos sitios contrastantes. Cartago, 2003. 65

LISTA DE FOTOS

FOTO		PAGINA
Foto 1.	Tratamientos establecidos durante la operación de poda. Izquierda: Parcelas con restitución de residuos de poda; Derecha: Parcelas sin restitución de residuos de poda.	20
Foto 2.	a) Barreno usado para toma de muestras; b) Inserción de muestras en tubo de PVC para incubar suelo; c) Extracción de muestras iniciales de suelo.	21
Foto 3.	Tubos de PVC para incubación aeróbica <i>in situ</i> para medir mineralización de nitrógeno del suelo. Izquierda: Parcelas con poda drástica con restitución de residuos. Derecha: Parcelas con poda drástica sin restitución de residuos. Finca Cristina, Paraíso, 2003.	22
Foto 4.	Izquierda: a) Lisímetros con cápsulas de cerámica porosa a tres profundidades: 30, 60 y 120 cm; Derecha: b) Barreno de 5 cm de diámetro y hasta 2 m de largo, utilizado para la instalación de lisímetros y muestreo para determinación del contenido de N mineral en el suelo.	27
Foto 5.	Lisímetros de cápsula de cerámica instalados en el campo a tres profundidades (30, 60 y 120 cm) para medir pérdidas de nitratos del suelo por lixiviación. Izquierda: Parcela con restitución de residuos; Derecha: Parcelas sin restitución de residuos.	28
Foto 6.	Árboles de poró donde se tomaron muestras de hoja para determinar fijación de N atmosférico. a) árboles con poda parcial en parcelas con y sin restitución de residuos; b) árboles con poda total en parcelas con y sin restitución de residuos.	32
Foto 7.	a) árboles no podados fuera del ensayo con restitución de residuos; b) <i>Eucalyptus deglupta</i> como una planta de referencia no fijadora de N para determinar abundancia natural de ¹⁵ N.	33

LISTA DE ANEXOS

ANEXO		PAGINA
Anexo 1.	Valores promedios de aporte de biomasa y nitrógeno (kg ha^{-1}) al momento del establecimiento de los ensayos en Paraíso y CATIE.	75
Anexo 2.	Resultados de análisis estadísticos de los contenidos de N-NO_3^+ y N-NH_4^+ del suelo en los tratamientos bajo estudio en Paraíso, 2003.	76
Anexo 3.	Análisis estadísticos de la N-mineral y % de humedad inicial del suelo en los tratamientos bajo estudio, Paraíso, Cartago, 2003.	77
Anexo 4.	Resultados de análisis estadísticos de N-mineral (17 Ene al 01 Sep/03) y mineralización acumulada (17 Febrero-01 Septiembre 2003) en finca Cristina, Paraíso, Cartago, 2003.	78
Anexo 5.	Evolución de los contenidos de N-Mineral en el suelo a la profundidad de 0-10 cm, durante el periodo de 17 de enero al 16 de septiembre del 2003 en Finca Cristina, Paraíso, Cartago, 2003.	79
Anexo 6.	Análisis estadísticos de la mineralización y nitrificación en los tratamientos bajo estudio, finca Cristina, Paraíso, Cartago, 2003.	80
Anexo 7.	Resultados de análisis estadísticos de los contenidos de N-NO_3^+ y N-NH_4^+ del suelo en los tratamientos bajo estudio Estación Experimental 'La Montaña', CATIE, Turrialba, 2003.	81
Anexo 8.	Resultados de análisis estadísticos de la mineralización y nitrificación neta en los tratamientos bajo estudio, Estación Experimental 'La Montaña', CATIE, Turrialba, 2003.	82
Anexo 9.	Resultados de análisis estadísticos de la N-mineral y % de humedad inicial del suelo en los tratamientos bajo estudio en el Campo Experimental 'La Montaña', CATIE, Turrialba, 2003.	83

Anexo 10. Análisis estadísticos del % de humedad final del suelo, mineralización y nitrificación neta acumulada (28 Abr al 16 Sep/03), contenido de N-NO_3^+ , N-NH_4^+ y N-mineral, Campo Experimental 'La Montaña', CATIE, Turrialba, 2003.

84

Anexo 11. Evolución de los contenidos de N-Mineral en el suelo a la profundidad de 0-10 cm, del 17 enero al 16 sept. 2003 en Estación Experimental La Montaña, CATIE, Turrialba, 2003.

85

xiv

Anexo 12. Resultados de análisis estadísticos combinado entre sitio (Paraíso y CATIE) de la mineralización y nitrificación neta acumulada (Abr-Sep/03) y contenido de N-NO_3^+ (Mar-Sep/03), Cartago, 2003.

86

Anexo 13. Resultados de análisis estadísticos combinado entre sitio de los contenidos de NH_4^+ y N-mineral (Mar-Sep/03), mineralización y nitrificación neta acumulada (Abr-Sep/03) y contenidos promedios de N-NO_3^- , N-NH_4^+ y N-mineral (Mar-Sep/03), Cartago, 2003.

87

Anexo 14. Comparación entre sitios de la nitrificación neta en hilera, calle y entre sitio durante el periodo de abril-septiembre 2003.

88

Anexo 15. Comparación entre sitios del contenido de N-NO_3^- del suelo en hilera, calle y entre sitio durante (abril-septiembre 2003).

89

Anexo 16. Mineralización y nitrificación neta por fecha de muestreo en la capa de suelo de 0-10 cm durante el periodo de 17 de enero al 16 de septiembre del 2003 en los sitios bajo estudio.

90

Anexo 17. Resumen de promedios de mineralización neta en la capa de suelo de 0-10 cm durante el periodo de 17 de enero al 01 de septiembre (Paraíso) y del 30 marzo al 16 de septiembre (CATIE) en dos sitios contrastantes bajo estudio, Cartago, Costa Rica, 2003.

91

- Anexo 18. Resultados de análisis estadístico de valores de promedios de concentración de nitratos en la solución del suelo entre tratamientos a 30, 60 y 120 cm de profundidad (10 de febrero al 10 septiembre del 2003), finca Cristina, Paraíso, Cartago, 2003.
92
- Anexo 19. Valores promedios de contenido de nitrógeno amoniacal (N-NH_4^+), nitrógeno nítrico (N-NO_3^-), nitrógeno mineral, porcentaje de humedad y pH en agua y KCl en el perfil de suelo del sistema de manejo orgánico de café poró en la finca Cristina, Paraíso, Cartago, 2003.
93
- Anexo 20. Valores promedios de contenido de N-NH_4^+ , N-NO_3^- , N-mineral, humedad (%) y pH en agua y KCl en el perfil de suelo de dos sistemas de manejo de café, orgánico y convencional, Estación Experimental 'La Montaña', CATIE, Turrialba, 2003.
94
- Anexo 21. N-NO_3^- y N-NH_4^+ en el perfil del suelo en Paraíso y CATIE.
95
- Anexo 22. Comparación de la acumulación de N-NO_3^- y pH del suelo en dos sitios con sistema de manejo orgánico de café asociado con poró.
96
- Anexo 23. Densidad aparente (g cm^{-3}) en el perfil del suelo a diferentes profundidades en los sitios de estudio, Cartago, 2003.
97
- Anexo 24. Análisis estadísticos entre sitios del número de nódulos y biomasa a 3 distancias del árbol de poró, Cartago, 2003.
98
- Anexo 25. Análisis estadísticos entre sitios del d^{15}N en las especies y los tres tipos de poda del poró, Cartago, 2003.
99
- Anexo 26. Precipitación diaria (mm) durante el periodo de enero a octubre del 2003, Estación Experimental 'La Montaña', CATIE, Turrialba, 2003.
100

Arana Meza, V.H. 2003. Dinámica del nitrógeno en un sistema de manejo orgánico de café (*Coffea arabica* L.) asociado con poró [*Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook]. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 114p.

Palabras claves: *Coffea arabica*, *Erythrina poeppigiana*, N mineral, nitrato, mineralización, lixiviación, fijación de N, nodulación, biomasa, poda, restitución de residuos.

Resumen

De enero a septiembre del 2003 se estudió la dinámica del nitrógeno y su disponibilidad para la planta de café (*Coffea arabica* L.) en dos fincas de manejo orgánico de café asociado con poró [*Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook] en la provincia de Cartago (Paraíso y Turrialba). La finca en Paraíso pasa a ser orgánica en 1993 y la de Turrialba en 1999. La poda del poró se realizó en febrero en Paraíso y en marzo del 2003 en CATIE, esta operación fue necesaria para el establecimiento de los tratamientos bajo estudio (con restitución y sin restitución de residuos de poda). Los árboles se podaron parcialmente dejando tres ramas pequeñas, excepto algunos que se podaron totalmente debido a que tenían casi dos años sin haber sido podados. Las variables evaluadas fueron: materia seca y aporte de N por la poda, mineralización y nitrificación neta del N de la capa de suelo 0-10 cm, concentración de nitratos en el agua de lixiviación (solo en Paraíso), contenido de N mineral en el perfil del suelo, fijación de N atmosférico, número y biomasa de nódulos en el poró.

En Paraíso, los resultados indicaron una concentración de N-mineral en la calle ($21 \text{ mg de N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$) significativamente superior a la encontrada en la hilera del café ($17 \text{ mg de N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$). La mineralización neta del N en la calle fue más activa en comparación a la hilera del café, en relación con una mayor humedad en la calle. La restitución de residuos de poda de poró tiende a aumentar la concentración de N-NO_3^- en el agua de lixiviación a la profundidad de 30 cm, pero contrariamente no tuvo efecto significativo sobre la mineralización y fijación de N. El suelo en Paraíso tuvo contenidos de C total, N total y pH más alto que en CATIE. También la mineralización acumulada y el contenido de N mineral en la calle fueron superiores en Paraíso, respecto a CATIE. La tasa de fijación de N y la biomasa de nódulos fueron mayores en CATIE comparado a las observadas en Paraíso, como resultado de una menor disponibilidad de N mineral en el primer sitio.

Arana Meza, V.H. 2003. Nitrogen dynamics in an organic management of coffee system (*Coffea arabica* L.) associated with poró [*Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook]. Mag. Sc. Thesis, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 114p.

Key words: *Coffea arabica*, *Erythrina poeppigiana*, Mineral nitrogen, nitrate, mineralization, leaching, N₂ fixation, nodulation, biomass, pruning, restitution of residues.

Abstract

From January to September 2003 a study was undertaken on soil nitrogen dynamics and its availability for coffee (*Coffea arabica* L.) in two organic farms of coffee associated with *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook in the province of Cartago (Paraíso and Turrialba). The farm in Paraíso became organic in 1993 and the farm in Turrialba became organic in 1999. In Paraíso pruning of poró tree was carried out in february and in march 2003 in CATIE, a necessary operation for the establishment of the treatments under study (with restitution and without restitution of pruning residues). The trees were partially pruned remaining three little branches, except some of them which were totally pruned due to had not been pruned for almost two years. The variables evaluated were: dry matter and N contribution by pruning, net mineralization and nitrification of soil N, nitrate concentration in leaching water (only in Paraíso), content of soil mineralN, atmospheric N₂ fixation, number and biomass of nodules.

In Paraíso, the results indicated a significantly greater concentration of mineral N in the inter-row (21 mg NO₃⁻-N kg⁻¹) than in the coffee row (17 mg NO₃⁻-N kg⁻¹). Net mineralization in the inter-row was more active in comparison to the coffee row, in relation to greater soil humidity in the inter-row. Restitution of poró pruning residues tended to increase the soil nitrate concentration down to the depth of 30 cm, but did not have a significant effect on N mineralization and N₂ fixation. The soil of Paraíso had total C and N contents, and pH higher than CATIE. Accumulated mineralization and soil mineral N in the inter-row of the coffee plants was higher in Paraíso, than in CATIE. Nitrogen fixation rate and the nodule biomass were greater in CATIE than in Paraíso, as a result of a smaller availability of mineral N in CATIE.

I. Introducción

1.1. El problema

El nitrógeno (N) es un elemento indispensable para la fotosíntesis; es decir, para que las plantas fijen el carbono del aire, acumulen materia seca y produzcan rendimientos económicamente atractivos. Sin embargo, el N es un nutriente casi universalmente deficiente en los suelos por las pérdidas de este elemento causadas por el mal manejo a que, por lo general, son sometidos los suelos y por el abuso que se hace de sus reservas orgánicas. Ello ocasiona que, en general, el N se deba agregar al suelo en grandes cantidades como fertilizante nitrogenado o abono orgánico, para satisfacer la demanda de los cultivos, especialmente los monocultivos. Sólo una parte de este N adicionado puede ser usada por las plantas en el corto plazo, y el resto se escapa hacia estratos más profundos del suelo o hacia la atmósfera, pudiendo llegar a ser fuente de contaminación en ambos casos.

El N es el elemento mayormente limitante para la productividad de los agrosistemas de café (Carvajal, 1984). Las especies de árboles de sombra y las prácticas de manejo, tales como régimen de podas del árbol e intensidad de la fertilización, pueden afectar la disponibilidad del N en el suelo. Por ello, las tasas de mineralización de N pueden diferir entre agroecosistemas, dado que las prácticas de manejo influyen sobre la temperatura del suelo, disponibilidad de agua, cantidad y calidad del sustrato y últimamente la mineralización de la materia orgánica del suelo (Douglas y Magdoff, 1991; Babbar y Zak, 1995).

El N es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas, y en el caso particular del café es altamente restrictivo para el desarrollo de los frutos, así como el de las hojas y ramas nuevas (Cannell y Kimen, 1971; Papaniappan, 1993). Por ello, el conocimiento de las cantidades de N en el sistema es clave para determinar la necesidad de fertilizar los cafetales, así como una buena programación de esas fertilizaciones.

Los estudios del balance de N en cafetales bajo sombra, generalmente muestran que su incorporación al suelo a través de la descomposición de hojarasca es mayor que la salida del sistema por la cosecha de los frutos, exportando cerca de 95 kilogramos de N ha⁻¹ año⁻¹ (Aranguren, 1979; Aranguren *et al.*, 1982; Bornemisza, 1982; Fassbender *et al.*, 1985). Asimismo, la caída de hojas y los residuos provenientes de la poda de *E. poeppigiana* suministran entre 330 y 270 kilogramos de N ha⁻¹ año⁻¹ (Russo y Budowski, 1986). Este no parece ser el caso para cafetales expuestos al sol donde los aportes por hojarasca son menos importantes (Navidad, 1987). A pesar de su importancia, no existe mucha información sobre el ciclo del N en sistemas cafetaleros. Al respecto poco se conoce sobre la tasa de mineralización del nitrógeno orgánico y su subsecuente transformación en el suelo, según lo reporta Babbar and Zak (1994), lo que tiene influencia directamente sobre la disponibilidad de N para la planta de café.

La lixiviación de nitratos es otra salida de N en los agroecosistemas, que 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 estos agroecosistemas cafetaleros aún no se conoce. Por esta razón, no se tiene un completo entendimiento del potencial del manejo de cafetales para influir negativamente 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 ($24 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) que en aquellos con sombra ($9 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$). Se observó también que en los meses más lluviosos de junio a septiembre, se encontraron valores entre 11 y 37 mg l^{-1} de nitrógeno nítrico en la solución del suelo a 60 cm de profundidad, 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).

La fijación biológica de N de las plantas leguminosas es el principal mecanismo de aporte de N en los ecosistemas naturales y es muy importante en la agricultura de poco insumo en el trópico. La fijación biológica de N puede ser considerada como una manera más efectiva, menos cara y no contaminante, para mejorar la fertilidad del suelo comparada con otras vías (como la fertilización química), las cuales presentan altos niveles de contaminación con sales nitrogenadas. En nuestro estado de conocimiento actual, la simbiosis Rhizobium-leguminosa es superior a los otros sistemas de fijación de N por lo que demandan un gran interés como área de futura investigación (Baca et al., 2000).

Existe en el mundo gran preocupación por la gran contaminación del medio ambiente en que vivimos, así como por la calidad de alimentos que consumimos, entre ellos el café, para lo que se proponen sistemas de manejo en los que no se usen insumos agroquímicos contaminantes y en su lugar intervengan productos naturales u orgánicos.

1.2. Importancia de la investigación

Las prácticas agroforestales pueden ayudar a mejorar los sistemas de uso de la tierra, hacia una mayor sostenibilidad, incorporando árboles en fincas donde fueron eliminados y ayudando a recuperar terrenos degradados (Foresta y Michon, 1993).

En las últimas décadas la caficultura en América Central ha experimentado una diversificación de modelos de producción. Muchos de los modelos de altos insumos han sido criticados por contaminar el ambiente, tener una rentabilidad riesgosa y ser poco accesible para los productores de escasos recursos. La aplicación continua y elevada de fertilizantes no parece ser una opción sostenible para el tercer

mundo, ya que los precios de los energéticos son muy elevados y contaminantes de los mantos acuíferos. La caficultura orgánica, amigable con el ambiente, va en aumento pero todavía solo cubre un porcentaje pequeño de la producción total, aunque recibe sobrepuestos en el mercado.

Al mismo tiempo el uso del suelo está cambiando rápidamente en respuesta a las fuerzas externas del mercado y las preocupaciones ambientalistas. Según Muschler (1997), los sistemas de café a pleno sol se pueden mantener solo si el productor tiene disponibilidad de recursos (agroquímicos, dinero, etc.).

En centroamérica, los agroecosistemas cafetaleros han perdido en las dos últimas décadas mucho de su diversidad biológica, como resultado de las recomendaciones de usar fertilizantes, controlar intensivamente las malezas con herbicidas y eliminar los árboles de sombra para elevar la productividad. Sin embargo, en los últimos años, los bajos precios del café, junto con los altos costos de producción del modelo intensivo y la demanda cada vez mayor de café orgánico, están revirtiendo esta situación (Muschler y Bonnemann, 1997).

Otro de los beneficios adicionales de estos sistemas con sombra es la fijación de CO₂, como una forma de mitigar el efecto de invernadero. Kursten y Burschel (1993), calcularon que de 14-52 t C por ha se almacenan en la biomasa aérea de los árboles que sombrean al cacao y al café. Comparado con el monocultivo, existe mayor cantidad de materia orgánica en el suelo en forma de humus y mantillo en estos sistemas agroforestales, que fijan 10-50 t C/ha más.

Hay que destacar la importancia de la producción de los residuos vegetales en el ciclo del N, que en gran parte depende del tipo de especies involucradas en dichos sistemas y de su manejo, principalmente las podas (Fassbender, 1993). Este mismo autor evidencia la influencia que tienen las especies utilizadas como sombra con su aporte de residuos y acumulación de N dentro del sistema, como el caso del Poró (*Erythrina poeppigiana*) que acumuló 400 kg ha⁻¹ año⁻¹ de N en el follaje. En el caso de esta especie, las hojas son fácilmente mineralizable por su alto contenido de N. De manera que los procesos de transferencia del N dentro del ecosistema se basan en la producción de residuos y su descomposición (fragmentación, mineralización y humificación) y el paso del N con el agua a través del suelo (Fassbender, 1993).

En los abonos orgánicos el N está asociado con el C y su incorporación al suelo se da por la fragmentación de estas aportaciones orgánicas. La humificación de la materia orgánica puede favorecer la incorporación del N en el suelo. Los microorganismos del suelo necesitan un sustrato de C para crecer y también utilizan el nitrógeno que proviene de las aportaciones orgánicas, contribuyendo eventualmente a la formación del N orgánico del suelo

Los fertilizantes inorgánicos no contienen tales fuentes de C y en general representan un flujo de N más concentrado; por esta razón, la mayor parte del N que no utilizan los cultivos en forma inmediata se pierde por lixiviación y desnitrificación, mientras que gran parte del N que proviene de las

aportaciones orgánicas y que no aprovechan los cultivos, podría contribuir a la formación del capital de N orgánico del suelo, mejorar sus propiedades físico-químicas y aumentar su capacidad para retener humedad.

La acumulación lenta de N orgánico del suelo, debido a las aportaciones orgánicas de otro tipo, influirá positivamente en la sostenibilidad de la producción. En los sistemas agroforestales se necesita cuantificar las posibilidades de aprovechar mejor el N mediante procesos de medición tales como la mineralización, inmovilización, de nitrificación, fijación, volatilización y lixiviación, junto con los cambios en la acumulación de N orgánico del suelo en sistemas que combinen las fuentes orgánicas e inorgánicas.

Babbar y Zak (1994, 1995) encontraron tasas más altas de mineralización de N en el suelo en plantaciones de café con sombra de *E. poeppigiana* en Costa Rica ($148 \text{ kg de N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) en comparación con plantaciones sin sombra ($111 \text{ kg de N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$).

Las prácticas de manejo y la elección de la especie de sombra afectarán las tasas de fijación de N_2 por los árboles leguminosos y la disponibilidad de N en las plantaciones (Nygren y Ramírez, 1995).

La habilidad de una especie de sombra para producir grandes cantidades de material orgánico, como hojarasca y residuos de poda, puede ser más importante que la fijación de N_2 debido a los efectos positivos de la materia orgánica sobre las propiedades químicas y físicas del suelo (Beer, 1988). Muchos estudios han demostrado la limitada contribución del N al cultivo asociado, derivado de la fijación de N_2 por árboles, lo que reduce la importancia de estos árboles en el aporte de N al sistema.

Herrera *et al.* (1987) reportaron que los nódulos de árboles de *E. poeppigiana* no podados, en plantaciones de cacao en Venezuela desaparecieron durante la época seca, lo cual implica liberación de N. Además, en otro estudio realizado por Nygren y Ramirez (1995) encontraron que los nódulos de *E. poeppigiana* desaparecieron casi completamente durante las diez semanas después de la poda, lo que sugiere que pueden haber 20 semanas en el año (2 podas por año) durante los cuales estos árboles podados no fijan N_2 y compiten por el N del suelo con el cultivo.

Estudios realizados por Escalante *et al.* (1984) en plantaciones de café y cacao sin fertilización con sombra *Inga*, *Gliricidia sepium* y *E. poeppigiana* reportaron una fijación de nitrógeno de $35\text{-}60 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Estos mismos autores estimaron que fueron liberados entre $57\text{-}66 \text{ kg de N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ a través de la mortalidad y descomposición de nódulos de *E. poeppigiana* no podada, sin diferenciar entre el contenido de N en los nódulos ($22\text{-}23 \text{ kg de N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) entre parcelas fertilizadas y no fertilizadas. Nygren y Ramírez (1995) encontraron una liberación de $6.8 \text{ a } 35.4 \text{ g N árbol}^{-1}$ en un ciclo de poda de 23 semanas ($9.6 \text{ a } 50 \text{ kg de N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) a través de la mortalidad y descomposición de nódulos de *E. poeppigiana*. Estos dos estudios sugieren que una proporción significativa de N_2 fijado por los árboles de sombra puede ser transferido dentro del suelo a plantas no fijadoras de N_2 .

Por otro lado, Fassbender (1987), comparando los balances de nutrientes de asociaciones de café con árboles de sombra leguminosos y no leguminosos, también estimó que árboles de *E. poeppigiana* fijaron 60 kg de N ha⁻¹ año⁻¹.

Por consiguiente en el estudio de las interacciones en el ciclaje de nutrientes, cuyos mecanismos biológicos y químicos internos son cuantificados pobremente y son poco entendidos, constituyen una herramienta muy importante, a través del cual se puede determinar el balance exacto de las reservas y transferencias de los elementos nutritivos en los agroecosistemas y de este modo desarrollar técnicas de mejoramiento y optimización para la producción. A partir de estas consideraciones, se propone los siguientes objetivos:

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

?? Contribuir al entendimiento de la dinámica del nitrógeno en el sistema de manejo orgánico de café (*Coffea arabica* L.) asociado con *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook.

1.3.2. Objetivos específicos

?? Cuantificar el efecto de la poda drástica del poró con y sin restitución de residuos sobre la mineralización y fijación del nitrógeno en dos fincas de manejo orgánico de café.

?? Comparar la dinámica del nitrógeno (mineralización y fijación del nitrógeno) en dos sitios con diferentes suelos.

?? Analizar el efecto de la poda drástica del poró con y sin restitución de residuos sobre la lixiviación del nitrógeno en un sistema de manejo orgánico de café.

1.4. Hipótesis

?? La deposición de los residuos de podas del poró contribuyen a aumentar el aporte de nitrógeno afectando su disponibilidad y lixiviación.

?? La poda del poró reduce la fijación del nitrógeno en el sistema de manejo orgánico de café.

?? El tipo de suelo influye sobre la mineralización del nitrógeno del suelo.

?? La disponibilidad de N en el suelo en forma de nitratos influye sobre la fijación de N por el poró.

II. Revisión de literatura

2.1. Ventajas de asociar *E. poeppigiana* con café

La agroforestería es una forma de uso de la tierra en la que se cumplen tres condiciones fundamentales en el cual, (i) al menos existen dos especies de plantas que interactúan biológicamente, (ii) al menos uno de los componentes es una leñosa perenne, y (iii) al menos uno de los componentes es una especie manejada con fines agrícolas (Somarriba, 1990). Las leguminosas arbóreas de usos múltiples se usan comúnmente en los sistemas agroforestales tropicales, los cuales son generalmente manejados por medio de podas periódicas.

El árbol leguminoso *Erythrina poeppigiana*, perteneciente a la familia de la papilionaceas (o fabaceas), ha sido usado en muchas partes y particularmente en Costa Rica como sombra en cafetales, cuyas características la hacen muy versátil por su multiplicidad de usos : sombra para cultivos asociados, abono orgánico, fijación biológica de N, producción de forraje, etc., (Russo, 1983). En la asociación de árboles de sombra de *E. poeppigiana* con café en un sistema agroforestal tradicional en la zona atlántica de Costa Rica, los productores podan el árbol entre enero-febrero para promover la floración de café y entre junio-julio para promover la maduración de frutos (Beer, 1988).

E. poeppigiana, por su abundante producción de follaje rico en N es una especie apta para utilizarse como abono verde en sistemas agroforestales con café (Nygren, 1995). Bajo las condiciones de Turrialba, Costa Rica, produjo hasta 18.5 ton/ha/año de materia seca con una densidad de 280 árboles/ha en asocio con el cultivo de café (Russo y Budowski, 1986).

En el caso del café, la incorporación de residuos de poda de los árboles de sombra, precede a la floración y la fructificación del cultivo. Esta sincronización es importante cuando no se fertiliza artificialmente, debido a que permite la liberación de nutrimentos cerca de las raíces del café, las cuales son muy superficiales, justamente en el momento que podría demandar nutrimentos. Además en el caso del *Coffea arabica* y *Theobroma cacao* bajo sombra la transferencia de nutrimentos por la hojarasca y la rápida descomposición compensa ampliamente la “exportación” por cosecha, constituyendo así un “fertilizante natural” (Herrera *et al.*, 1985).

2.2. Ciclo del Nitrógeno

El ciclo del N en el suelo representa una parte muy pequeña del ciclo total del nitrógeno en la naturaleza. Del 98% del nitrógeno que se encuentra en la litosfera, solamente un 0.00014 % se ubica en los suelos y una cantidad semejante participa en la biosfera. Sin embargo, como en esta parte participan todas sus formas (moleculares, orgánicas e inorgánicas) resulta un ciclo muy complejo y peculiar (Bertsch, 1995).

De acuerdo a Vitousek (1997), 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 orgánico, y especialmente el que cicla en los ecosistemas terrestres, no se encuentra disponible sino inmovilizado en la materia orgánica, parcialmente descompuesto en los restos de animales y plantas que deben ser mineralizados por los microorganismos.

El ciclo biogeoquímico del nitrógeno es el que comprende en su totalidad la circulación de éste elemento químico en todas sus formas entre la biomasa, el mantillo, el suelo y las fuentes externas del ecosistemas; es decir, comprende los procesos de absorción, acumulación, traslocación y redistribución interna del elemento en las plantas, así también comprenden los procesos de intercambio con la atmósfera (ganancia y pérdidas) y el suelo (residuos vegetales y su descomposición, escorrentía y lixiviación) (Fassbender, 1993).

El N sufre transformaciones en el suelo que dependen de varios factores entre los que se incluyen humedad, temperatura pH, aeración, etc. Como resultado general, no existe una ganancia o pérdida neta de N en la naturaleza. El proceso total se conoce como Ciclo del Nitrógeno (Figura 1).

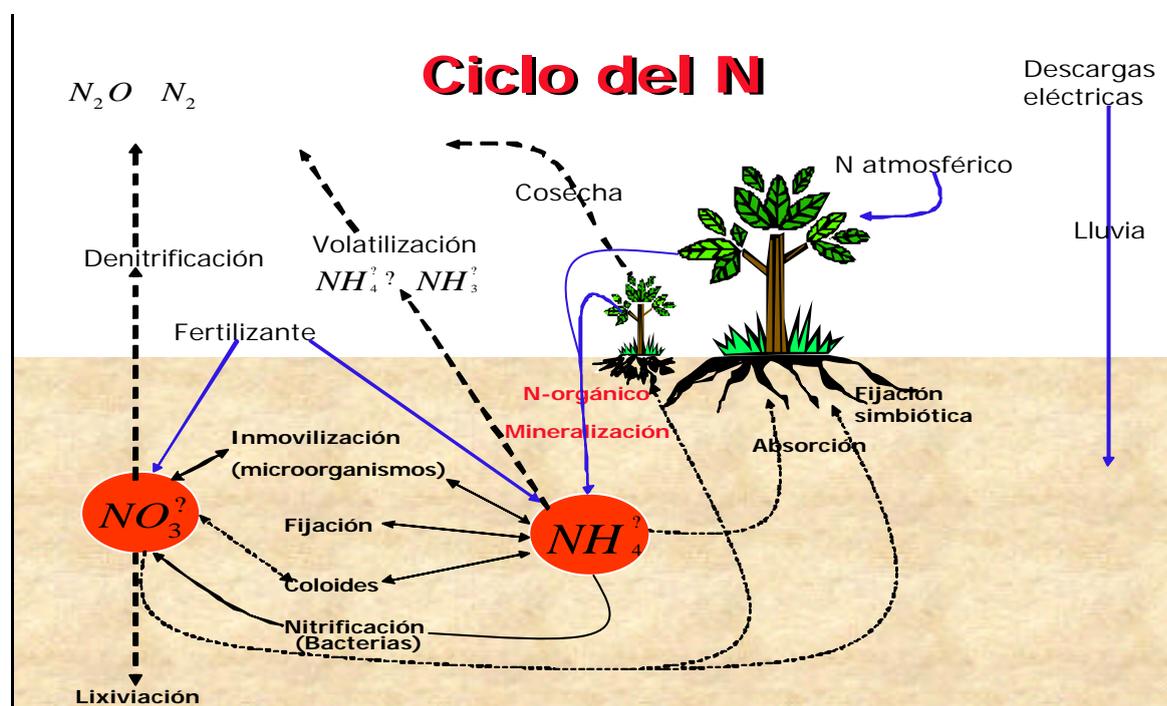


Figura 1. Ciclo del Nitrógeno (Adaptado de Coyne, 1999)

En el ciclo del nitrógeno algunos productos provenientes de las transformaciones del N del suelo pueden conducir a que este elemento se pierda del agroecosistema por diferentes vías. Entre ellas están la lixiviación, especialmente del N-NO_3^- , la volatilización del NH_4^+ y la denitrificación con producción de gases (N_2O y N_2) hacia la atmósfera (Bertsch, 1995).

2.2.1 Componentes del Nitrógeno en el suelo

2.2.1.1 Nitrógeno orgánico

Estiércol y plantas, microorganismos y animales muertos en descomposición son importantes fuentes de nitrógeno para el suelo. Si bien la mayor parte de este nitrógeno es insoluble y no está disponible de inmediato para que lo utilicen las plantas. Esta fracción orgánica se abastece también de N a partir de microorganismos fijadores de N atmosférico en forma asimbiótica y de la inmovilización de la fracción soluble que realizan los microorganismos (Salisbury y Ross, 1994; Bertsch, 1995).

2.2.1.2 Nitrógeno inorgánico

El primer producto resultante de la descomposición de la materia orgánica (mineralización) es el NH_4^+ , proveniente de la descomposición de proteínas, aminoácidos y otros compuestos. Las tres formas inorgánicas más importantes, NH_4^+ , NO_2^- y NO_3^- representan generalmente del 2 al 5% del N total del suelo. La fuente de NH_4^+ proviene de la mineralización del N orgánico y de los fertilizantes.

Los porcentajes de N mineral tienden a ser más altos en suelos de regiones áridas y semiáridas, y los valores menores corresponden a suelos volcánicos.

El N inorgánico se presenta como óxido nitroso (N_2O), óxido nítrico (NO), dióxido de nitrógeno (N_2O_2^-), amoníaco (NH_3) en cantidades mínimas, además como amonio (NH_4^+), nitrito (NO_2^-) y nitratos (NO_3^-). El N-atmosférico existe en forma elemental libre (N_2) y en cualquiera de sus otras formas gaseosas (N_2O , NO , NO_2^- y NH_3).

Existen otras formas cristalinas inorgánicas, como las taranakitas (fosfatos amonicoferroaluminicos), que representan productos de transformación de fertilizantes fosfóricos (Bertsch, 1995). Se reconoce dentro del N inorgánico: una fracción, soluble donde se presentan los iones NH_4^+ y NO_3^- en la solución del suelo, provenientes de la mineralización del nitrógeno orgánico y los fertilizantes.

2.3. Mineralización del nitrógeno

La mayor proporción del nitrógeno del suelo se encuentra asociado a la materia orgánica en forma de aminoácidos o proteínas. Este N orgánico sufre una serie de transformaciones en el suelo que lo llevan a N mineral, en la cual se dan básicamente tres procesos de la mineralización: Aminización ó sea la

transformación de proteínas en aminos, Amonificación es el paso de aminos a amonio; estos primeros procesos por lo general se conoce como amonificación, es decir, que el proceso de mineralización conlleva a la formación de NH_4^+ que luego puede ser transformado en nitratos (NO_3^-) a través de la nitrificación. Estas dos formas de N mineral NH_4^+ y NO_3^- son las que las plantas absorben de la solución del suelo para su nutrición (Solórzano 1997, Bertsch, 1995).

El proceso de mineralización es afectado por el clima (temperatura, humedad), el suelo (mineralogía de arcillas, pH, aireación), la calidad de la materia orgánica (relación C/N, presencia de taninos), macrofauna, microorganismos y hasta manejo.

La mineralización se detiene en ambiente seco por la muerte de las bacterias nitrificantes, sin embargo, puede ocurrir con humedades muy bajas, debido a que los microorganismos son más hábiles extractantes de agua que las plantas (Reynolds-Vargas *et al.* 1994). También, puede ocurrir bajo condiciones de inundación, pero se detiene en la etapa de amonificación por cuanto solamente microorganismos aeróbicos pueden convertir amonio en nitratos. Bajo condiciones de periodos alternos de humedecimiento y secado, la mineralización es más rápida que bajo condiciones optima constantes de humedad. Este fenómeno probablemente esta asociado con una población microbiana más activa al humedecerse el suelo después de un periodo seco, o con una mayor accesibilidad del humus a los microorganismos por la contracción e hinchamiento de los minerales de la arcilla o de los revestimientos de óxidos de Fe y Al. En forma general una relación C/N baja tiende a favorecer la mineralización, en tanto que relaciones mayores de 25 conducen a una lenta mineralización o bien a la inmovilización del N (Bertsch, 1995).

2.3.1. Aminización

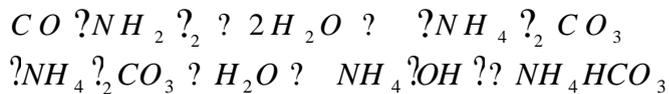
En primer lugar las enzimas proteolíticas actúan sobre las macromoléculas de las proteínas, los ácidos nucleicos y otros compuestos nitrogenados hasta descomponerlas en aminoácidos en la primera etapa llamada de aminización. Entre las bacterias aeróbicas que participan en este proceso se encuentran: *Bacillus* y *Pseudomonas* y entre las anaeróbicas está la *Clostridium*, también participan en éste proceso los hongos heterótrofos.

2.3.2. Amonificación

La conversión de sustancias más complejas a NH_4^+ se denomina amonificación. La amonificación de los aminoácidos se produce bioquímicamente a través de procesos de desaminación y descarboxilación, y conduce a la formación de amonio, que ya dentro de la solución del suelo pasa a comportarse como un catión corriente. El amonio resultante de esta etapa puede ser: absorbido por las plantas; adsorbido por el complejo coloidal inorgánico y orgánico; fijado por los minerales; inmovilizado por

microorganismos; lixiviado a través del suelo; oxidado hasta el nivel de nitratos (Fassbender y Bornemisza, 1987; Bertsch, 1995).

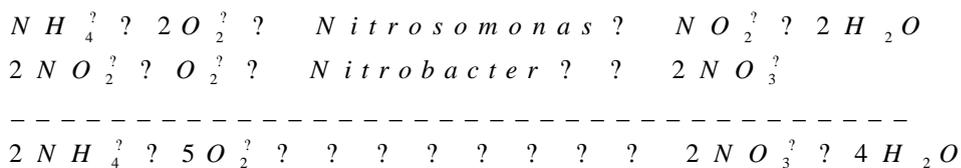
Amonificación



2.3.3. Nitrificación

Durante la nitrificación, el NH_4^+ es convertido a NO_2^- (el cual es tóxico para las raíces de las plantas) por las bacterias Nitrosomonas y luego es oxidado a NO_3^- por las bacterias Nitrobacter. Ambas reacciones tienen lugar al mismo tiempo. El anión NO_3^- es muy móvil y está sujeto a pérdidas por lixiviación.

Nitrificación



En esta etapa del proceso se da la intervención de microorganismos autótrofos exclusivamente aeróbicos. Las condiciones óptimas para la nitrificación son temperaturas alrededor de 25 a 35 °C, pH ligeramente ácido y condiciones intermedias de humedad (Solórzano, 1997; Bertsch, 1995 y Rivero, 1999).

La formación de las reservas de NO_3^- y NH_4^+ es altamente dependiente del pH. Con valores bajos de pH se generan cargas electropositivas donde se adsorben los NO_3^- . Existe un punto en el cual las cargas positivas y negativas de los complejos de intercambio desaparecen, presentándose entonces coagulación con un rápido lavado de los NO_3^- a través del perfil del suelo (Fassbender, 1993).

La nitrificación es importante por varias razones:

- El NO_3^- es inmediatamente disponible para uso de las plantas y microorganismos del suelo. En condiciones de buena aireación los organismos también usan NH_4^+ .
- Debido a la formación de NO_3^- el N puede perderse por denitrificación, proceso mediante el cual NO_3^- se reduce a formas gaseosas como el óxido nitroso (N_2O) o N_2 que se pierden a la atmósfera.
- El NO_3^- es altamente móvil y se mueve libremente con el agua del suelo. Mucho del NO_3^- puede lixivarse por el perfil del suelo, esto sucede más en los suelos arenosos profundos que en los

suelos de textura fina con un drenaje moderado. El manejo apropiado del N puede controlar la lixiviación a mantos freáticos e incrementar la productividad.

2.4. Lixiviación del Nitrógeno

El N en los residuos de los cultivos y en otras fracciones orgánicas (incluyendo la masa microbiana) está sujeto a erosión superficial, a movimientos con el agua y el sedimento. La principal preocupación del N en el ambiente se relaciona con el potencial movimiento del nitrato (NO_3^-) no usado o en exceso a través del perfil del suelo hacia el manto freático (lixiviación). Debido a su carga negativa, el NO_3^- no es atraído a las diferentes fracciones del suelo y más bien está libre para percolarse con el agua que se mueve a través del perfil.

El flujo del agua inicia con su ingreso al sistema, a través de las lluvias, el cual puede atravesar el dosel y llegar al suelo, o bien puede ser interceptada por el follaje de las plantas y luego evaporarse. El agua que llega al suelo se infiltra en el mismo desde ahí puede seguir uno o más de los siguiente caminos : a) permanecer en el suelo, b) ser absorbido por las raíces de las plantas y luego transpirada; c) moverse como escorrentía superficial; d) moverse verticalmente en dirección descendente saliendo del sistema como agua de percolación. Con esta última opción se lixivian los elementos nutritivos manejados en forma intensiva, por ejemplo en los cultivos perennes (Imbach *et al.*, 1988).

Las grandes cantidades de N que se aplican en los agroecosistemas de café, por ejemplo, potencialmente podrían afectar la calidad de las aguas subterráneas a causa de la lixiviación de nitratos. Las concentraciones de nitratos en las aguas subterráneas en el Valle Central de Costa Rica, que está rodeado de cafetales, ocasionalmente exceden de 10 mg N- NO_3^- /L, cantidad considerada como dañina para la salud. Sin embargo, no hay un conocimiento completo acerca del potencial del manejo de los sistemas agroforestales de café en la influencia de las concentraciones de nitratos (Reynolds-Vargas *et al.*, 1994).

2.5. Denitrificación

El mecanismo más importante de pérdida de nitrógeno del suelo como producto gaseoso es la denitrificación, que es la reducción de nitratos a óxido nitroso (N_2O) y nitrógeno molecular (N_2). Esto ocurre, especialmente, en suelos no muy ácidos, pobremente drenados, generalmente cerca de un pH de 5.0 bajo condiciones de poca aireación en presencia de poblaciones microbianas activas, y por lo tanto puede ser importante durante periodos húmedos, en suelos calientes bien abastecidos con materia orgánica descomponible.

2.6. Fijación del nitrógeno

Cuando el N atmosférico (N_2) se combina con H_2 u O_2 , ocurre un proceso llamado fijación. Este proceso debe ocurrir para que el N pueda ser utilizado por las plantas. La fijación puede ocurrir en varias formas.

2.6.1. Fijación biológica de nitrógeno

La fijación biológica puede ser simbiótica o no simbiótica. La fijación simbiótica de N se refiere al trabajo de bacterias que fijan N mientras crecen en asociación con una planta huésped. Esta asociación beneficia tanto a los microorganismos como a la planta huésped. El ejemplo más conocido es la asociación entre la bacteria *Rhizobium* y las raíces de las leguminosas (Bertsch, 1995). Estas bacterias forman nódulos en las raíces, en los cuales las bacterias fijan el N de la atmósfera y lo hacen disponible para las leguminosas. Las leguminosas entregan carbohidratos, los cuales proveen la energía necesaria para que las bacterias fijen N. Las prácticas de manejo, como las podas, afectan la fijación de N_2 por los árboles de sombra leguminosos en plantaciones de café. Estas prácticas afectarán los niveles de fijación de N_2 y la disponibilidad de N en las plantaciones (Nygren y Ramírez, 1995). Fassbender (1987), comparando los balances de nutrientes de asociaciones de café con árboles de sombra leguminosos y no leguminosos estimó que los árboles de *E. poeppigiana* fijaron 60kg N/ha/año. Nygren y Ramírez (1995), encontraron que los nódulos de *E. poeppigiana* desaparecieron casi completamente por diez semanas después de la poda, lo que sugiere que pueden haber 20 semanas en el año durante los cuales estos árboles podados (2 veces al año) no fijan N_2 y compiten con el cultivo asociado por el N del suelo.

2.7. Inmovilización del nitrógeno

El N puede también pasar de una forma inorgánica a una forma orgánica. Este proceso se llama inmovilización y es el reverso de la mineralización. Los microorganismos descomponen vigorosamente la nueva fuente de energía presente en los residuos orgánicos, pero al mismo tiempo necesitan N para formar las proteínas de sus cuerpos. Cuando el contenido de N en los residuos es bajo, los microorganismos utilizan el N inorgánico del suelo para satisfacer sus necesidades. De esta forma el N inorgánico del suelo es transformado en N orgánico presente en las proteínas de los microorganismos del suelo. Esta forma de N no es inmediatamente disponible para el crecimiento de las plantas, pero mucho de este N regresa gradualmente a forma disponible a medida que los microorganismos mueren y sus cuerpos se descomponen.

En este proceso el N inorgánico es incorporado e inmovilizado temporalmente en los microorganismos (Fassbender y Bornemisza, 1987).

La mineralización y la inmovilización ocurren simultáneamente en el suelo. El cambio de un suelo a dominancia de formas orgánicas o inorgánicas de N está gobernado principalmente por la relación C/N

de la materia orgánica que se está descomponiendo. Los materiales con una relación C/N amplia (mayor que 30:1) favorecen la inmovilización (Bertsch, 1995).

2.8. Flujos de nitrógeno dentro del sistema Café-Poró

Fassbender (1993), señala que el género de árboles más utilizado en Costa Rica para sombra de café corresponde a *Erythrina poeppigiana* tratándose de leguminosas que además de la reducción de la actividad lumínica, fija nitrógeno en el suelo y aporta cantidades considerables de residuos vegetales de forma natural, o por podas como material de cobertura. Se considera a la capa de hojarasca como el eslabón fundamental que mantiene unidos los componentes arbóreos con el suelo. Esta capa a su vez, por procesos de descomposición y mineralización, liberará nutrientes que podrán ser nuevamente absorbidos por las plantas. El cafeto adquiere los nutrimentos de las capas superficiales de los suelos, justamente donde se ubican una gran proporción de sus raíces absorbentes y pueden absorber del suelo el nitrógeno, ya sea en forma catiónica o aniónica, principalmente por medio de iones nitrato o amonio (Bertrand, 1999)

El poró es quizás la única especie de sombra de café que no genera productos adicionales, comerciables o utilizados en la finca. Su función básica, además de proporcionar sombra, es la de mejorar la fertilidad del suelo, dada su capacidad de fijar nitrógeno y el “mulch” proporcionado por medio de la poda (Sabogal, 1983). Por eso se refiere a esta especie como árbol de servicio. Es importante notar que el café puede producir aproximadamente la mitad de materia orgánica (residuos de poda/hojarasca natural) de todo el sistema cuando es asociado con poró (Glover y Beer, 1984).

Otra forma de interacción en el sistema, lo constituye la competencia por nutrientes y agua, principalmente a nivel radicular, entre el componente arbóreo y el cultivo, aunque su efecto según varios autores está más relacionado con la densidad de siembra, el manejo (p.e. podas que conlleva a la mortalidad temporal de raíces finas), la disponibilidad de agua y nutrientes en el suelo. Otra forma de interacción, sobre la cual se basa el sistema, la constituye la sombra que ejercen los árboles sobre el cultivo, aspecto que debe ser manejado a través de podas periódicas que regulen su intensidad y ofrezcan los niveles de luz requeridos por el cultivo (Beer, 1985; Fassbender, 1992; Hart, 1985).

Existe una relación directa entre la cantidad de materia orgánica y fertilidad del suelo que se deposita por un período de tiempo prolongado. Muchos estudios que se han realizado concluyen que la cantidad de materia orgánica producida durante un año, es hasta tres o cuatro veces mayor en un cafetal sombreado que en uno sin sombra. Asimismo, se ha observado que la cantidad de nutrimentos que se depositan en el suelo es mayor en los cafetales sombreados (Glover y Beer, 1984).

Babbar y Zak (1994), en el Valle Central de Costa Rica, encontraron variaciones respecto a la mineralización de N y a la nitrificación neta entre cafetales con y sin sombra. Ambos procesos mostraron variaciones temporales marcadas; el promedio de la tasa de mineralización fue de 148 kg

N/ha/año en sistemas con sombra, mientras que en las plantaciones sin sombra se obtuvo 111 kg N/ha/año. Esto quiere decir que cualquier exceso en la aplicación de fertilizantes nitrogenados, que las plantas no alcanzan a aprovechar, se puede perder por lixiviación ó por denitrificación. En el primer caso pasan a contaminar las fuentes de agua y en el segundo los óxidos de N emitidos a la atmósfera contribuyen con el efecto de invernadero y la desaparición de la capa de ozono.

En este mismo estudio, llevado a cabo en el Valle Central de Costa Rica por Babbar y Zak (1995), sobre lixiviación anual de nitratos, se demostró que ésta es tres veces mayor en cafetales sin sombra (24 kg N/ha/año) que en aquellos con sombra (9 kg N/ha/año). Se observó también en los meses más lluviosos de junio a septiembre, valores entre 11 y 37 mg/l de nitrógeno nítrico en la solución del suelo a 60 cm de profundidad, siendo más altas las concentraciones en plantaciones sin sombra. Esta diferencia entre las concentraciones de nitrógeno nítrico en cultivos con y sin sombra se considera debidas a que los sistemas agroforestales ayudan a ciclar los nutrientes en forma conservativa, reteniendo en este caso el nitrógeno para evitar pérdidas.

2.9. Evaluación de metodologías para medir la mineralización del N

Se han realizado muchos trabajos para estimar el suministro de N a partir de la mineralización del N orgánico en condiciones de laboratorio (Griffin y Laine, 1983; Flores, 1988). La mayoría de dichos trabajos consideran la estimación del potencial de mineralización del N, así como una tasa constante de mineralización en un tiempo dado.

En general, el procedimiento anterior tiene el inconveniente que estima la fracción de N mineralizable presente al momento de la recolección de la muestra en condiciones artificiales. Este reservorio es alterado bajo condiciones de campo como resultado del aporte de N orgánico desde las raíces y desde los residuos superficiales del suelo (especialmente bajo cero labranza o suelos forestales), y por la lenta transformación de la fracción de N orgánico más resistente (Raison *et al.*, 1987). Las mediciones de mineralización en condiciones de laboratorio, especialmente con suelos alterados, pueden ser un índice inexacto del proceso (Lamb, 1980; Hart y Binkley, 1985; Raison *et al.*, 1987).

Los métodos usados para medir o estimar la mineralización de N bajo condiciones de campo se indican a continuación: (1) Exposición de muestras alteradas de suelo dentro de bolsas plásticas enterradas en el campo (Eno, 1960; Westermann y Crothers, 1980); (2) Exposición de columnas de suelo relativamente no alteradas dentro de bolsas plásticas o cilindros enterrados en el campo (Matson y Boone, 1984; Nadelhoffer *et al.*, 1985; Raison *et al.* 1987); (3) Medición de N mineral recolectado con resinas de intercambio (Hart y Binkley, 1985); (4) Determinación del efecto de la temperatura y humedad sobre la mineralización del N relacionándolas mediante modelos con las fluctuaciones de estas variables a nivel de campo (Marion *et al.*, 1981; Macduff y White, 1985).

Además, de los posibles cambios inducidos por las raíces, pueden presentarse los siguientes inconvenientes: (a) La alteración del suelo afecta considerablemente la mineralización (Nordmeyer y Richter, 1985). Este efecto es mayor con el método (1) y puede ser más reducido con el método (2); (b) Las rápidas fluctuaciones en el contenido de humedad afectan significativamente la mineralización. Con los métodos (1) y (2) se mantiene el mismo contenido de humedad en el período de exposición; (c) El método (3) es cuantitativamente impreciso porque la captura de N mineral con resinas es muy dependiente del transporte de agua (Binkley, 1984) y no se mide el N absorbido por las raíces o NH_4^+ de intercambio en los coloides del suelo; (d) Las aproximaciones empleando modelos pueden ser útiles. Las superficies de respuesta a la temperatura y humedad deben ser determinadas en suelo sin alterar y se requiere registrar las variaciones estacionales (Popovic, 1971; Ellis, 1974; Richards *et al.*, 1985). No obstante, la respuesta en la fracción de N mineralizable no es constante respecto al tiempo. De todos los métodos indicados anteriormente, el (2) parece ser el más útil y Nadelhoffer *et al.* (1985), Raison *et al.* (1987) y Stein *et al.* (1987), aportan evidencias respecto a que esta técnica entrega buenas estimaciones de la mineralización neta de N en un amplio rango de suelos. El uso de cilindros enterrados permite medir la contribución de los horizontes o residuos orgánicos superficiales del suelo sobre la mineralización del N, especialmente en lo que respecta a la influencia de la microfauna presentes en ellos (Anderson *et al.*, 1985), de la biomasa microbiana del suelo (Ingham *et al.*, 1985) y del pool de N lábil presente en la fracción menos resistente de la materia orgánica (Sollins *et al.*, 1984). Sin embargo, no incluye el efecto de las raíces, las cuales son cortadas al preparar la columna.

III. Materiales y métodos

3.1. Localización y descripción del sitio de estudio

El estudio de la dinámica del N y su disponibilidad para la planta de café se realizó en dos fincas de manejo orgánico de café bajo diferentes condiciones de suelo y clima en los cantones de Paraíso y Turrialba, pertenecientes a la Provincia de Cartago (Figura 2). Los sitios bajo estudio son : i) Finca Cristina, localizada en Paraíso de Cartago, y ii) Estación Experimental “La Montaña” del CATIE, en el lote denominado ocho calles, ubicado en el cantón de Turrialba. La Finca Cristina, está ubicada en la falda sur del volcán Irazú en la Aldea de Birrisito de Paraíso, en la Provincia de Cartago, cuyas coordenadas geográficas corresponden a 09° 50' N y 83° 60' O.

La Finca Cristina se sitúa en la zona de la vida Premontano de Bosque Húmedo (Holdridge, 1979), el clima es bi-estacional con una temporada lluviosa (mayo-noviembre) y una temporada seca no muy definida (diciembre-abril), debido a la influencia de los vientos húmedos del Caribe. La Finca se encuentra a 1306 msnm, temperatura media anual de 17.1 °C y precipitación promedio de 2,400 mm/año. Los suelos de la zona son de origen volcánico pertenecen al orden de los Andisoles con buenas propiedades físicas, moderadamente fértiles y con altos contenidos de alófana que fija grandes cantidades de fósforo, la cual constituye una gran limitante (Bertsch 1995). Tiene una densidad aparente de 0.83 g/cm³ en los primeros 10 cm. El pH promedio en agua es de 6 y en KCl de 5 en la capa de suelo de 0-10 cm. La topografía se caracteriza por lomas redondeadas sobre cenizas volcánicas recientes, con diferente grado de meteorización (Chinchilla, 1987). La Estación Experimental “La Montaña” del CATIE, Turrialba, está ubicado en los 9° 53' N y 83° 34' O, a una altitud de 590 msnm. El clima es cálido y húmedo, con temperatura, precipitación y humedad relativa media anuales de 22.8

°C, 2308 mm y 89.12 %, respectivamente. La topografía es plana. El suelo fue clasificado como Humitropept Típico, fino halloisítico Isohipertérmico (US Soil Conservation Service, 1987). En la última revisión del sistema FAO (1989), se consideró un Umbric Cambisol. El pH en agua promedio es de 4.64 y en KCl de 3.72 en la capa de suelo de 0-10 cm. Tiene una densidad aparente de 0.93 g/cm³.



Figura 2. Ubicación de los sitios de estudio: Paraíso de Cartago y Turrialba, Costa Rica, 2003.

3.2. Tratamientos

En el Cuadro 1, se describen los tratamientos establecidos en estas dos fincas de manejo orgánico de café-poró :

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos para el estudio de la dinámica del N en un sistema de manejo orgánico de café asociado con poró.

Sitio	Tratamiento	Repeticiones
Paraíso de Cartago	*Restitución de residuos de poda	4
Finca Cristina	**Sin restitución de residuos de poda	4
Turrialba, CATIE	*Restitución de residuos de poda	4
'La Montaña'	**Sin restitución de residuos de poda	4

* Poda parcial a 2 m de altura, dejando 2-3 ramas por árbol con incorporación de los residuos dentro de la parcela (manejo normal de la finca).

** Poda parcial, dejando 2-3 ramas por árbol, pero con la eliminación de los residuos de poda y el mantillo superficial.

3.3. Diseño y unidades experimentales

Se utilizó un diseño irrestricto al azar (DIA) con cuatro repeticiones. Debido a las diferencias en el arreglo espacial de los árboles de poró en ambos sitios, el área de cada unidad experimental y área útil fue variable. Sin embargo, se utilizó el mismo número de árboles por parcela. La unidad experimental estuvo conformada por 25 árboles y el área útil de 9 árboles de poró.

3.4. Distribución de los tratamientos

La distribución de los tratamientos (poda con y sin restitución de residuos de poda) se realizó dentro de cada finca, asignando un tratamiento a cada parcela antes de realizar la poda para asegurar una distribución totalmente al azar. En Paraíso, la poda se realizó en el mes febrero y en Turrialba, CATIE, en el mes de marzo del 2003.

3.5. Manejo agronómico de las parcelas experimentales.

En Paraíso, la plantación de café fue sembrada por primera vez en el año 1969, con la variedad Caturra, simultáneamente se sembró el poró. Hasta la fecha se han realizado 5 ciclos de poda al cultivo de café. Durante los años 1985, 1998, 1999, 2000 y 2001 se han eliminado parte de las plantas de café por baja productividad realizando resiembras. La conversión hacia finca orgánica se dio en año de 1993.

Actualmente el poró está sembrado aproximadamente a 4.5 x 4.5 m con una densidad promedio de 500 árboles/ha. Respecto al cultivo del café, está sembrado aproximadamente a 1.33 m entre hileras y a

0.8–1.0 m entre plantas, para una densidad aproximada de 7500–9300 plantas/ha. En el Cuadro 2 se presenta un resumen de las practicas agronómicas realizadas en la finca Cristina, Paraíso.

En CATIE, la plantación fue establecida aproximadamente en 1983 con la variedad caturra en un 97 %, el poró se estableció hace aproximadamente 10 años. El poró esta sembrado a una distancia de 5 x 5 m (400 árboles/ha) y se realizan de 2 a 3 chapias al año. La densidad del café es de aproximadamente 8,000 y 9,000 plantas/ha. Antes del año 1999 este lote se manejaba de forma convencional con aplicaciones de agroquímicos para el control de enfermedades y fertilizantes. Entre los agroquímicos aplicados estaban los herbicidas Paraquat, glifosato y 2-4 D. Paralelo a ello se aplicaban fertilizantes tales como urea 46 % en dosis de 200 kg/ha y formulas completas 18-5-15-6-0.7 (N, P₂O₅, K₂O, MgO y B). Para esa época al poró se le realizaban tres descumbras al año. A partir del mes de mayo de 1999 se paso al proceso de café de manejo orgánico, con aplicaciones de enmiendas en dosis de 2 kg/planta de broza descompuesta y 2 kg/planta de cachaza cada año. Para mantener balanceado el pH del suelo se han aplicado aproximadamente 1.5 tonelada/ha de CaCO₃. También se han realizado aplicaciones de biofertilizantes naturales en dosis de 0.5 L/Bomba. Actualmente se realizan entre 1 y 2 podas al año, en dependencia de los recursos disponibles. En el Cuadro 3 se presenta un resumen de las prácticas agronómicas realizadas en las parcelas. Igualmente se seleccionó una parcela con manejo convencional para realizar comparaciones de concentraciones de N en el perfil del suelo de 0-200 cm

Cuadro 2. Prácticas agronómicas en la finca de manejo orgánico de café, Paraíso, Cartago, Costa Rica.

Actividad	Método/tipo	Época	Observaciones
Poda	Manual	Febrero/03	Poda parcial (40 % sombra) y poda total (0 % de sombra) a 10-15 árboles por parcela .
Control de malezas	Manual	Febrero/03 Julio/03	
Deshija	Manual	Julio/03 Agosto/03	Con eliminación de plantas viejas
Fertilización	Enmienda	Julio/03	Se aplicó "KMAG" (22 K ₂ O, 18 MgO, 22 S), en dosis de 143 kg/ha entre las calles del café.
Fertilización	Enmienda	Sept/02	Se aplicó lombricompost a base de pulpa de café, residuos de poró y gallinaza, con una dosis de 171 kg/ha, entre las calles del café.

Cuadro 3. Prácticas agronómicas en la finca de manejo orgánico de café, Lote 8 calles, Campo Experimental La Montaña, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 2003.

Actividad	Método/tipo	Época	Observaciones
Poda	Manual	Marzo/03	Poda parcial (40 % sombra) y poda total de (0 % de sombra) a 3 árboles por parcela.
Control de malezas	Manual	Marzo/03 Junio/03	
Deshija	Manual	Agosto/03	

Cuadro 4. Algunas propiedades químicas de los sitios bajo estudio, Cartago, Costa Rica, 2003.

Sitio	pH		%		Densidad aparente (g/cm ³)
	Agua	KCl	C total	N total	
Paraíso	6.0	5.0	4.68	0.4	0.83
CATIE	4.64	3.73	3.59	0.34	0.93

Muestras de suelo de la capa de 0-10 cm analizadas en agosto 2003.

3.6. Variables de estudio

- ✍ Materia seca y aporte de N por la poda y el mantillo superficial
- ✍ Mineralización y nitrificación neta del N del suelo
- ✍ Concentración de nitratos en el agua de lixiviación: Esta variable se midió solamente en Paraíso.
- ✍ Determinación del contenido de N mineral (N-NO₃⁻ y NH₄⁺) en el suelo
- ✍ Fijación del nitrógeno atmosférico
- ✍ Número y biomasa de nódulos

3.7. Metodología para medir materia seca y aporte de N de los residuos de poda del poró

Para el establecimiento de los ensayos en los sitios de estudio de inicio se delimitaron las parcelas para definir los tratamientos (con y sin restitución de residuos de poda) como una premisa fundamental para la medición de las variables en estudio. Dichos tratamientos se establecieron al momento de la operación de poda en febrero (Paraíso) y marzo (CATIE) del 2002, de la cual se midió la biomasa proveniente de los residuos de poda de los árboles de poró (Foto 1).

En ambas fincas, las unidades experimentales estaban formadas por 25 árboles de poró y cada parcela útil estaba constituida por 9 árboles. Durante la operación de poda, cada árbol se procedió a separar las hojas (incluido el pedicelo) de las ramas y se pesaron por separado (hojas y ramas) *in situ* para obtener el peso fresco de la biomasa podada. Inmediatamente, las hojas de cada árbol se mezclaron entre sí, se tomó una muestra al azar de aproximadamente 500 gramos y luego se colocó en bolsa plástica para evaluación del peso seco. Respecto a las ramas, para cada árbol, se separó el material vegetal en diferentes clases diámetro (<3, 3-7 y >7 cm) y se pesaron por separado, tomando muestras de aproximadamente 500 gramos de la base, de la parte media y del extremo de la rama en forma de discos no mayores de 1 cm de grosor para asegurar un secado uniforme de la madera en el horno. Este procedimiento se realizó para los 9 árboles de poró de la parcela útil en todas las parcelas de las dos fincas.



Foto 1. Tratamientos establecidos durante la operación de poda. Izquierda: Parcelas con restitución de residuos de poda; Derecha: Parcelas sin restitución de residuos de poda. (Foto V.H. Arana).

Seguidamente las muestras de los diferentes compartimientos (hojas y ramas por diámetro) se enviaron al laboratorio para evaluar el peso seco (en horno a 60° C hasta peso constante) y determinar el N total por el método de semi-micro-Kjeldahl (Díaz-Romeu, 1977). Luego, con los valores de peso seco y peso fresco de las muestras se obtuvo el porcentaje de materia seca (% MS) para cada una de ellas. Esta proporción de materia seca se multiplicó por el peso fresco de la biomasa cosechada de cada árbol y se obtuvo la materia seca que produjo cada árbol en la operación de poda. Con los valores de materia seca por parcelas se calculó la biomasa aportada al sistema por tratamiento.

Una vez obtenido los análisis de N total de las hojas y ramas se procedió a calcular la cantidad de N aportado por los residuos de poda en cada parcela y tratamiento, mediante la formula siguiente :

$$QN = NT * MS$$

Donde : **QN = Cantidad de N adicionado por hojas o ramas (kg/ha).**

NT = % de N total determinado en cada compartimiento (hojas o ramas).

MS = Materia Seca de las hojas o ramas (kg/ha)

Por otro lado, en el tratamiento con restitución de residuos se midió la cantidad de materia seca y nitrógeno del mantillo superficial con un marco de 0.5 x 0.5 m. Se tomaron de 4 muestras por parcela de aproximadamente 500 g, estas se llevaron al horno por 48 horas a 105 °C para determinar el % de materia seca y % de N total.

3.8. Metodología para medir mineralización y nitrificación del N del suelo

Para el estudio se utilizó el método modificado de incubación aeróbica 'in situ' de Raison *et al.*, (1987), propuesto por Anderson e Ingram (1993). El procedimiento de incubación se aplicó a la capa

de suelo de 0-10 cm, ya que en esta profundidad se encuentran la mayor actividad de los microorganismos.

Las muestras de suelo fueron incubadas aeróbicamente en el campo por periodos de 4 semanas, desde el 17 enero hasta el 01 de septiembre en Paraíso y del 30 de marzo al 16 de septiembre del 2003 en CATIE.

El método recomendado involucró muestras al azar en las parcelas para proveer una muestra simple para el análisis. Se utilizaron tubos de PVC de 20 cm de largo y 7.62 cm de diámetro interno para aislar suelo durante la incubación.

3.8.1. Procedimiento de campo

Para la incubación aeróbica, se utilizó un barreno de 7.62 cm de diámetro interno y 25 cm de largo (Foto 2a), con el cual se sacaron ocho muestras aleatorias de suelo por tratamiento, es decir, dos muestras de suelo por cada parcela (una en la hilera y otra en la calle del café) a una profundidad de 0-10 cm a 1.5 m del árbol de poró. Dichas muestras se colocaron en igual número de tubos de PVC (Foto 2b), los cuales se enterraron en el lugar de muestreo a la misma profundidad de la toma de muestra (0-10 cm).



a)



b)



c)

Foto 2. a) Barreno usado para toma de muestras; b) Inserción de muestras en tubo de PVC para incubar suelo; c) Extracción de muestras iniciales de suelo. (Foto V.H. Arana).

Inmediatamente, después de la incubación en cada parcela, se tomaron muestras de suelo a 30 cm de distancia de las muestras incubadas para determinar en el laboratorio el contenido inicial de N-NO_3^- y N-NH_4^+ (Foto 2c).

Los tubos de PVC estuvieron cubiertos en sus extremos para proteger las muestras del efecto de la lixiviación por lluvias. Para ello se dejaron 10 cm del tubo proyectado sobre la superficie del suelo,

este segmento fue perforado en sus costados con 4 agujeros para permitir la entrada del oxígeno necesario para la actividad de las bacterias aeróbicas (Foto 3). El extremo inferior de cada tubo de PVC se selló con una malla metálica de 100 μm para impedir la invasión de raíces a la muestra incubada y permitir un equilibrio entre la humedad del suelo y la muestra.

Al concluir el mes de incubación las muestras fueron enviadas al laboratorio para determinar la concentración de N mineral (nitratos y amonio). Simultáneamente se tomaron nuevas muestras iniciales para el siguiente proceso de incubación.

La mineralización neta se calculó por diferencias de los contenidos de nitrógeno mineral final (incubado) menos inicial, cuyo reporte estuvo expresado como mg N kg^{-1} de suelo seco/4 semanas.



Foto 3. Tubos de PVC para incubación aeróbica *in situ* para medir mineralización de nitrógeno del suelo. Izquierda: Parcelas con restitución de residuos de poda. Derecha: Parcelas sin restitución de residuos poda. Finca Cristina, Paraíso, 2003. (Foto V.H. Arana).

3.8.2. Procedimiento en el laboratorio

Los análisis para mineralización de N se realizaron en el Laboratorio de Suelos del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), ubicado en Turrialba, Costa Rica.

Debido a las rápidas transformaciones biológicas que ocurren con el nitrógeno en el suelo, la extracción del NO_3^- y el NH_4^+ , se debieron realizar lo más rápidamente posible después de la toma de muestras en el campo. Para la extracción del nitrato y el amonio se utilizó el reactivo KCl 1N. Una vez que las muestras de suelo llegaron al laboratorio se procedió a homogenizar las mismas, donde se removieron todas las impurezas como piedras, palos, raíces, etc., y se desmenuzaron los agregados.

Para el análisis del amonio y nitrato se procedió, de acuerdo al protocolo siguiente (Mulvaney, 1996):

3.8.2.1. Protocolo para la extracción del N mineral (N-NO₃⁻ y N-NH₄⁺) del suelo:

- i. De cada muestra de suelo y con la ayuda de una balanza analítica se pesaron 10 gramos de suelo en botellas de centrifuga de 250 ml de capacidad.
- ii. Simultáneamente, de cada muestra, se pesaron 20 gramos de suelo que se colocaron en latas. Luego, dichas muestras se secaron en horno a 105 °C por 24 horas para determinar la humedad del suelo.
- iii. A cada botella de centrifuga con la muestra se agregó 100 ml del reactivo KCl 1 N, mediante el uso de un dispensador previamente calibrado. Inmediatamente se taparon las botellas con un tapón de hule para evitar cualquier fuga.
- iv. Se agitaron las muestras de suelo por 1 hora, mediante el uso de un agitador mecánico horizontal.
- v. Se centrifugaron las muestras de suelo, mediante el uso de una centrifuga con cabezote para tubos de 250 ml por un periodo de cinco minutos a 3000 rpm.
- vi. Se preparó una muestra de blanco que contenía el reactivo menos la muestra de suelo, la cual fue agitada junto a las otras muestras.
- vii. Finalmente, se procedió a filtrar las muestras utilizando papel filtro Whattman # 42 y se guardaron los extractos claros. Los extractos que no se analizaron de inmediato se guardaron en refrigerador (5 °C) hasta el momento adecuado de su análisis.

3.8.2.2. Protocolo para determinación colorimétrica del N mineral (N-NO₃⁻ y N-NH₄⁺):

Para determinar el N-mineral (NH₄⁺ y NO₃⁻) a partir del extracto filtrado se utilizó el método colorimétrico (Mulvaney, 1996), haciendo uso del equipo autoanalizador marca ALLIANCE Integral Futura.

Los materiales utilizados para la determinación fueron:

- i. Tubos para el automuestreador.
- ii. Manifold para Amonio.
- iii. Reservorios para reactivos.

Determinación colorimétrica del nitrato

Preparación de reactivos:

Solución de Cloruro de Amonio: Se disuelve en un balón aforado de un litro 10 gramos de la sal cloruro de amonio (NH₄Cl) y se afora con agua destilada. Este reactivo es estable por 2 semanas. Luego, se adiciona una gota de Brij35 al reservorio del equipo que contiene esta solución.

Sulfanilamida: Se disuelve en aproximadamente 250 ml de agua destilada 25 ml de HCl concentrado (HCl 12N), luego adiciona 2.50 gramos del reactivo Sulfanilamida ($\text{NH}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{NH}_2$), se disuelve y afora a 500 ml con agua destilada. Se guarda en botella oscura. Este reactivo es estable por dos semanas.

N-N-Naftyletilendiamina: En un balón de 500ml, se coloca 0.250 gramos del reactivo N-N-Naftyletilendiamina ($\text{C}_{10}\text{H}_7\text{NHCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2 \cdot 2\text{HCl}$), se disuelve y afora a 500 ml con agua destilada. Se guarda en botella oscura. Este reactivo es estable por dos semanas.

Solución estándar de 100 mg/l de N-NO_3^- : Se pesa 0.722 gramos de reactivo Nitrato de Potasio puro y seco, luego se disuelve y afora a un litro con agua destilada.

Solución estándar de 100 mg/l de N-NO_2^- : Se pesa 0.4928 gramos de reactivo Nitrito de Sodio puro y seco, luego se disuelve y afora a un litro con agua destilada.

Curva Patrón: De la solución estándar de 100 mg/l de N-NO_3^- , se prepara una curva patrón de 0.25 a 2.5 ppm de N-NO_3^- , en solución de KCl 2N.

Reactivo BRIJ 35.

Columna de Cadmio: Referencia ALLIANCE CADM.001

Procedimiento para determinar nitrato:

1. Se realizan todas las conexiones de los reactivos según el Manifold a utilizar, sin la columna de Cadmio. La solución de "Rinse" es KCl 2N.
2. Se pasa el reactivo de cloruro de amonio el tiempo suficiente hasta verificar que no hay en el circuito de la columna, ni aire ni agua. Luego, se conecta la columna de cadmio.
3. Cuando todo el Manifold está conectado correctamente, se pasa primero por cinco minutos una solución patrón de 100 ppm de N-NO_2^- . Luego, se espera un minuto y se pasa por cinco minutos la solución patrón 100 mg/l de N-NO_3^- . Si la columna de cadmio funciona correctamente la diferencia en el valor de densidad óptica (DO) no debe ser superior al 10%.
4. Cuando el sistema está funcionando correctamente, se colocan las muestras en el automuestreador y se sigue todo el proceso indicado para la determinación de nitratos, según el Manifold y modelo del equipo.
5. Al finalizar el análisis se debe pasar por la columna de cadmio únicamente Cloruro de Amonio para lavarla bien, en este caso la solución "Rinse" se cambia también por Cloruro de Amonio y se deja al menos por 15 minutos. Posteriormente, se desconecta la columna de cadmio y se guarda en solución de Cloruro de Amonio.
6. Una vez que se quita la columna de cadmio se desconectan los reactivos y se lava todo el sistema por 30 minutos con agua destilada.

Determinación colorimétrica del amonio

Preparación de reactivos:

Solución Tampón: Se disuelve en aproximadamente 700 ml de agua destilada 25 gramos de Hidróxido de Sodio (NaOH) en escamas, se adiciona 10 gramos de E.D.T.A. sal disódica y 10 gramos de Tartrato de Sodio y Potasio ($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), se disuelve y afora a un litro con agua destilada. Luego, se adicionan dos gotas de Brij35 al reservorio del equipo que contiene la solución tampón.

Salicilato de Sodio: Se disuelve en aproximadamente 700 ml de agua destilada 42.5 gramos de Salicilato de Sodio ($\text{OHC}_6\text{H}_4\text{COONa}$) y 0.30 gramos de Nitroprusiato de Sodio ($\text{Na}_2\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Se afora a un litro con agua destilada. Luego, se guarda en botella oscura. Este reactivo es estable por un mes.

Dicloroisocianurato de Sodio: Se disuelve 0.625 gramos del reactivo Dicloroisocianurato de Sodio ($\text{C}_3\text{Cl}_2\text{N}_3\text{O}_3\text{Na}$) y tres gramos de Hidróxido de Sodio (NaOH) en 0.50 litro de agua destilada. Se guarda en botella oscura. Este reactivo es estable por un mes.

Reactivo BRIJ 35.

Solución estándar de 100 mg/l de N-NH₄⁺: Se disuelve 0.4716 gramos de $(\text{NH}_4^+)_2\text{SO}_4$ en un balón aforado de un litro con agua destilada. La solución patrón contendrá 100 mg/l de N-NH₄⁺.

Curva Patrón: De la solución estándar de 100 mg/l de N-NH₄⁺, se prepara una curva patrón de 0.25 a 2.5 ppm de N-NH₄⁺ en solución de KCl 2 N.

Procedimiento para determinar amonio:

1. Se realizan todas las conexiones de los reactivos según el Manifold a utilizar. La solución de "Rinse" utilizada fue KCl 2N.
2. Las muestras se colocaron en el automuestreador y se siguió todo el proceso indicado para el Manifold y modelo del equipo.
3. Al finalizar el análisis se desconectaron los reactivos y se lavó todo el sistema por 30 minutos con agua destilada.

Una vez que se analizaron las muestras se procedió al cálculo de las concentraciones de N-NO₃⁻ y N-NH₄⁺ a través de las siguientes ecuaciones:

$$\text{N-NO}_3^- \text{ (mg/kg)} = (\text{ppm}_m - \text{ppm}_{bl}) * 100 / (\text{peso muestra corregida base seca})$$

Donde: ppm_m: partes por millón de la muestra (mg/l de N-NO₃⁻).

ppm_{bl}: partes por millón del blanco (mg/l de N-NO₃⁻).

$$\text{N-NH}_4^+ \text{ (mg/kg)} = (\text{ppm}_m - \text{ppm}_{bl}) * 100 / (\text{peso muestra corregida base seca})$$

Donde: ppm_m: partes por millón de la muestra (mg/l de N-NH₄⁺)

ppm_{bl}: partes por millón del blanco (mg/l de N-NH₄⁺).

3.8.2.3. Análisis estadístico

Para determinar en cada sitio el efecto de la restitución de residuos de poda sobre la mineralización del N y la nitrificación se realizó una Prueba de t con muestras pareadas dependientes con un margen de error del 5 %, a través del Programa Statistical Analysis Systems (SAS Institute, 1999), de acuerdo al siguiente modelo matemático:

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + e_{1(i)} + L_j + TL_{ij} + e_{1(ij)} + F_k + FT_{ik} + FL_{ij} + FTL_{ijk} + e_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = Variable de respuesta

μ = Media general

T_i = Efecto del tratamiento (con y sin restitución)

$e_{1(i)}$ = Error debido al tratamiento

L_j = Efecto del lugar de muestreo (hilera-calle)

TL_{ij} = Interacción tratamiento-lugar

$e_{1(ij)}$ = Error debido al lugar de muestreo (hilera-calle)

F_k = Efecto de la fecha de muestreo

FT_{ik} = Efecto de la interacción fecha-tratamiento

FL_{ij} = Efecto de la interacción fecha-lugar

FTL_{ijk} = Efecto de la interacción fecha-tratamiento-lugar

e_{ijkl} = Error debido a la fecha de muestreo

Análisis entre sitios: Para determinar el efecto del sitio sobre la mineralización y la nitrificación neta del N se realizó un análisis de varianza combinado y una prueba rangos múltiples de Duncan con un margen de error del 5 %, a través del Programa Statistical Analysis Systems (SAS Institute, 1999), de acuerdo al siguiente modelo matemático.

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + e_{1(i)} + L_j + SL_{ij} + e_{1(ij)} + F_k + FS_{ik} + FL_{ij} + FSL_{ijk} + e_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = Variable de respuesta

μ = Media general

S_i = Efecto del sitio

$e_{1(i)}$ = Error debido al sitio

L_j = Efecto del lugar de muestreo (hilera-calle)

SL_{ij} = Interacción sitio-lugar

$e_{1(ij)}$ = Error debido al lugar de muestreo (hilera-calle)

F_k = Efecto de la fecha de muestreo

FS_{ik} = Efecto de la interacción fecha-sitio

FL_{ij} = Efecto de la interacción fecha-lugar

FSL_{ijk} = Efecto de la interacción fecha-sitio-lugar

e_{ijkl} = Error debido a la fecha de muestreo

3.9. Metodología para medir el efecto de la poda sobre pérdida de nitratos del suelo por lixiviación

3.9.1. Concentración de nitratos en el agua de lixiviación

Para determinar las concentraciones de nitratos en la solución del suelo, en cada parcela se colocaron lisímetros con cápsulas de cerámica porosa a tres profundidades: 30, 60 y 120 cm (Foto 4a) con dos repeticiones por parcela. El primer grupo de cápsulas de cerámica (18) se establecieron entre agosto y septiembre del 2002. El segundo grupo (30) se estableció entre el 18 y 20 de febrero del 2003, fecha a partir de la cual se iniciaron los muestreos. En total se establecieron 48 lisímetros, 24 en parcelas con restitución y 24 en parcelas sin restitución de residuos: 16 a 30 cm, 16 a 60 cm y 16 a 120 cm de profundidad (Cuadro 5). Estos aparatos consisten en un tubo plástico ajustado con una cápsula de cerámica porosa en la extremidad de 23.4 mm de diámetro externo y 54 mm de largo. Por el interior del tubo de plástico rígido y hasta la cápsula recorren dos tubos capilares flexibles de 3 mm de diámetro: un tubo capilar de purga que se identifica por la presencia de un anillo de color amarillo y un tubo capilar de carga por donde se extrae la muestra de agua de la solución del suelo. Después de cada muestreo la cápsula de cerámica se llena de agua destilada desgasificada por medio de una jeringa y después de aproximadamente 10 días de intercambio catiónico, existe normalmente un equilibrio de concentración iónica entre la solución del suelo y el agua de la cápsula.



Foto 4. Izquierda: a) Lisímetros con cápsulas de cerámica porosa a tres profundidades: 30, 60 y 120 cm; Derecha: b) Barreno de 5 cm de diámetro y hasta 2 m de largo, utilizado para la instalación de lisímetros y muestreo para determinación del contenido de N mineral ($N-NO_3^-$ y NH_4^+) en el suelo. (Foto V.H. Arana).

Cuadro 5. Profundidades y número de lisímetros con cápsula de cerámica utilizados en parcelas con y sin restitución de residuos de poda.

Prof. (cm)	Con Restitución	Sin Restitución	Total Lisímetros
30	8	8	16
60	8	8	16
120	8	8	16
Total	24	24	48

Para la instalación de los lisímetros en campo se utilizó un barreno de 5 cm de diámetro (Foto 4b), con el cual se perforó el suelo cada 10 cm hasta la profundidad deseada (120 cm), estratificando las capas del perfil de suelo. Posteriormente, se introdujo el lisímetro y luego se colocó arena fina al fondo del agujero para evitar posibles fugas de aire por la retracción de las arcillas. Finalmente, se rellenó el agujero con capas de lodo de su respectivo estrato de suelo, teniendo cuidado de no dejar cámaras de aire.

Los lisímetros se colocaron paralelos a las hileras de las plantas de café, entre 40 y 50 cm de la base de cada planta y a 1.5-2.0 m de distancia de tronco de los árboles de poró. La Foto 5 ilustra un punto muestral y la disposición de los lisímetros en el campo en parcelas con y sin restitución de residuos. Los lisímetros estaban separados entre sí entre 30-40 cm.

Estas cápsulas solamente se colocaron en el ensayo establecido en Finca Cristina, ubicado en Paraíso de Cartago. Las muestras se extrajeron por un periodo de ocho meses (febrero-septiembre 2003) con intervalos de muestreos de 10 días. El N mineral ($N-NO_3^- + N-NH_4^+$) de las muestras de agua se determinaron por medio del método colorimétrico (Mulvaney, 1996), de acuerdo al protocolo mencionado en el párrafo 3.8.2 2.



Foto 5. Lisímetros de cápsula de cerámica instalados en el campo a tres profundidades (30, 60 y 120 cm) para medir pérdidas de nitratos del suelo por lixiviación. Izquierda: Parcela con restitución de residuos; Derecha: Parcelas sin restitución de residuos. (Foto V.H. Arana).

3.9.1.1. Análisis estadístico

Para determinar el efecto de la restitución de residuos de poda sobre la lixiviación de nitratos se realizó un análisis de varianza y una prueba de rangos múltiples de Duncan con un margen de error del 5 %, a través del Programa Statistical Analysis Systems (SAS Institute, 1999), de acuerdo al siguiente modelo matemático.

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + e_{l(i)} + P_j + PT_{ij} + e_{l(ij)} + F_k + FT_{ik} + FP_{ij} + FPT_{ijk} + e_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = Variable de respuesta

μ = Media general

T_i = Efecto del tratamiento (con y sin restitución de residuos)

$e_{l(i)}$ = Error debido al tratamiento

P_j = Efecto de la profundidad de muestreo (30, 60 y 120 cm)

PT_{ij} = Interacción profundidad-tratamiento

$e_{l(ij)}$ = Error debido a la profundidad de muestreo

F_k = Efecto de la fecha de muestreo

FT_{ik} = Efecto de la interacción fecha-tratamiento

FP_{ij} = Efecto de la interacción fecha-profundidad

FPT_{ijk} = Efecto de la interacción fecha-profundidad-tratamiento

e_{ijkl} = Error debido a la fecha de muestreo

3.9.2. Determinación del contenido de N mineral ($N-NO_3^-$ y NH_4^+) en el suelo

En el mes de junio del 2003 se determinó el contenido de N mineral en el perfil del suelo en los sitios bajo estudio, para ello se utilizó un barreno de 5 cm de diámetro (Foto 4b), se tomaron muestras de suelo en Paraíso (manejo orgánico) y CATIE (manejo orgánico y convencional). Se realizó un muestreo de suelo por profundidad: 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 y cada 20 cm hasta 200 cm (12 estratos). Hasta 40 cm de profundidad cada muestra estuvo formada por cuatro submuestras. Se identificó un árbol de poró al azar para los muestreos hasta los 200 cm (todos los 12 estratos), luego se seleccionó otro árbol al azar y se realizaron muestreos hasta 80 cm (primeros 6 estratos). Seguidamente, se identificaron 2 árboles donde se tomaron muestras hasta los 40 cm (primeros 4 estratos). Finalmente, las submuestras de cada profundidad se mezclaron para formar una muestra compuesta hasta los 40 cm (4 submuestras), de 40 a 80 cm (2 submuestras) y de 100 a 200 cm fueron muestras simples. Los muestreos de suelo se realizaron a 2 m del árbol de poró y a 40 cm de la hilera de café en cada una de las parcelas. Las muestras, fueron puestas en hieleras y llevadas al laboratorio.

Para su análisis, el N mineral (N-NO_3^- y NH_4^+) fue extraído y determinado, según los protocolos mencionado en los párrafos 3.8.2.1. y 3.8.2.2 (Mulvaney, 1996).

3.9.2.1. Determinación de pH de muestras del suelo

Para determinar si en el suelo existían cargas positivas que pudieran adsorber los nitratos, se determinó el pH del suelo disuelto en KCl 1N y en agua destilada (Díaz Romeu y Hunter, 1978).

Procedimiento:

- ?? De cada muestra se pesaron 10 ml de suelo secado al aire y tamizado por malla de 2 milímetros y se colocaron en tazas de plástico.
- ?? A cada muestra se le agregó 25 ml de KCl 1N o agua destilada, de acuerdo al análisis de pH respectivo, utilizando un dispensador triple, previamente calibrado.
- ?? Mediante el uso de un agitador vertical, primeramente las muestras se agitaron por cinco minutos a aproximadamente 400 rpm, luego se dejaron en reposo por 20 minutos y finalmente se volvieron agitar por un minuto.
- ?? Seguidamente, a las muestras se les determinó el pH mediante el uso de un Potenciómetro marca Orion Research Modelo 70 A / digital IONALIZER, previamente calibrado.

3.9.2.2. Determinación de densidad aparente del suelo

La densidad aparente refleja el contenido total de porosidad en un suelo y es importante para el manejo de los suelos (refleja la compactación y facilidad de circulación de agua y aire). También es un dato necesario para transformar los resultados de los análisis de los suelos en el laboratorio (expresados en % en peso) a valores de % en volumen en el campo. La densidad aparente se determinó por medio del método de cilindro de volumen conocido (Forsythe, 1980). Para ello se realizaron en el mes de septiembre 3 calicatas, una en cada finca (Paraíso y CATIE) de manejo orgánico y una en un lote de manejo convencional ubicada cerca del lote de manejo orgánico en CATIE, de donde se tomaron las muestras con los cilindros rebanando cuidadosamente ambos lados del mismo. La calicata tuvo 1 m de largo por 1 m de ancho hasta los 2 m de profundidad.

El procedimiento de campo consistió en realizar 3 muestreos con cilindros a las profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80, 80-100, 100-140, 140-180, 180-200 cm. No obstante, en la finca de manejo orgánico de CATIE se realizaron muestreos hasta la profundidad de 80 cm, ya que el nivel freático del agua no permitió llegar hasta los 2 m de profundidad.

Una vez tomadas las muestras se trasladaron al laboratorio de suelos del CATIE y se llevaron al horno a 105 °C por 48 horas para determinar el peso seco. Con este valor y el volumen conocido del cilindro se determinó la densidad aparente de cada muestra, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Da = PS * Vc$$

Donde :

Da = Densidad Aparente (g/cm³)

PS = Peso Seco de muestra de suelo (g)

Vc = Volumen del cilindro (cm³)

3.9.2.3. Análisis estadístico

Para determinar el efecto de la restitución de residuos de poda sobre la concentración de nitratos en la solución del suelo, se realizó un análisis de varianza y una prueba de rangos múltiples de Duncan con un margen de error del 5 %, a través del Programa Statistical Analysis Systems (SAS Institute, 1999), de acuerdo al siguiente modelo matemático:

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + e_{k(i)} + P_j + TP_{ij} + e_{k(ij)}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable de respuesta

μ = Media general

T_i = Efecto del tratamiento (con y sin restitución de residuos)

$e_{k(i)}$ = Error debido al tratamiento

P_j = Efecto de la profundidad de muestra (5, 15, 25, 35, 50, 70 cm)

TP_{ij} = Interacción tratamiento-profundidad

$e_{k(ij)}$ = Error debido a la profundidad de muestreo

Debido a que en el tratamiento con restitución de residuos se realizaron muestreos a profundidades mayores de 80 cm, se realizó un análisis de varianza y prueba de rangos múltiples de Duncan, a través del siguiente modelo matemático:

$$Y_{ij} = \mu + P_j + e_{ij}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable de respuesta

μ = Media general

T_i = Efecto de la profundidad (5, 15, 25, 35, 50, 70, 90, 110, 130, 150, 170 y 190 cm)

$e_{k(i)}$ = Error debido a la profundidad

3.10. Fijación del nitrógeno atmosférico

La fijación del N por el poró se determinó a través del método de abundancia natural del ^{15}N (FAO, 1995), usando a *Eucalyptus deglupta* y *Coffea arabica* como plantas de referencia no fijadoras de N.

La recolección de las muestras se realizó en dos etapas:

Primer muestreo : Se realizó en la finca Cristina, Paraíso, el 18 de octubre de 2002, previo a la poda del poró, en la cual se recolectaron al azar muestras de hojas completamente desarrolladas de árboles de poró podados total y parcialmente. También se tomaron muestras de hojas de árboles no podados fuera del ensayo. Se seleccionaron nueve árboles por tratamiento, de los cuales se tomaron 10 hojas por árbol.

Con relación a las plantas de referencia, se recolectaron al azar hojas de tres árboles de *E. deglupta* que se encontraban en forma de linderos o dispersos en las áreas de café. Asimismo, se tomaron siete muestras al azar de hojas de café dentro del lote del experimento.

Las muestras fueron llevadas al horno para secado a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 48 horas. Luego, fueron molidas finamente y enviadas al INRA de Nancy en Francia para determinar el índice de $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ y su abundancia natural ($d^{15}\text{N}$), a través del Espectrómetro de Masa.

Segundo muestreo: se realizó en ambas fincas el 9 y 10 de agosto del 2003, seis meses después de la poda de febrero-marzo 2003. En la finca Cristina, Paraíso se recolectaron 10 muestras (10 árboles) por tratamiento (20 muestras) conformadas de 10 hojas de poró cada muestra, provenientes de rebrotes de ramas de árboles con **poda parcial** (Foto 6a) en parcelas con y sin restitución de residuos. Igualmente se recolectaron 10 muestras (10 árboles) por tratamiento (20 muestras) conformadas de 10 hojas de poró, provenientes de rebrotes de ramas de árboles con **poda total** (Foto 6b) en parcelas con y sin restitución de residuos.



Foto 6. Árboles de poró donde se tomaron muestras de hoja para determinar fijación de N atmosférico. a) árboles con **poda parcial** en parcelas con y sin restitución de residuos; b) árboles con **poda total** en parcelas con y sin restitución de residuos. (Foto V.H. Arana).

En la finca ‘La Montaña’, CATIE, el procedimiento de muestreo fue el mismo, con la diferencia que se recolectaron ocho muestras (ocho árboles) en los árboles con poda parcial y cuatro muestras (cuatro árboles) en los árboles podados totalmente por tratamiento (con restitución y sin restitución de residuos). En el Cuadro 6 se describen los tratamientos evaluados para determinar la fijación atmosférica de N.

En ambas fincas se recolectaron 10 muestras (10 árboles) de hojas de poró de árboles **no podados** fuera del ensayo (Foto 7a). También se tomaron 10 muestras (10 árboles) de hojas de *E. deglupta* (Foto 7b) y ocho muestras de hojas de café. Todas las muestras fueron llevadas al horno para secado a 60 °C por 48 horas. Luego, fueron molidas finamente y enviadas al INRA de Nancy, en Francia, para determinar el índice de $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ y su abundancia natural ($\delta^{15}\text{N}$), a través del Espectrómetro de Masa.



Foto 7. a) **árboles no podados** fuera del ensayo con restitución de residuos; b) *Eucalyptus deglupta* como una **planta de referencia** no fijadora de N para determinar abundancia natural de ^{15}N . (Foto V.H. Arana).

Cuadro 6. Tratamientos para determinar la fijación de N atmosférico, Costa Rica, 2003.

Sitio	Tratamientos	Poda	Repeticiones	No. Muestras
Paraíso	Con Restitución	Parcial	4	10
		Total	4	10
		No podado	*	10
CATIE	Sin Restitución	Parcial	4	10
		Total	4	10
	Con Restitución	Parcial	4	8
		Total	4	4
		No podado	*	10
	Sin Restitución	Parcial	4	8
Total		4	4	

* Muestras tomadas de árboles nunca podados cercanos fuera del ensayo.

El porcentaje de N derivado de la atmósfera (%Nda) de la muestra se calculó de acuerdo a la siguiente ecuación (Amarger et al., 1977; Bardin et al., 1977; Durlome et al., 2000):

$$\% \text{ Nda} = (d^{15}\text{N}_{\text{Ed ó Ca}} - d^{15}\text{N}_{\text{Ep}}) \div (d^{15}\text{N}_{\text{Ed ó Ca}} - d^{15}\text{N}_{\text{N-libre}}) \times 100$$

Donde :

$$d^{15}\text{N} = [(\% \text{ }^{15}\text{N}_{\text{muestra}} \div \% \text{ }^{15}\text{N}_{\text{aire}}) - 1] \times 100.$$

El subíndice Ed ó Ca y Ep se refiere a muestras de campo de *E. deglupta* ó *C. arabica* y *E. poeppigiana*, respectivamente y el N-libre al *E. poeppigiana* creciendo en medio de N-libre. El valor de ^{15}N en el aire oscila entre $0.3663 \pm 0.0002 \%$.

$d^{15}\text{N}_{\text{Ed ó Ca}}$ = es la abundancia natural isotópica en *E. deglupta* o ó *C. arabica*, las plantas de referencia no fijadoras de N.

$d^{15}\text{N}_{\text{Ep}}$ = es la abundancia natural isotópica en *E. poeppigiana*.

$d^{15}\text{N}_{\text{N-libre}}$ = es el $d^{15}\text{N}$ medido en las hojas de *E. poeppigiana* creciendo en un medio libre, con valores entre 0 y -2.

3.11. Estimación de la nodulación y su biomasa

El muestreo de nódulos se realizó 5 meses después de la operación de poda en Paraíso (14 y 16 de julio del 2003) y 4 meses después de la poda en CATIE (24 y 25 de julio 2003).

Para esta operación se utilizó el mismo barreno cilíndrico empleado para la toma de muestras iniciales e incubación para determinar mineralización de N. Para el muestreo del total de nódulos (vivos y muertos) y su biomasa, en cada parcela se seleccionaron 2 árboles de poró con poda parcial (PP) y 2 con poda total (PT). En los dos con PP se tomaron 9 muestras por árbol (tres a 0.5 m, tres a 1.0 m y tres a 1.5 m de distancia del árbol de poró).

En los dos con PT se tomaron solamente 3 muestras a 0.5 m de distancia. Las muestras se tomaron en 3 direcciones (en la hilera del café-poró, perpendicular a esta y diagonal entre las dos anteriores) a como se ilustra en la Figura 3.

En el Cuadro 7 se presentan los tratamientos evaluados en cada sitio para estimar la nodulación y su biomasa, así también el número de muestras por distancia del árbol.

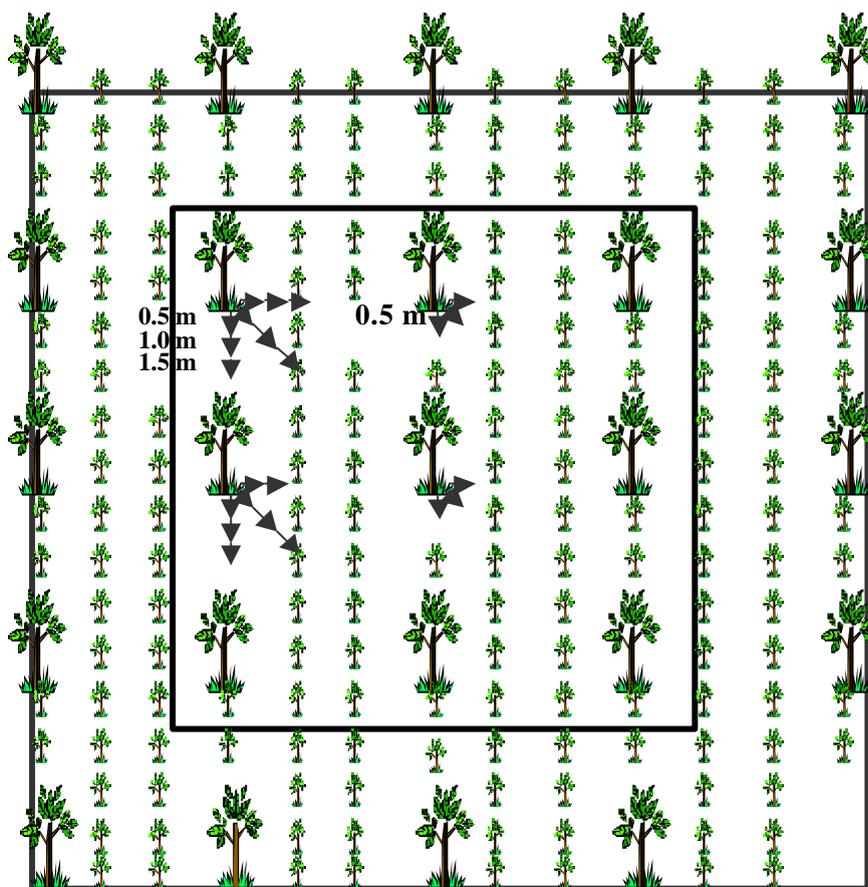


Figura 3. Forma de muestreo en campo para determinar nodulación y su biomasa. Costa Rica, 2003.

Cuadro 7. Tratamientos evaluados para estimar nodulación y su biomasa, Costa Rica, 2003.

Sitio	Tratamientos	Poda del árbol	Distancia (m)	Repeticiones	No. muestras	
Paráiso	Con Restitución	Poda parcial	0.5	4	18	
			1.0	4	18	
			1.5	4	18	
	Sin Restitución	Poda total	0.5	4	18	
			1.0	4	18	
			1.5	4	18	
	Total de muestras					144
	CATIE	Con Restitución		0.5	4	24
				1.0	4	24
1.5				4	24	
Sin Restitución			0.5	4	24	
			1.0	4	24	
			1.5	4	24	
Total de muestras					144	

Las muestras fueron llevadas al laboratorio de raíces del CATIE y mediante la técnica de lavado se procedió a separar las raíces y nódulos a través de dos tamices de 1 y 2 mm para asegurar la retención de pequeños nódulos. Luego, se procedió al conteo del número total de nódulos, estratificándolos en muertos y vivos. Estos últimos se partieron por la mitad con la ayuda de un bisturí para determinar su actividad, a través de la observación del color rosado característico de la presencia de leghemoglobina. Una vez contado el total de nódulos (muertos y vivos) de cada muestra se enviaron al horno y se colocaron a 60 °C por 48 horas para determinar su respectivo peso seco. El número de nódulos y su biomasa seca se transformaron número y gramos/Litros, tomando en cuenta el volumen del cilindro, a través de la siguiente formula:

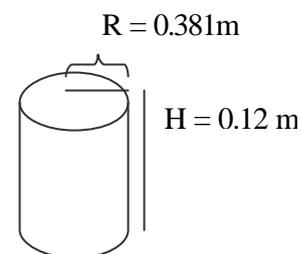
$$NN/MSN \text{ (No. ó g/L)} = \text{Número de nódulos ó MSN}/Vc$$

Donde:

NN = Número de nódulos

MSN = Materia seca de nódulos

Vc = Volumen del cilindro ($Vc = \pi R^2 * H = 0.547$ Litros)



3.11.1. Análisis estadístico

Para determinar en cada sitio el efecto de la poda sobre el número de nódulos y su biomasa, se realizó un análisis de varianza y una prueba de rangos múltiples de Duncan con un margen de error del 5 %, a través del Programa Statistical Analysis Systems (SAS Institute, 1999), de acuerdo los siguientes modelos matemáticos:

i) Contraste 1: Comparando árboles con poda total y poda parcial con muestreo a 0.5 m de distancia del árbol de poró.

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + e_{k(i)} + P_j + TP_{ij} + e_{ijk}$$

Donde :

Y_{ijk} = Variable de respuesta

μ = Media general

T_i = Efecto del tratamiento (con y sin restitución de residuos)

$e_{k(i)}$ = Error debido al tratamiento

P_j = Efecto de la poda (poda total y poda parcial)

TP_{ij} = Interacción tratamiento-poda

e_{ijk} = Error debido a la poda

ii) Contraste 2: Comparando solamente árboles podados parcialmente a tres distancias de muestreo del árbol de poró (0.5, 1 y 1.5 m).

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + e_{k(i)} + D_j + TD_{ij} + e_{ijk}$$

Donde :

Y_{ijk} = Variable de respuesta

μ = Media general

T_i = Efecto del tratamiento (con y sin restitución de residuos)

$e_{k(i)}$ = Error debido al tratamiento

D_j = Efecto de la distancia (0.5, 1 y 1.5 m)

TD_{ij} = Interacción tratamiento-distancia

e_{ijk} = Error debido a la distancia

iii) Contraste 3: Comparando nodulación y su biomasa entre sitios.

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + e_{k(i)} + P_j + TP_{ij} + e_{ijk}$$

Donde :

Y_{ijk} = Variable de respuesta

μ = Media general

S_i = Efecto del sitio

$e_{k(i)}$ = Error debido al sitio

P_j = Efecto de la distancia de muestreo (0.5, 1.0 y 1.5 m)

TP_{ij} = Interacción sitio-distancia

e_{ijk} = Error debido a la distancia

IV. Resultados y Discusión

4.1. Caracterización de los sitios bajo estudio

En el Cuadro 8, se presentan algunas propiedades químicas en la capa de suelo de 0-40 cm, correspondiente a los sitios bajo estudio (Paraíso y CATIE). El análisis mostró diferencias significativas entre sitios para las variables C total, N total y pH en KCl para todas las profundidades. Para la variable pH en agua solo se presentaron diferencias significativas en la capa de suelo de 0-20 cm.

El sitio de Paraíso presentó un contenido de C total y N total en el suelo significativamente más alto que el sitio de CATIE para todas las profundidades. Los valores de ambas variables fueron inversamente proporcionales a la profundidad.

En Paraíso, los valores de pH decrecieron en la medida que aumentó la profundidad del suelo. Caso contrario sucedió en CATIE, los valores de pH aumentaron ligeramente con la profundidad del suelo. Se observa que el pH en agua fue más alto que el pH en KCl para ambos sitios, lo cual indica que en estos suelos existen cargas positivas, por lo tanto no hubo adsorción de nitratos.

Los mayores valores de pH encontrados en Paraíso comparados a los de CATIE podrían ser debidos a los continuos aportes de cal al suelo por parte del agricultor.

Los contenidos de C total, N total y pH indican que el suelo de Paraíso es más rico en materia orgánica, N total y menos ácido que el suelo de CATIE, lo que podría resultar en una dinámica de nitrógeno diferente entre los sitios de estudio.

Cuadro 8. Algunas propiedades químicas de los sitios bajo estudio, Costa Rica, 2003.

Prof. (cm)	C total			N total			pH Agua			pH KCl			Dens Aparente	
	Paraíso	CATIE	P>F	Paraíso	CATIE	P>F	Paraíso	CATIE	P>F	Paraíso	CATIE	P>F	Paraíso	CATIE
0-10	4.68 a	3.58 b	0.003	0.4 a	0.34 b	0.02	6.00 a	4.64 b	0.0001	5.00 a	3.73 b	0.0001	0.83	0.93
10-20	3.81 a	2.70 b	0.001	0.3 a	0.25 b	0.01	5.30 a	4.67 b	0.0001	4.29 a	3.73 b	0.0001	0.93	0.97
20-30	2.67 a	1.75 b	0.005	0.2 a	0.16 b	0.01	4.88 a	4.85 a	0.77	3.93 a	3.76 b	0.004	1.02	1.21
30-40	1.85 a	0.98 b	0.004	0.14 a	0.09 b	0.0002	4.95 a	5.15 a	0.15	3.96 a	3.80 b	0.03	1.02	1.31

En el Cuadro 9 se presenta el análisis de varianza del aporte de materia seca y N en el tratamiento con restitución de residuos en los sitios bajo estudio. Se observa que no hubo diferencias significativas entre sitios en los aportes de materia seca y N por efecto de las podas, tampoco se observó diferencias en la cantidad total de materia seca (residuos de poda + mantillo), inmediatamente después de la poda (febrero y marzo del 2003), ni en las cantidades de N en la biomasa total. Sin embargo, Paraíso difirió

significativamente ($P=0.03$) de CATIE en la cantidad de materia seca del mantillo superficial, no así en la cantidad de N en el mantillo.

Se encontró que la cantidad de N aportado por los residuos de una poda fue de 226 kg de N ha⁻¹ en Paraíso y 256 kg de N ha⁻¹ en CATIE (Cuadro 9). En el mismo Cuadro se observa que en Paraíso el N acumulado en el mantillo superficial fue de 325 kg de N ha⁻¹, mientras en CATIE se estimó un menor valor por el orden de 276 kg de N ha⁻¹. Esto sugiere que una alta proporción del N que demanda el cultivo de café estaría cubierta por el N proveniente de la descomposición y mineralización de los residuos de poda del poró y del mantillo superficial.

Cuadro 9. Materia seca y aporte de N (kg ha⁻¹) en cada sitio de estudio en el tratamiento con restitución de residuos de poda, Costa Rica, 2003.

Sitio	*Biomasa de poda (kg ha ⁻¹)		**Mantillo (kg ha ⁻¹)		Total (kg ha ⁻¹)	
	Materia seca	N	Materia seca	N	Materia seca	N
Paraíso	17,286 a	226 a	10,220 b	325 a	27,506 a	551 a
CATIE	18,368 a	256 a	13,038 a	276 a	31,406 a	532 a
P>F	0.82	0.56	0.03 *	0.21	0.39	0.63

* Valores corresponden a biomasa y N por poda de febrero y marzo 2003 en Paraíso y CATIE, respectivamente.

**Valores corresponden a biomasa y N en el mantillo superficial en febrero y marzo 2003 en Paraíso y CATIE, respectivamente.

Aranguren *et al.* 1982, en un estudio de cafetal bajo sombra con *E. poeppigiana* e *Inga sp* sin poda indicaron que el flujo de N asociado con la caída de hojarasca de estos árboles fue de 86 kg de N ha⁻¹ año⁻¹, mientras que el aporte de la hojarasca del café fue de 28 kg de N ha⁻¹ año⁻¹. De manera, Russo (1983), encontró que el aporte de N por residuos de poda de *E. poeppigiana* y caída de hojarasca en un año fue de 331 kg N ha⁻¹. Por otro lado, Fassbender (1987), reporta que *E. poeppigiana* puede llegar a aportar hasta 300 kg N ha⁻¹ proveniente de los residuos de poda y hojarasca. Esto enfatiza la posible importancia de los árboles de sombra leguminosos en la dinámica del N en el sistema de manejo orgánico de café.

4.2. Dinámica del N-Mineral en la capa de suelo de 0-10 cm en Paraíso

Cada cuatro semanas, se midió el contenido de N mineral en la capa de suelo de 0-10 cm a partir del 17 de enero hasta el 01 de septiembre del 2003 en la finca Cristina, Paraíso de Cartago, con sistema de manejo orgánico de café.

La forma de N-mineral predominante en el suelo fue N-NO₃⁻ en un 87 % (16.6 mg de N-NO₃⁻ kg⁻¹ suelo) para el tratamiento con restitución de residuos (CR) y 86 % (16.2 mg de N-NO₃⁻ kg⁻¹ suelo) para el tratamiento sin restitución de residuos (SR) (Anexo 5). Durante el periodo de evaluación se observó que los contenidos de N-NO₃⁻ fueron más altos durante el mes menos lluvioso (marzo), especialmente en la calle.

Las concentraciones de $N-NO_3^-$ en los tratamientos CR fueron significativamente más altas que en el tratamiento SR, solamente en los meses de agosto y septiembre en la calle (Figura 4b). Sin embargo, no se observó diferencia significativa entre los promedios de todo el periodo (Cuadro 10).

Juntando los datos de los tratamientos (CR y SR), los promedios de concentraciones de $N-NO_3^-$ en la calle fueron significativamente más altos a los encontrados en la hilera en los meses de febrero, abril y mayo (Figura 4c). En promedio las concentraciones de N-mineral en la calle (21 mg de $N-NO_3^- \text{ kg}^{-1}$) fueron superiores entre 15-18 % a las obtenidas en la hilera (17.1 mg de $N-NO_3^- \text{ kg}^{-1}$) (Cuadro 10).

El café retira los nutrientes de la capa superficial del suelo, donde se ubica una gran proporción de sus raíces absorbentes (Bertrand, 1999). Por lo cual, la menor concentración de N-mineral en la hilera, comparada a la encontrada en la calle, se deba posiblemente a la mayor absorción de N por las raíces del café en este lugar. También se podría deber al menor nivel de mineralización de N en la calle del café y/o mayor deposición de residuos de poda, realizada en febrero 2003.

El mayor contenido de $N-NO_3^-$ en el tratamiento CR comparado al tratamiento SR en agosto y septiembre podría ser el resultado de una mayor cantidad de residuos de poda y mantillo superficial que podrían estar liberando cantidades importantes de N mineral durante su proceso de descomposición.

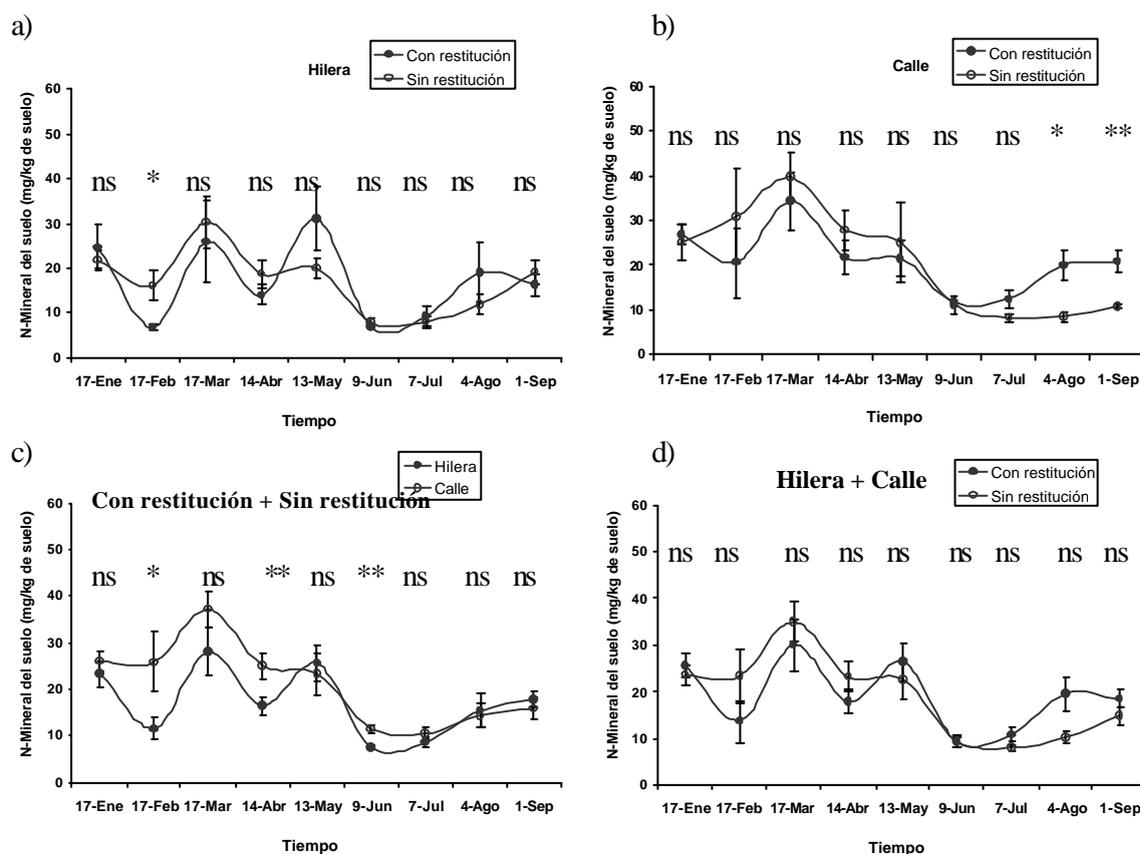


Figura 4. Promedio de Contenido de N-Mineral entre lugar de muestreo y tratamientos, Paraíso, Cartago, 2003. Las barras verticales representan el error estándar.

Cuadro 10. Promedios de concentración de N (mg kg^{-1} de suelo) durante el periodo Enero-Septiembre 2003, Paraíso, Costa Rica.

(mg N/kg)	Promedio			Promedio		
	Con restitución	Sin restitución	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F
N-NO ₃ ⁻	16.6 a	16.2 a	0.81	15 b	17.9 a	0.015*
N-NH ₄ ⁺	2.5 a	2.9 a	0.34	2.2 b	3.1 a	0.028*
N-Mineral	19.1 a	18.9 a	0.94	17.1 b	21 a	0.007**
% N-NO ₃ ⁻	87	86		88	85	

4.3. Mineralización neta del N en la capa 0-10 cm del suelo en Paraíso

Se evaluó la mineralización del N en la capa de suelo de 0-10 cm a partir del 17 de enero hasta el 01 de septiembre del 2003 en la finca Cristina con sistema de manejo orgánico de café.

Durante todo el periodo de evaluación, la mineralización del N del suelo no mostró diferencias significativas entre los tratamientos CR y SR (Figura 5d y Cuadro 11). Sin embargo, para ambos tratamientos, la mineralización del N en la calle superó a la ocurrida en la hilera del café. Esas diferencias se manifestaron en los meses de mayo, junio y septiembre (Figura 5a, 5b y 5c) y a nivel del N mineral producido durante todo el periodo de estudio (Cuadro 11) y fue mayor en la época más lluviosa.

En la Figura 6a se presentan los porcentajes de humedad en la hilera y calle café para el tratamiento CR. Se observa que la humedad en la calle fue significativamente superior a la hilera durante casi todo el periodo de evaluación. La mayor humedad en el área de la calle del café en el tratamiento CR se debe: a la presencia del mantillo superficial, a la restitución de los residuos de poda y a una menor absorción radicular e interceptación por la planta de café. El mismo comportamiento ocurre en el tratamiento SR (Figura 6b), pero solamente de manera significativa en los meses de febrero y junio.

En todos los casos la nitrificación neta difirió poco de la mineralización neta, lo que significa que el proceso de transformación del N mineral sigue siempre hasta el estado de nitrato, forma predominante en el suelo.

En ambos tratamientos (CR y SR) las tasas de mineralización en la calle fueron superiores a los encontrados en la hilera. Esto sugiere que la mayor tasa de mineralización neta ocurrida en la calle del café, respecto a la hilera se pudo deber al mayor nivel de humedad en la calle.

A pesar de que los meses de marzo y abril fueron los meses más secos del periodo de evaluación, no se encontraron tasas de mineralización menores durante los otros meses, lo que nos induce a pensar que el nivel de humedad del suelo de 45-50% durante ese periodo fue suficiente para tener una tasa de mineralización de N óptima.

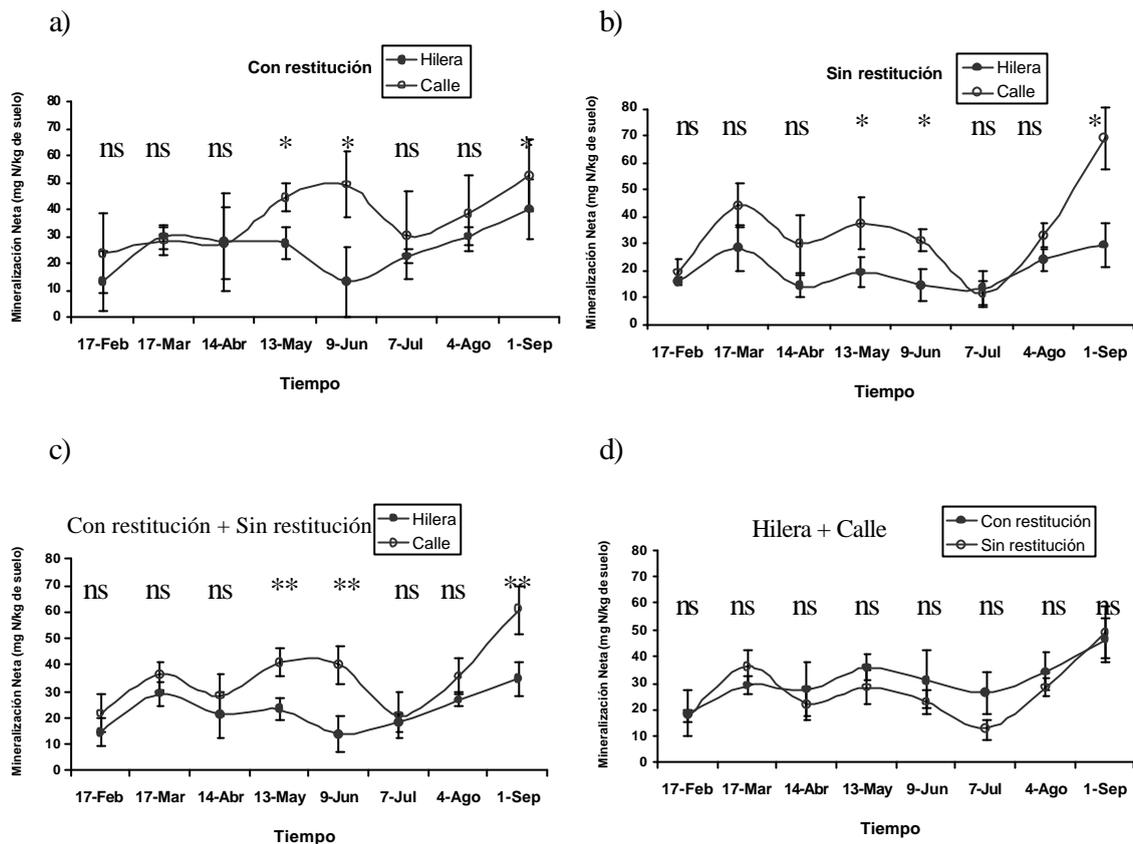


Figura 5. Promedio de mineralización neta entre lugar de muestreo y tratamientos, Paraíso, Cartago, 2003. Las barras verticales representan el error estándar.

Numerosos estudios han reportado que la mineralización neta disminuye durante la estación seca seguido de un rápido incremento en la actividad microbiana y mineralización al inicio de la estación lluviosa (Sánchez, 1976). Además la tasa de mineralización y nitrificación neta depende de otros factores ambientales que regulan estas poblaciones microbianas. Por esta razón, probablemente, la dinámica del N es variable dentro de la plantación de café, dada sus condiciones microambientales variables, según micro-sitios.

En la Figura 6c y 6d se observó que existe una mayor humedad del suelo en el tratamiento CR, respecto al tratamiento SR durante los meses de marzo y junio. También se notó una tendencia siempre de mayor humedad en el tratamiento CR, especialmente en la calle del café, debido a la cobertura del suelo por el mantillo y los residuos de poda.

En general, aunque existe mayor humedad en el tratamiento CR, no se observó un incremento significativo de la mineralización.

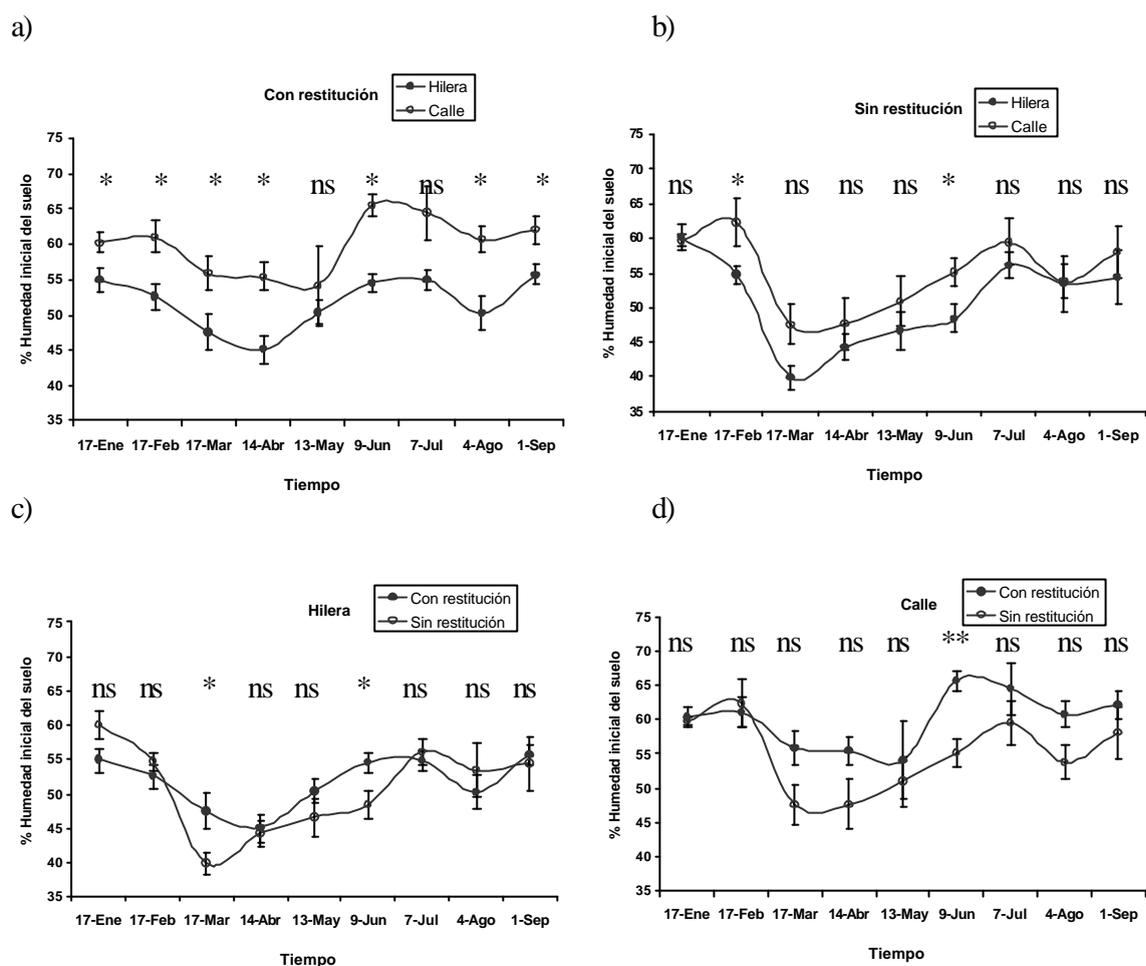


Figura 6. Promedio de porcentaje de humedad inicial del suelo entre lugar de muestreo y tratamientos, Paraíso, Cartago, 2003. Las barras verticales representan el error estándar.

En el Cuadro 11 se presentan los valores de mineralización promedios durante el periodo del 17 de enero al 01 de septiembre del 2003. No se observó diferencia significativa entre los tratamientos CR y SR dentro de hilera y calle. Tampoco hubo diferencias entre tratamientos (considerando el promedio entre calle e hilera). Sin embargo, se detectaron diferencias significativas entre hilera y calle dentro de cada tratamiento, superando en un 30-40 % la mineralización acumulada en la calle en comparación a la hilera.

Cuadro 11. Mineralización y nitrificación promedio (mg N/kg de suelo) durante el periodo Febrero-Septiembre 2003.

Proceso	Con Restitución			Sin Restitución			Promedio		
	Hilera	Calle	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F	CR	SR	Pr>F
Mineralización neta	26 b	37 a	0.009**	20 b	34 a	0.03*	31 a	27 a	0.43
Nitrificación neta	26 b	42 a	0.03*	21 b	37 a	0.02*	34 a	29 a	0.36

Proceso	Hilera			Calle			Promedio		
	CR	SR	Pr>F	CR	SR	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F
Mineralización neta	26 a	20 a	0.24	37 a	34 a	0.72	23 b	36 a	0.0004**
Nitrificación neta	26 a	21 a	0.25	42 a	37 a	0.49	24 b	39 a	0.0004**

La mineralización acumulada durante el periodo de 8 meses en el tratamiento CR fue de 174 (hilera) y 281 kg N ha⁻¹ (calle). En el tratamiento SR se encontraron valores de 138 y 243 kg N ha⁻¹ en hilera y calle, respectivamente (Figura 7a y 7b). La mineralización acumulada durante el periodo de evaluación en la hilera (156.11 kg N ha⁻¹) fue significativamente más baja que en la calle del café (262 kg N ha⁻¹) (Figura 7d). Sin embargo, los promedios de los tratamientos CR y SR fueron 228 y 190 kg N ha⁻¹, respectivamente (Figura 7c)

Estos resultados difirieron de los encontrados por Avila (2003), en un estudio sobre la dinámica de N en dos sistemas de manejo (a pleno sol y café-eucalipto) en un ultisol de la zona sur durante un periodo de 8 meses de evaluación a una profundidad de 020 cm, donde reportó valores de mineralización acumulada de 147 kg N ha⁻¹ en el sistema café-eucalipto.

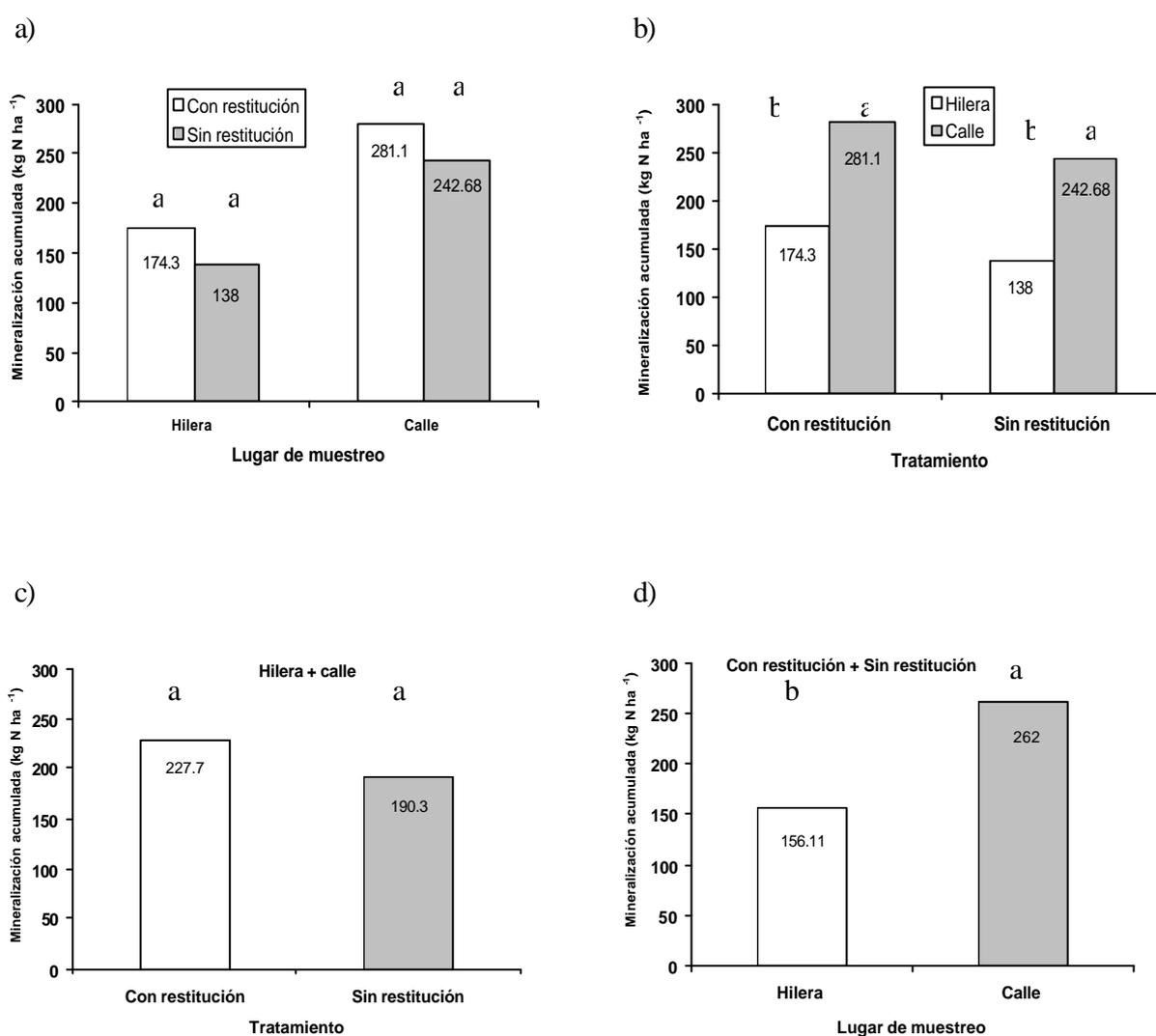


Figura 7. Mineralización neta acumulada (kg N ha⁻¹) durante el periodo del 17 de enero al 01 de septiembre, finca Cristina, Paraíso, Cartago, 2003. Los valores seguidos de la misma letra no son significativos al 5%.

4.4. Dinámica del N mineral en la capa 0-10 cm del suelo en CATIE

Se midió cada cuatro semanas el contenido de N mineral en la capa de suelo de 0-10 cm a partir del 30 de marzo hasta el 16 de septiembre del 2003 en la Estación Experimental 'La Montaña' del CATIE en un sistema de manejo orgánico de café. La forma de N mineral predominante en el suelo fue N-NO_3^- en un 85 % para el tratamiento con restitución de residuos (CR) y 81 % para el tratamiento sin restitución de residuos (SR) (Cuadro 12).

Las concentraciones de N-NO_3^- en la hilera y calle dentro de los tratamientos CR y SR tuvieron una tendencia irregular y alternante durante el periodo de evaluación. No se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos en ningún mes del periodo de muestreo (Figura 8).

Se observó que para ambos tratamientos (CR y SR) los contenidos de N-NO_3^- fueron mayores en los meses menos húmedos (marzo y abril 2003) (Figura 8a y b). Una vez que los residuos vegetales son incorporados al suelo la acumulación de N y la disponibilidad para el cultivo de café van a depender en gran proporción de la descomposición de materia orgánica y la mineralización del N (Reynolds-Vargas *et al.*, 1994; Babbar y Zak, 1994). Estos autores mencionan que, aun a niveles de humedad muy bajos puede haber un potencial de agua suficiente para que ocurra la mineralización, lo cual sugiere que si no hay extracción por las plantas puede ocurrir una acumulación de N mineral en el suelo

Contrario a lo encontrado en Paraíso, no se observó diferencia significativa en las concentraciones de N mineral entre calle e hilera del café.

Cuadro 12. Valores promedios de N (mg/kg) del periodo Marzo-Septiembre 2003

N (mg/kg)	Con Restitución			Sin Restitución			Promedio			Promedio		
	Hilera	Calle	P>F	Hilera	Calle	P>F	CR	SR	P>F	Hilera	Calle	P>F
N-NO_3^-	8.92 a	8.33 a	0.74	7.43 a	8.13 a	0.64	8.62 a	7.78 a	0.43	8.98 a	8.37 a	0.73
N-NH_4^+	1.56 a	1.77 a	0.55	1.83 a	1.89 a	0.89	1.76 a	1.86 a	0.82	1.64 a	1.90 a	0.64
N-Mineral	10.3 a	10.04a	0.84	9.15 a	9.98 a	0.61	10.17a	9.56 a	0.59	9.72 a	10.01a	0.76
% N-NO_3^-	86	83		81	81		85	81		92	84	

Valores seguidos de la misma letra no difieren estadísticamente a una $Pr < 0.05$.

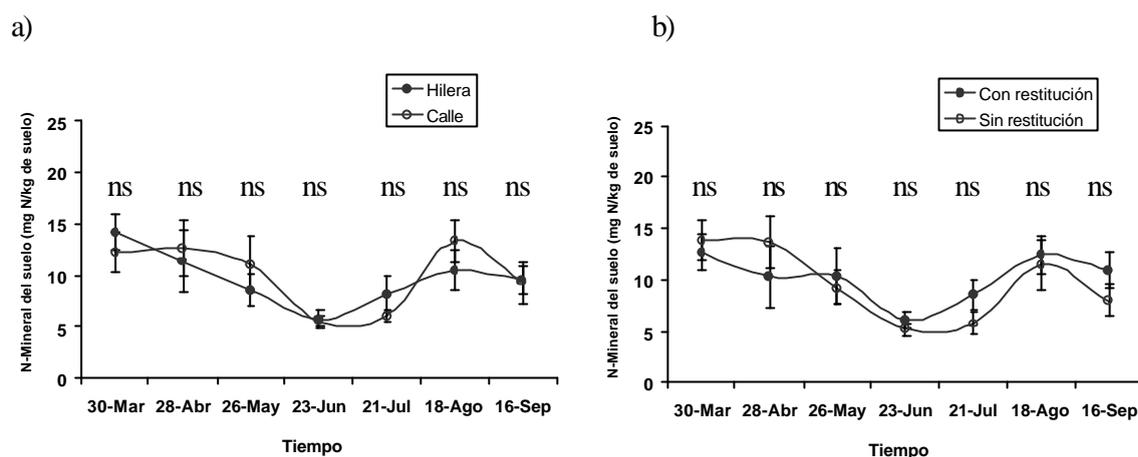


Figura 8. Promedio de contenido de N-Mineral entre lugar de muestreo y tratamientos, Estación Experimental La Montaña, Turrialba, 2003. Las barras verticales representan el error estándar.

4.5. Mineralización neta del N en la capa 0-10 cm del suelo en CATIE

Se evaluó la mineralización del N en la capa de suelo 0-10 cm a partir del 28 de abril hasta el 16 de septiembre del 2003 en la Estación Experimental 'La Montaña' del CATIE en un sistema de manejo orgánico de café.

Contrario a lo ocurrido en Paraíso, la mineralización del N del suelo en los tratamientos con restitución (CR) y sin restitución (SR) no presentó diferencias significativas (Figura 9b), ni tampoco entre hilera y calle durante el periodo de evaluación, excepto en el mes de abril (Figura 9a). Se observaron algunas diferencias significativas en el contenido de humedad entre hilera y calle (Figura 10) en los meses de mayo (CR) y junio-julio (SR), estas diferencias fueron mínimas y no resultaron en diferencias significativas en la mineralización neta entre calle e hilera del café (Figura 9).

Solamente en el mes de abril se detectó diferencia significativa, resultando en una mayor mineralización en la calle comparado a la hilera del café (Figura 9a).

Al final del periodo de evaluación se obtuvo una mineralización neta acumulada de $138 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ en hilera y $152 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$ en la calle del café (Figura 11b), donde no se observó diferencia significativa ($P < 0.05$). Tampoco se detectó diferencias entre los promedios de los tratamientos. Estas diferencias se pueden deber posiblemente al poco tiempo de evaluación utilizado, para lo cual se considera necesario extender por más tiempo este estudio para poder observar diferencias más claras entre los tratamientos.

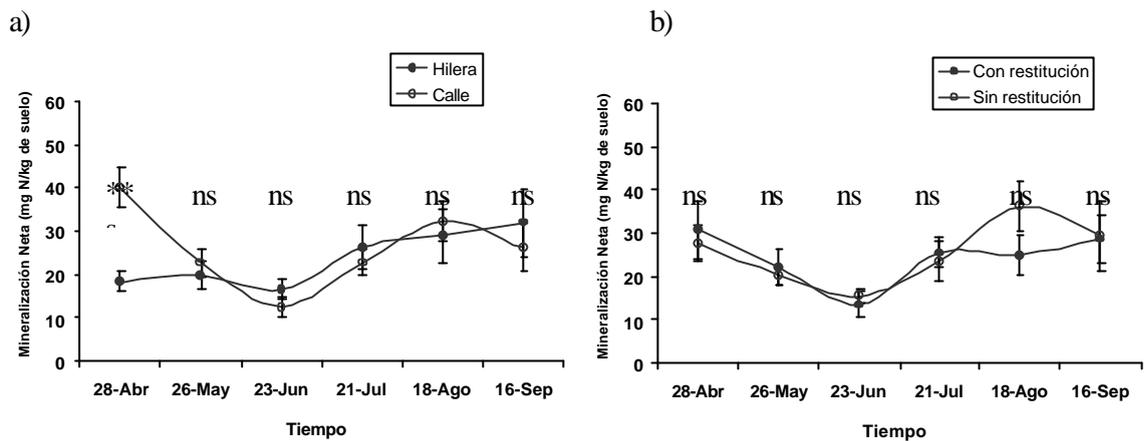


Figura 9. Promedio de mineralización neta del N del suelo entre lugar de muestreo y tratamientos, Estación Experimental La Montaña, Turrialba, 2003. Las barras verticales representan el error estándar.

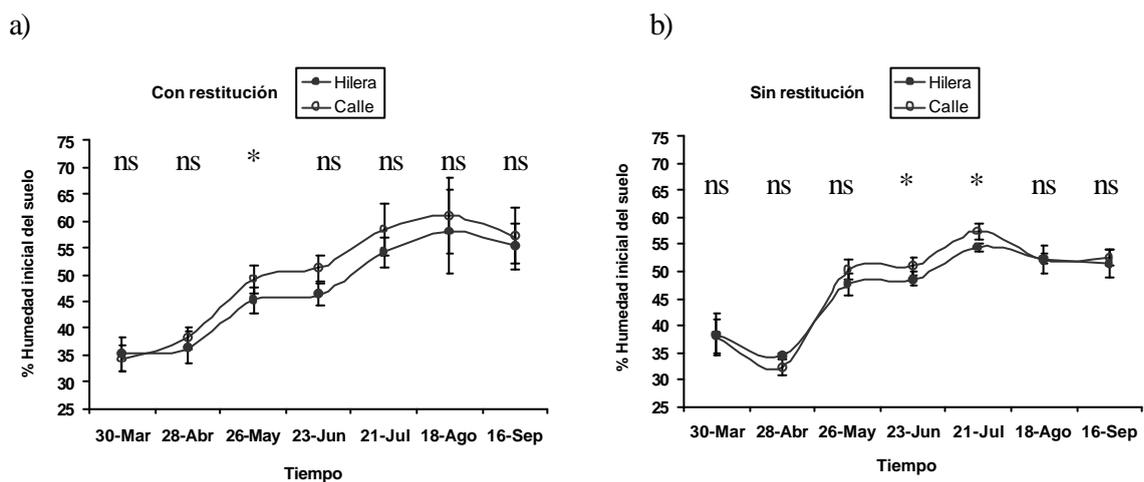


Figura 10. Porcentaje de humedad inicial del suelo entre lugar de muestreo y tratamientos, durante el proceso de mineralización del N, Estación Experimental 'La Montaña', Turrialba, 2003. Las barras verticales representan el error estándar.

Sin embargo, la mineralización neta de la calle fue superior, posiblemente a la presencia del mantillo y residuos de poda del poró. Tal como ocurrió en Paraíso, la nitrificación difirió poco de la mineralización neta, lo que nos indica que el proceso de transformación del N mineral sigue siempre hasta el estado de $N-NO_3^-$.

Es importante indicar que con la operación de poda del poró, muchos de los mecanismos de conservación del N en el sistema tienden a perderse (Vitousek y Matson, 1984), acelerando las pérdidas por volatilización y lixiviación de nitratos (Bornemiza, 1982; Babbar y Zak, 1994)

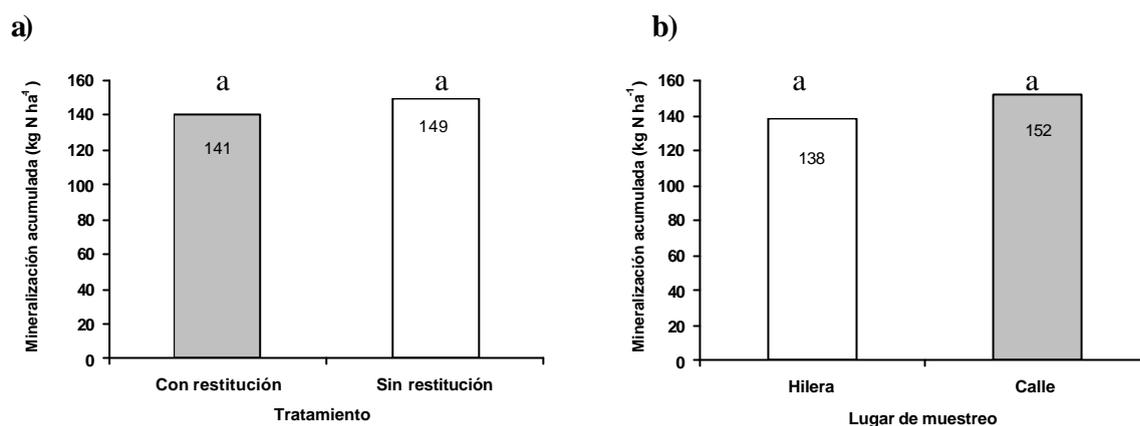


Figura 11. Mineralización neta acumulada (kg N ha⁻¹) durante el periodo del 28 de abril al 16 de septiembre, Estación Experimental 'La Montaña', CATIE, Turrialba, 2003.

4.6. Comparación de la tasa de mineralización neta del N del suelo entre sitios (Paraíso-CATIE).

Se realizó la comparación de las tasas de mineralización del N del suelo entre los sitios en el sistema de manejo orgánico de café asociado con poró durante el periodo de abril a septiembre del 2003.

En la Figura 12a, se observa que las tasas promedio de mineralización neta fueron significativamente más altas en Paraíso en la calle del café, en los meses de mayo ($P < 0.05$), junio ($P < 0.001$) y septiembre ($P < 0.005$). La tasa más baja para ambos sitios se observó en los meses de junio y julio. Sin embargo, no se detectaron diferencias significativas entre sitios para hilera (Figura 12b).

Se observaron diferencias significativas en el contenido de humedad del suelo en la calle del café, en los meses de marzo, abril y junio, lo que podría haber tenido un efecto sobre la mineralización en los meses de mayo y junio (Figura 13).

Al comparar el contenido de N mineral entre sitios (Figura 14a) se encontró que este fue significativamente más alto en Paraíso comparado a CATIE en casi en todo el periodo de evaluación, excepto en los meses de julio y agosto. Esta diferencia puede estar relacionada con el mayor nivel de mineralización observado en Paraíso (Figura 14b).

En la Figura 15 se muestra el contenido de humedad entre sitios durante el periodo de evaluación, se observa que Paraíso difirió estadísticamente de CATIE en los meses de marzo, abril y junio del periodo de evaluación. Estas diferencias podrían estar relacionadas a una mayor mineralización en los meses de mayo y junio, cuando hubo menor humedad del suelo.

No hubo diferencias significativas en la mineralización neta acumulada durante el periodo abril-septiembre entre sitios para hilera (Figura 16); caso contrario sucedió en la calle donde Paraíso (212 kg N ha⁻¹) fue más alto que CATIE (152 kg N ha⁻¹) (P=0.05). El mayor nivel de mineralización acumulado en Paraíso (165 kg N ha⁻¹) comparado con CATIE (145 kg N ha⁻¹) se podría deber al mayor contenido de N total y a un mayor pH del suelo encontrado en Paraíso.

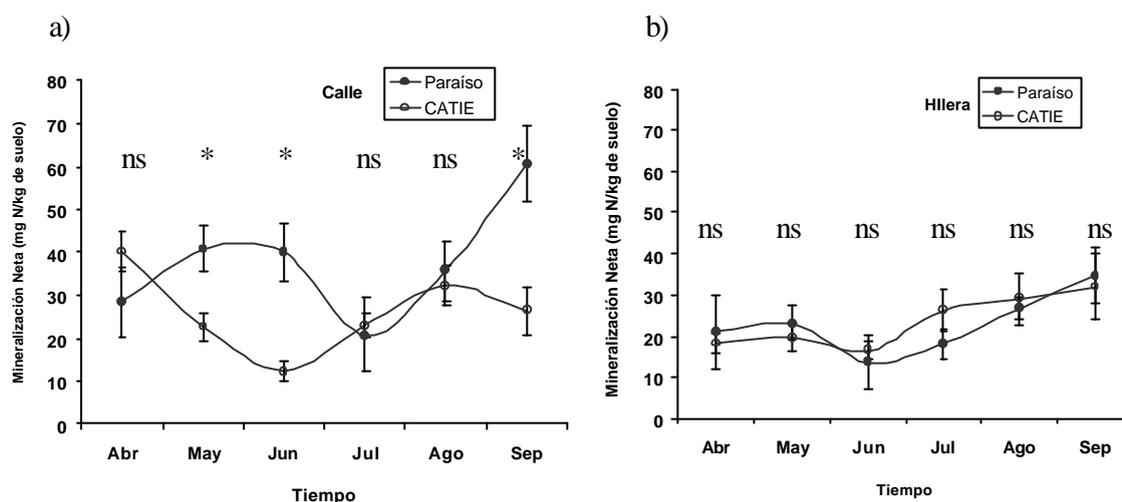


Figura 12. Comparación entre sitios de la mineralización neta en la calle e hilera durante el periodo de abril-septiembre 2003. Las barras verticales representan el error estándar.

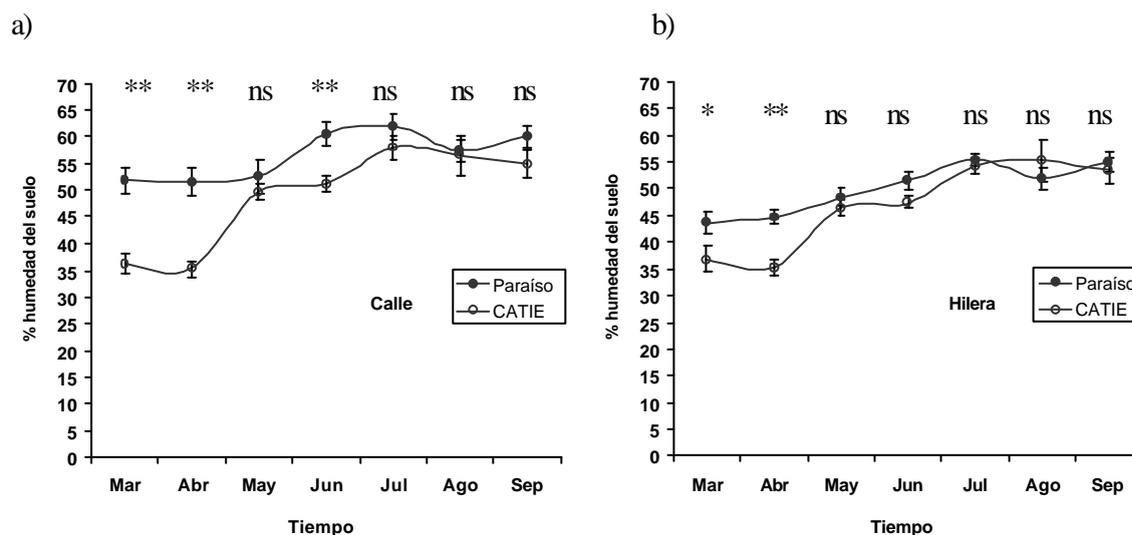


Figura 13. Comparación entre sitios de la humedad del suelo en la calle e hilera durante el periodo de abril-septiembre 2003. Las barras verticales representan el error estándar.

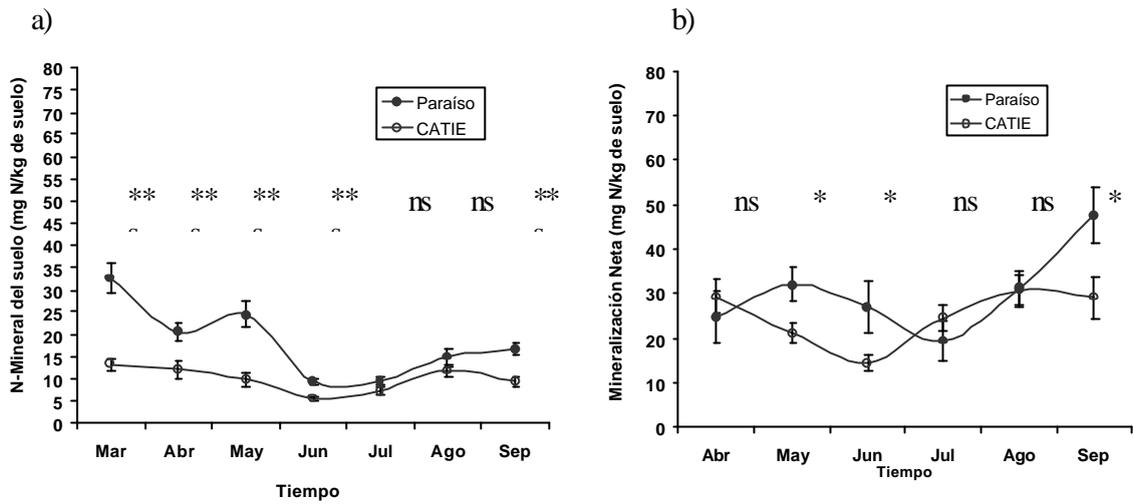


Figura 14. Comparación del contenido de N mineral y la mineralización neta entre sitios durante el periodo de abril-septiembre 2003. Las barras verticales representan el error estándar.

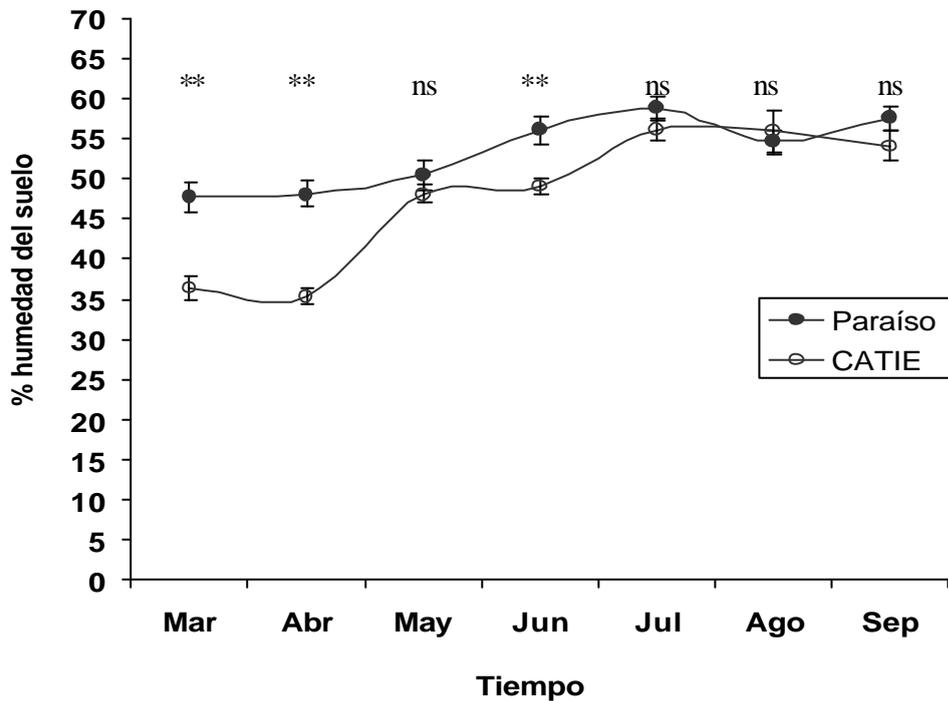


Figura 15. Comparación entre sitios de la humedad del suelo durante el periodo de abril-septiembre 2003. Las barras verticales representan el error estándar.

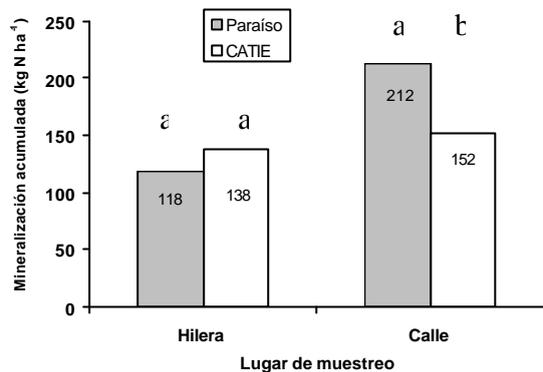


Figura 16. Mineralización acumulada (kg N ha^{-1}) entre sitios durante el periodo de abril a septiembre 2003, Cartago, Costa Rica.

En el Cuadro 13 se presenta el contenido de N mineral y mineralización neta mensual en la hilera y la calle del café obtenido en los sitios bajo estudio. Se observa que Paraíso difirió estadísticamente de CATIE en el contenido de N mineral ($P=0.048$) y mineralización mensual ($P=0.05$) en la calle del café, pero no se detectó diferencias en la hilera del café para ninguna de las variables. Al comparar los sitios (juntando hilera+calle) se observó que el contenido de N mineral mensual fue significativamente superior ($P=0.023$) en Paraíso, comparado a CATIE. Respecto a la mineralización mensual no se observó diferencias estadísticas entre sitios.

El contenido de N mineral mensual en la calle del café en Paraíso fue un 50 % superior, respecto a CATIE. En general, Paraíso superó a CATIE en un 47 % en el contenido de N mineral en el suelo y se observó una tendencia 18 % superior en la tasa de mineralización neta mensual pero no de forma significativa.

En Paraíso se encontró un promedio de contenido de N mineral mensual de 19 mg N kg^{-1} de suelo. Este valor fue similar al encontrado por Avila (2002) en un ultisol de la zona sur, el cual obtuvo un promedio mensual de 21 mg N kg^{-1} de suelo en el sistema de café a pleno sol y 17 mg N kg^{-1} de suelo en el sistema de café asociado con eucalipto. Sin embargo, los resultados de este autor difirieron de los encontrados en CATIE, cuyo promedio mensual fue de 10 mg N kg^{-1} de suelo.

En promedio en Paraíso y CATIE se obtuvieron valores de mineralización neta mensual de 28 y 23 kg N ha^{-1} , respectivamente. Estos resultados difirieron de los obtenidos por Avila (2002), en un estudio en la zona sur sobre la dinámica del N en dos sistemas de manejo (café a pleno sol y café-eucalipto), en el cual obtuvo valores promedios de mineralización de N mensual de 17 y 18 kg N ha^{-1} en la capa de suelo 0-20 cm, en los sistemas café a pleno sol y café-eucalipto, respectivamente.

Por otro lado, los resultados de mineralización mensual en ambos sitios fueron mayores a los obtenidos por Babbar y Zak (1994), quienes reportaron una mineralización neta mensual de 10 y 12 kg N ha⁻¹ en plantaciones de café a pleno sol y sombreadas con *Erythrina poeppigiana*, respectivamente.

Cuadro 13. Promedios de N mineral (mg N kg⁻¹ suelo mes⁻¹) y mineralización neta mensual Mineralización (kg N ha⁻¹ mes⁻¹) en los sitios de estudio. Costa Rica, 2003.

Sitio	N mineral (mg N kg ⁻¹ suelo mes ⁻¹)			Mineralización (kg N ha ⁻¹ mes ⁻¹)		
	Paraíso	CATIE	P > F	Paraíso	CATIE	P > F
Calle	20 a	10 b	0.048 *	35 a	25 b	0.05 *
Hilera	17 a	10 a	0.389	20 a	23 a	0.84
Promedio	19 a	10 b	0.023 *	28 a	23 a	0.25

* Significativo al 5 % de probabilidad.

4.7. Concentración de nitratos en el agua de lixiviación en Paraíso

En Paraíso se estudiaron las concentraciones de nitratos en el agua de lixiviación en los tratamientos con restitución de residuos (CR) y sin restitución de residuos (SR). En la Figura 17 se presentan las concentraciones de nitratos en el agua de lixiviación, recolectadas de lisímetros con cápsulas de cerámica porosa instalados a 30 cm de profundidad, durante el periodo del 10 de febrero al 10 de septiembre del 2003. Debido a la variabilidad mostrada en la capa de suelo de 0-30 cm no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos.

Los niveles mínimos del mes de junio y julio coinciden con los bajos niveles de N mineral en el suelo detectado estos meses. A pesar de que a partir del mes de mayo los niveles promedios de N-NO₃⁻ en el tratamiento CR superaron a las concentraciones encontradas en el tratamiento SR, no se observó diferencias significativas, debido a la variabilidad observada en la capa de suelo de 0-30 cm .

La mayor concentración de nitratos en el tratamiento CR ocurrió en el mes de mayo (12.5 mg de N-NO₃⁻ l⁻¹), mientras que en el tratamiento SR se observó en el mes de abril (15.4 mg de N-NO₃⁻ l⁻¹).

En la profundidad de 60 cm (Figura 18), las concentraciones de nitratos en el tratamiento CR fueron mayores que en el tratamiento SR, a partir del mes de julio.

En el tratamiento CR el valor más alto (11.4 mg de N-NO₃⁻ l⁻¹) se presentó en el mes de mayo y el más bajo (2.3 mg de N-NO₃⁻ l⁻¹) en el mes de marzo. En el tratamiento SR la mayor concentración de nitratos (23.55 mg de N-NO₃⁻ l⁻¹) se presentó en el mes de abril y la menor (1.36 mg de N-NO₃⁻ l⁻¹) en

el mes de marzo. En términos generales, a partir del mes de mayo hasta septiembre el tratamiento CR presentó valores de concentración de nitratos que oscilaron entre 7.04 y 10.16 mg de $\text{N-NO}_3^- \text{ l}^{-1}$ y el tratamiento de SR mostró valores entre 2.1 y 10 mg de $\text{N-NO}_3^- \text{ l}^{-1}$.

En la profundidad de 120 cm (Figura 19) no se detectaron diferencias estadísticas entre tratamientos durante el periodo de estudio. En ambos tratamientos la concentración de nitratos en la solución del suelo es baja en relación a las otras profundidades (entre 2 y 4 mg de $\text{N-NO}_3^- \text{ l}^{-1}$).

En términos generales, la tendencia fue de una mayor concentración de nitratos en el tratamiento CR para las profundidades de 30 y 60 cm.

Los mayores valores de pérdidas de nitratos en el tratamiento CR podría ser el resultado de la liberación de N mineral del mantillo superficial y los residuos de poda.

No obstante, las pérdidas de nitratos de ambos tratamientos fueron más bajas que los valores encontrados por Babbar y Zak (1995) en plantaciones sombreadas y a pleno sol en un sistema de manejo convencional

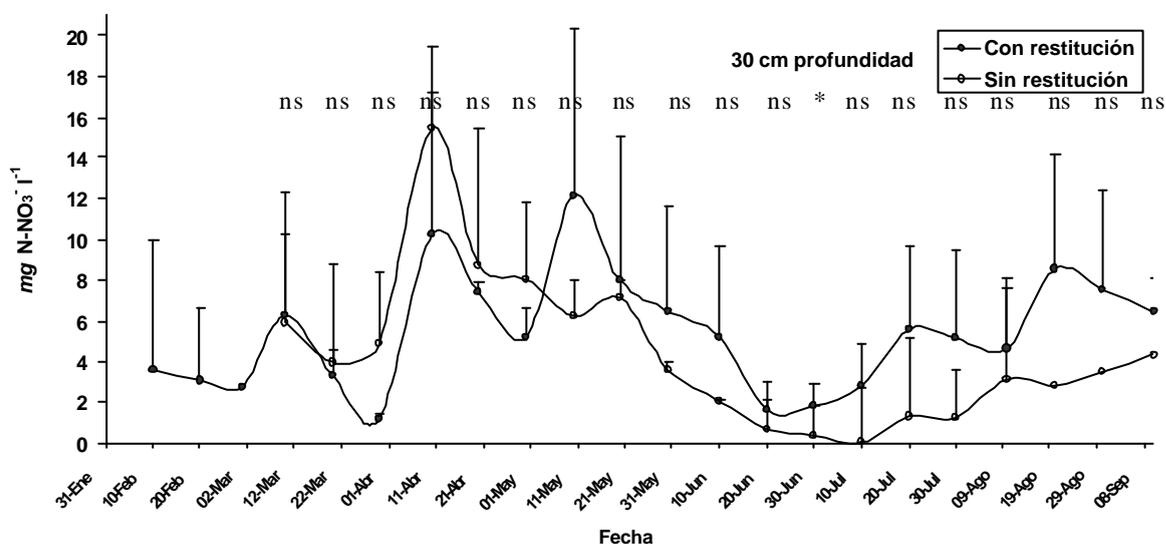


Figura 17. Concentración de N-NO_3^- (mg de $\text{N-NO}_3^- \text{ l}^{-1}$) en la solución del suelo en los tratamientos con y sin restitución de residuos a 30 cm de profundidad en el sistema de manejo orgánico de café asociado con poró, finca Cristina, Paraíso, Cartago, 2003. Las barras verticales representan el intervalo de confianza. Nivel de significancia entre tratamientos: *=significativo al 0.05, **=significativo al 0.01 y ns=no significativo.

Figura 18. Concentración de $N-NO_3^-$ (mg de $N-NO_3^- l^{-1}$) en la solución del suelo en los tratamientos con y sin restitución de residuos a 60 cm de profundidad en el sistema de manejo orgánico de café asociado con poró, finca Cristina, Paraíso, Cartago, 2003.

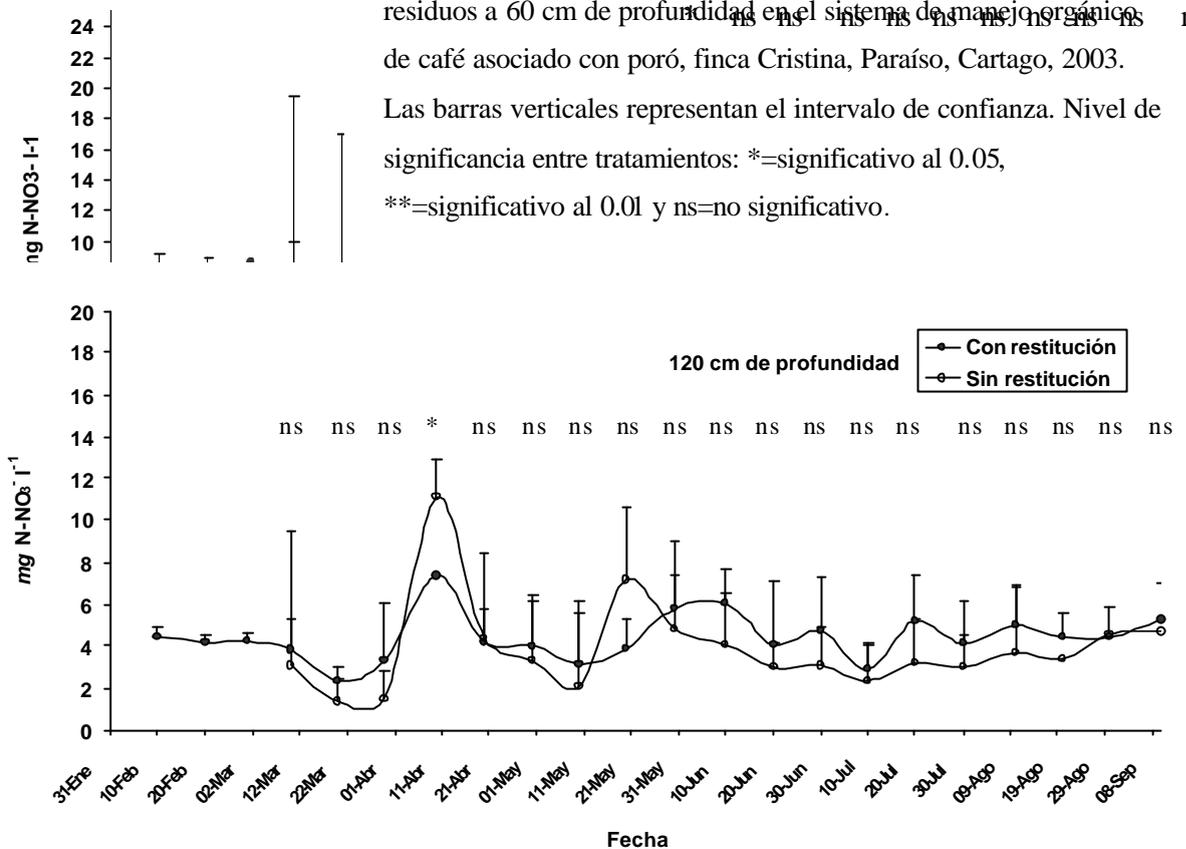


Figura 19. Concentración de $N-NO_3^-$ (mg de $N-NO_3^- l^{-1}$) en la solución del suelo en los tratamientos con y sin restitución de residuos a 120 cm de profundidad en el sistema de manejo orgánico de café asociado con poró, finca Cristina, Paraíso, Cartago, 2003. Las barras verticales representan el intervalo de confianza. Nivel de significancia entre tratamientos: *=significativo al 0.05, **=significativo al 0.01 y ns=no significativo.

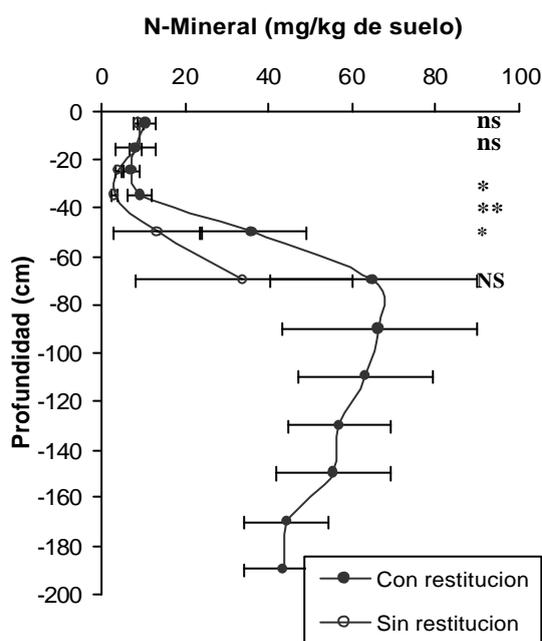
4.8. Contenido de N-Mineral (NO_3^- y NH_4^+) en el perfil del suelo

4.8.1. Contenido de N-Mineral (NO_3^- y NH_4^+) en el perfil del suelo de Paraíso

En la Figura 20^a, se muestra los contenidos de N-mineral en el suelo en los tratamientos CR y SR el 16 de junio del 2003. Se puede observar que, en general, que el tratamiento CR fue mayor al tratamiento SR en las concentraciones de N mineral en las diferentes profundidades. En los primeros 40 cm se presentó un contenido de N mineral que no superó los $11 mg$ de $N kg^{-1}$ de suelo. A partir de esta profundidad se incrementaron los valores hasta alcanzar un máximo de $66.41 mg$ de $N kg^{-1}$ de suelo a los 90 cm del suelo. Luego, se observó un ligero descenso en las concentraciones de N mineral en el resto del perfil del suelo.

En general, se observa que las concentraciones de N mineral en el perfil del suelo son bastante altas a partir de los 70 cm de profundidad. Esta alta concentración de N-NO_3^- podría ser debida a una retención de los mismos por las alófanas del suelo o a un flujo subterráneo de N-NO_3^- en la solución del suelo, proveniente de partes altas fuera de la finca. Por otro lado, se podría deber a la acumulación de N-NO_3^- por efecto de los aportes de N fertilizante cuando la finca era manejada en forma convencional.

a)



b)

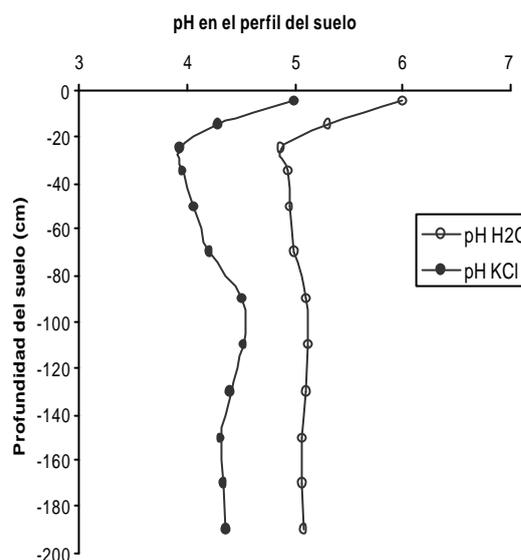


Figura 20. Contenidos de N-mineral del suelo y pH en extracciones en agua y KCl en el sistema de manejo orgánico de café asociado con poró, Paraíso, Cartago, 2003. Las barras horizontales representa el intervalo de confianza al 5% de probabilidad. Fecha de muestreo 16 de junio del 2003. *=significativo al 0.05, **=significativo al 0.01 y ns=no significativo.

Las diferencias en las concentraciones de N mineral en los primeros 40 cm de profundidad entre los tratamiento CR y SR sugiere que existe una mayor disponibilidad de N en el tratamiento CR. Esto concuerda con las tendencias de una mayor tasa mineralización neta y una mayor concentración de N mineral en la solución del suelo a 30 cm de profundidad.

En la figura 20b se muestran los valores de pH en el suelo en extracciones en agua y KCl en las diferentes profundidades del perfil. Se observa que los valores de pH en KCl siempre fueron menores a los pH en agua para todas las profundidades. Se observa que ambos pH en agua disminuye de 6 en la capa de 0-10 cm hasta 5 a la capa de 20-30 cm. A partir de esta profundidad el pH tiende a aumentar ligeramente y adquiere un comportamiento constante hasta alcanzar un valor de 5.12 a la profundidad

de 90 cm. Este incremento en los valores de pH en la capa superficial puede ser debido a los aportes de cal que ocurrieron en el año 2002.

En el Cuadro 14 se presentan las concentraciones de N mineral, densidad aparente y acumulación de nitratos en el perfil del suelo.

En la capa de suelo de 0-30 cm en el tratamiento CR la reserva de N-NO₃⁻ fue de 23.6 kg N ha⁻¹ y en el tratamiento SR de 19.1 kg N ha⁻¹. En la capa de 30-60 cm en el tratamiento CR se acumularon cerca de 29 kg N ha⁻¹ más que en el tratamiento SR.

En total en las capas de 0-80 y 0-200 cm del tratamiento CR se encontró una reserva de nitratos de 130 y 441 kg N ha⁻¹, respectivamente. Mientras que en el tratamiento SR en la capa de suelo de 0-80 cm se estimó una reserva de N-NO₃⁻ de 67 kg N ha⁻¹ (Cuadro 14)

Cuadro 14. Concentración de N-mineral, densidad aparente y acumulación de N en el perfil del suelo el 16 de junio del 2003. Finca Cristina, Paraíso, Cartago.

Prof. (cm)	mg kg ⁻¹ de suelo		Densidad aparente (g cm ⁻³)	kg N ha ⁻¹	
	CR	SR		CR	SR
5	10.72	8.92	0.83	8.9	7.4
15	8.06	8.24	0.93	7.5	7.7
25	7.01	3.89	1.02	7.2	4.0
35	9.19	3.10	1.02	9.4	3.2
50	36.17	13.24	0.99	35.8	13.1
70	65.08	33.92	0.94	61.2	31.9
90	66.41		0.96	63.7	
110	63.33		0.93	58.9	
130	57.06		0.94	53.6	
150	55.57		0.94	52.2	
170	44.25		0.97	42.9	
190	43.70		0.91	39.7	

CR = Con restitución de residuos; SR = Sin restitución de residuos

Debido a que en este suelo no existen cargas positivas, los resultados parecen indicar que esta gran concentración se podría deber a una posible contaminación de N-NO₃⁻ por el flujo de agua de proveniente de partes altas fuera de la finca Cristina.

Esta afirmación esta soportada en los análisis de muestras de agua de los puntos muestrales de lisímetros 10, 13 y 14. En estos se registraron (mayo) niveles de nitratos por encima de 100 mg de N-NO₃⁻ l⁻¹. Sin embargo, consideramos que se necesita realizar un estudio complementario para confirmar estos resultados.

4.8.2. Contenido de N-mineral en el perfil del suelo en CATIE

En la Figura 21 se presenta el contenido de N-mineral de los tratamientos de manejo orgánico (CR y SR) y manejo convencional en el perfil del suelo de CATIE. Se observa que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos de manejo orgánico (CR y SR), pero ambos fueron muy inferiores al sistema de manejo convencional.

El contenido de N mineral en el sistema de manejo convencional fue diferente estadísticamente en todas las profundidades hasta los 70 cm, excepto en la profundidad de 5 cm.

Se observó un contenido de N mineral en los tratamientos de manejo orgánico CR y SR en la capa de suelo de 0-10 cm que no superaron los 15 mg de N kg⁻¹ de suelo. Sin embargo, a partir de ahí estos contenidos disminuyeron en el perfil del suelo hasta la profundidad de 50 cm alcanzando un valor de 2.65 mg de N kg⁻¹ de suelo.

El contenido de N-mineral en el manejo convencional en la capa de suelo de 0-10 cm fue de 11 mg de N kg⁻¹ de suelo, luego aumentó significativamente, respecto a los tratamientos (CR y SR) de manejo orgánico hasta alcanzar un valor máximo de 17 mg de N kg⁻¹ de suelo a la profundidad de 50 cm. A partir de esta profundidad se observó una disminución gradual en el contenido de N-mineral hasta la profundidad de 190 cm, en el cual alcanzó un valor de 9 mg de N kg⁻¹ de suelo.

El incremento de N mineral en el perfil del suelo con manejo convencional de café después de los 30 cm esta relacionado a los aportes de gran cantidad de fertilizantes nitrogenado.

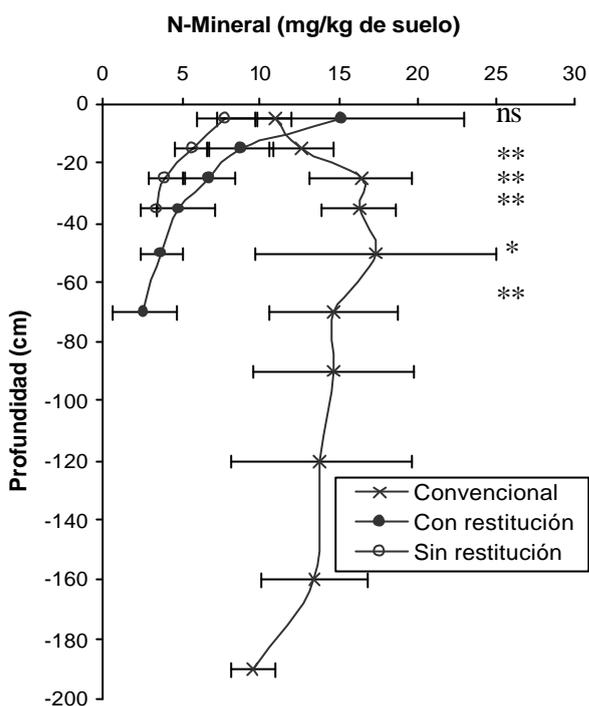


Figura 21. Comparación del contenidos de nitrógeno N-Mineral ($N-NO_3^- + N-NH_4^+$) del suelo en dos sistemas de manejo de café, orgánico (con y sin restitución de residuos) y convencional. Las barras horizontales representa el intervalo de confianza al 5% de probabilidad. Estación Experimental, La Montaña, CATIE, Turrialba, 2003. No existe diferencia significativa entre parcelas con manejo orgánico (con y sin restitución de residuos).

4.8.3. Comparación entre sitio del contenido de N-Mineral (NO_3^- y NH_4^+) en el perfil del suelo

En la Figura 22a se presenta la comparación del contenido de N mineral en el perfil del suelo entre sitios en el mes de junio. Se puede observar que no hubo diferencias entre sitios en el contenido de N mineral en los primeros 35 cm del suelo, cuyos valores no superaron los 12 mg de $N\ kg^{-1}$ de suelo. A partir de esta profundidad el contenido de N mineral en Paraíso se incrementa considerablemente hasta alcanzar un valor de 25 mg de $N\ kg^{-1}$ de suelo a los 50 cm hasta llegar a un máximo de 50 mg de $N\ kg^{-1}$ de suelo a los 70 cm de profundidad. Contrariamente, el contenido de N mineral en CATIE disminuyó inversamente proporcional a la profundidad, con valores que oscilaron entre 3 y 12 mg de $N\ kg^{-1}$ de suelo.

En la Figura 22b se muestran la comparación entre sitio de los valores de pH en el suelo en extracción en agua. Se observa que el pH en Paraíso es significativamente mayor en los primeros 15 cm, en comparación a los valores encontrados en CATIE, siendo similares en la capa de 15-35 cm, profundidad a partir de la cual se presenta los valores se invierten, observándose un incremento significativo del pH en CATIE hasta la profundidad de 70 cm.

Los resultados nos indican que en los suelos de Paraíso por debajo de los 35 cm existe una gran acumulación de nitratos. Estas acumulaciones que pueden ocurrir en profundidades mayores, podrían ser el resultado de una contaminación de nitratos por efecto del flujo de agua proveniente de partes más elevadas fuera de la finca. También podría deberse a una acumulación de N-NO_3^- en el suelo como resultado de años de fertilización cuando la finca era manejada de forma convencional.

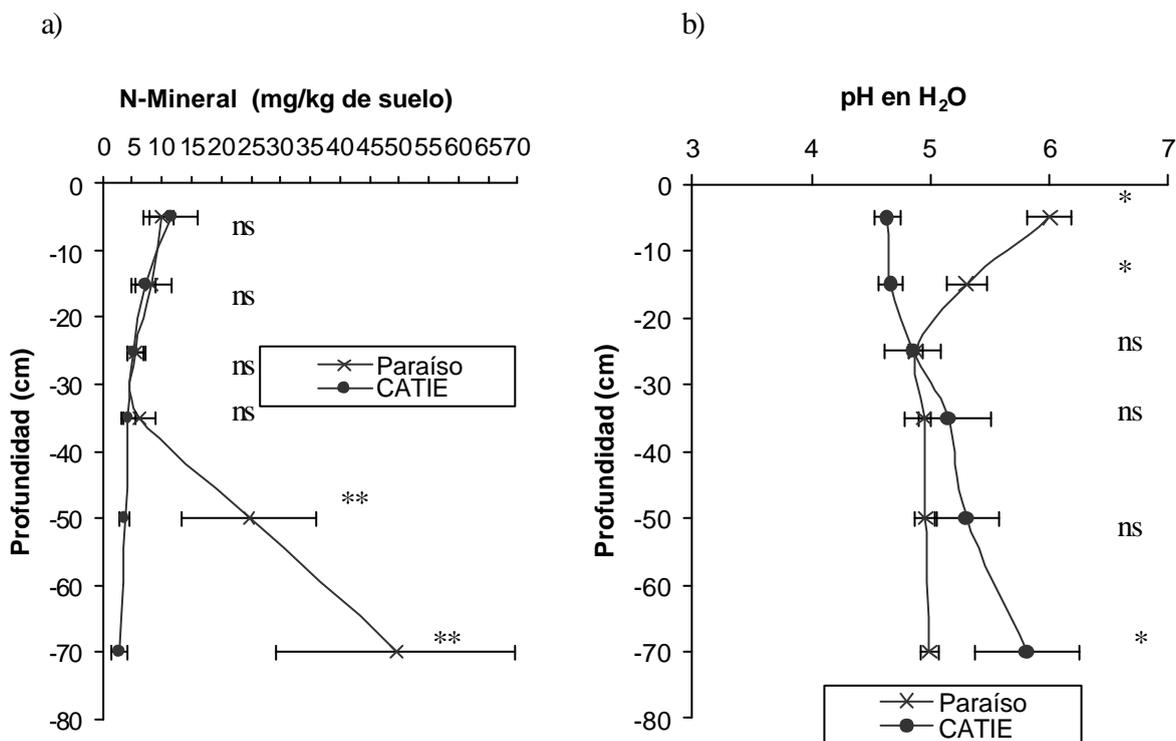


Figura 22. Comparación del contenido de N-mineral y pH del suelo en dos sitios con sistema de manejo orgánico de café asociado con poró. Las barras horizontales representa el intervalo de confianza al 5% de probabilidad, Cartago, 2003. Fecha de muestreo 16 y 30 de junio del 2003.

4.9. Fijación de nitrógeno

4.9.1. Fijación atmosférica por el poró

En la Figura 23 se muestran los $d^{15}N$ de las muestras de hojas de café y poró bajo tres tipos de podas realizadas en octubre del 2002 en Paraíso. Se puede observar que el $d^{15}N$ promedio encontrado en el poró (6.98) difirió significativamente del $d^{15}N$ encontrado en el café (4.59).

El $d^{15}N$ entre poda parcial y total fueron similares, pero difirieron significativamente del valor encontrado en árboles sin poda.

Al comparar los tipos de poda del poró se encontraron diferencias significativas, siendo poda parcial y poda total superiores estadísticamente a sin poda.

Estos resultados indican que para esa fecha no hubo fijación de N atmosférico por el poró, debido al contenido más alto de $d^{15}N$ del poró en comparación al obtenido en el café.

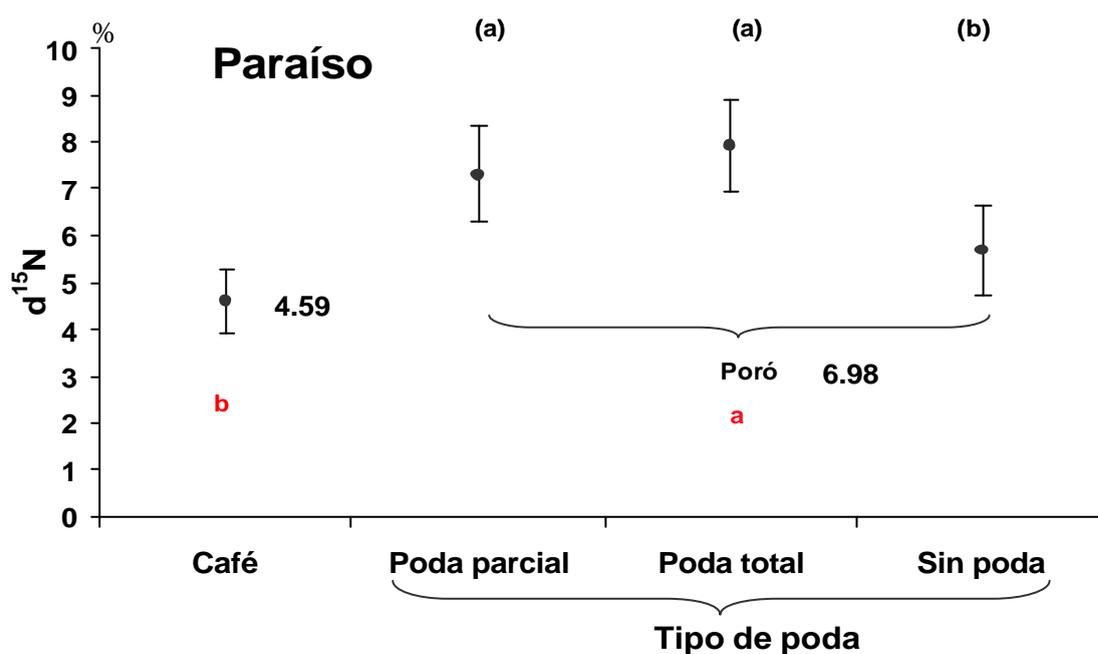


Figura 23. Valores promedio de $d^{15}N$ en las hojas de café y *Erythrina poeppigiana* con poda parcial, total y sin poda en el sistema de manejo orgánico de café en finca Cristina, Cartago, 2003. (Fecha de muestreo agosto 2002). Las barras verticales representan el intervalo de confianza al 5 % de probabilidad. Las letras entre paréntesis corresponden a la comparación de los tipos de poda del poró.

En la Figura 24 se presentan los valores de $d^{15}N$ de las muestras de hojas de café y poró bajo tres tipos de podas realizadas en agosto del 2003 en Paraíso y CATIE. Se observa que en CATIE (Figura 24a) no

se detectaron diferencias estadísticas entre los tipos de poda, cuyos valores $d^{15}N$ oscilaron entre 1.14 y 1.70, mientras que en Paraíso estos valores entre tipo de poda difirieron significativamente ($P=0.036$), presentando valores $d^{15}N$ entre 3.83 y 4.38.

En la Figura 24b se observa que en Paraíso los valores fueron más altos en el cultivo de café, seguido del poró. Comparando los tres tipos de poda se observa que en esta fecha los árboles con poda parcial y total presentaron los $d^{15}N$ más altos (4.38 y 4.11), comparado a los árboles sin poda (3.83). Eso indica que la poda influye sobre la tasa de fijación del poró.

Comparando los valores promedios entre sitios (Figura 25), se observa que CATIE presentó valores más bajos de $d^{15}N$ en comparación con Paraíso. El $d^{15}N$ del café en Paraíso (5.88) superó significativamente ($P= 0.033$) al $d^{15}N$ del café en CATIE (4.98), lo que indica una abundancia natural de ^{15}N del suelo más alta en Paraíso comparado al obtenido en CATIE.

Por otro lado, los valores $d^{15}N$ (4.16) del poró en Paraíso superaron significativamente ($P=0.0001$) a los del CATIE (1.54). También se observó que en CATIE el $d^{15}N$ del poró (1.54) difirió significativamente respecto al café (4.98). Eso indica que en ambos sitios hubo fijación de N_2 , sin embargo, la tasa de fijación fue mayor en CATIE, respecto a Paraíso.

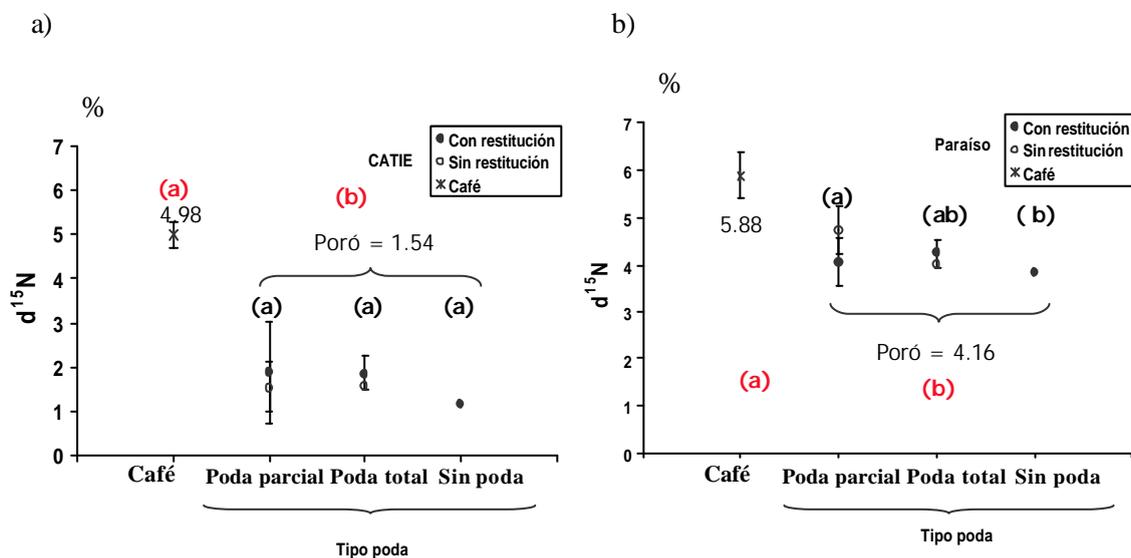


Figura 24. Valores promedios de $d^{15}N$ en las hojas café y de *Erythrina poeppigiana* con poda parcial, total y sin poda en el sistema de manejo orgánico de café en dos sitios contrastantes, Cartago, 2003. (Fecha de muestreo agosto 2003). Las barras verticales representan el intervalo de confianza al 5 % de probabilidad. Medias con letra diferentes son significativas al 5 % de probabilidad.

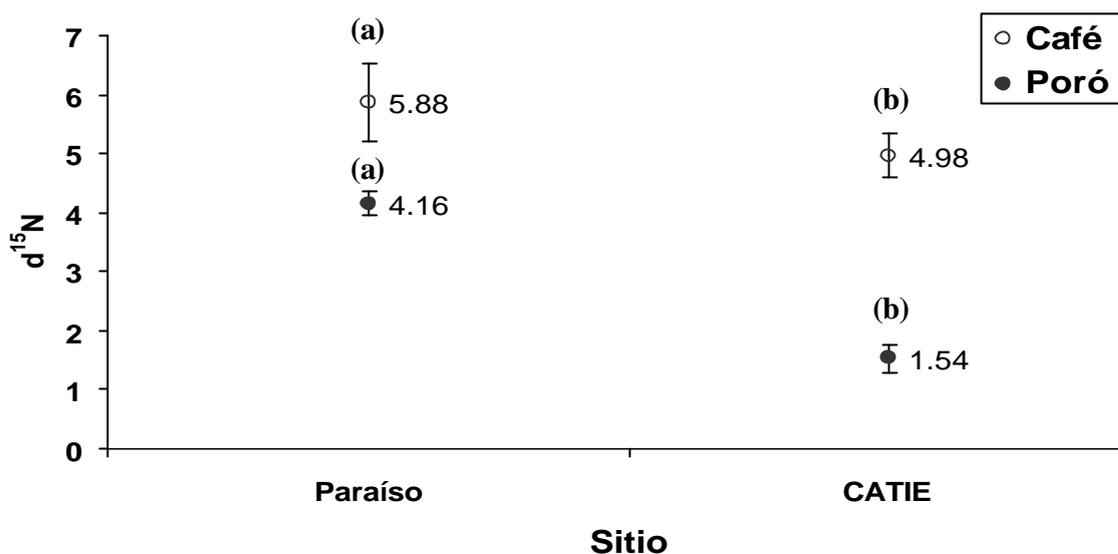


Figura 25. Comparación entre sitios de los valores promedio de $d^{15}N$ en las hojas de café y de *Erythrina poeppigiana* en el sistema de manejo orgánico de café en dos sitios contrastantes, Cartago, 2003. (Fecha de muestreo agosto 2003). Las barras verticales representan el intervalo de confianza al 5 % de probabilidad. Medias con letra diferentes son significativas al 5 % de probabilidad.

En ambos sitios, el poró obtuvo la abundancia natural de ^{15}N más baja comparado al café, lo que indica que hubo fijación de N_2 por parte del poró. No obstante, esta diferencia entre las especies (poró y café) es más alta en CATIE, lo que nos sugiere que hubo una mayor fijación en este sitio, comparado a Paraíso (Cuadro 15).

Al comparar los tratamientos CR y SR para cada sitio se puede observar que estos no difirieron estadísticamente en las tasas de fijación de N_2 .

En el Cuadro 15 se presentan los porcentajes de N derivado de la atmósfera (%Nda) estimados en el poró bajo tres tipos de poda en dos fechas de muestreo (solo Paraíso en octubre 2002 y Paraíso-CATIE en agosto 2003). El cálculo de fijación se hizo utilizando el café como testigo y considerando un coeficiente de enriquecimiento isotópico del poró que osciló entre -2 y 0 %.

Se puede observar que el % de fijación del poró en Paraíso en el muestreo del mes de octubre 2002 fue cero (0 %). Sin embargo, se presentaron tasas de fijación en el segundo muestreo (agosto 2003) para los dos sitios bajo estudio.

Cuadro 15. Porcentaje de N derivado de la atmósfera de *Erythrina poeppigiana* con poda parcial, total y sin poda en dos sitios contrastantes con sistema de manejo orgánico de café, Cartago, 2003. (Fechas de muestreo octubre 2002 y agosto 2003).

Tipo poda	Paraíso (Oct 2002)	Paraíso (Agosto 2003)				CATIE (Agosto 2003)			
		Con restitución		Sin restitución		Con restitución		Sin restitución	
		* -2	* 0	-2	0	-2	0	-2	0
Poda parcial	0	28	37	9	12	43	61	50	70
Poda total	0	26	34	16	26	44	62	50	70
Sin poda	0	30	40			54	76		
Promedio	0	28	37	13	19	47	66	50	70
Prom./Trat	0	33		34		57		60	
Prom. Sitio	0	34				59			

* Enriquecimiento isotópico del poró = -2 y 0

En CATIE se presentaron los porcentajes más altos de fijación atmosférica (43-76 %), comparados a los encontrados en Paraíso (9-40 %). Al comparar los tratamientos CR entre sitios bajo los tres tipos de poda se puede observar que en CATIE los árboles con poda parcial y total fijaron entre 43-62 % de N₂ y los árboles no podados alcanzaron los niveles más altos de fijación entre 54-76 %. Esto significa que, en términos de fijación de N₂, CATIE (59 %) superó a Paraíso (34 %) en un 42 %.

Diversos autores han reportado la importancia potencial de la fijación biológica de nitrógeno en árboles utilizados para sombra, tanto en plantaciones de café como de cacao. Sin embargo, las evidencias experimentales son aún escasas (Aranguren *et al.* 1982; Bornemisza, 1982; Roskoski, 1982; Santana & Cabala Rosana, 1982).

Estudios realizados por Escalante *et al.* (1984) en plantaciones de café y cacao sin fertilización con sombra *Inga*, *G. sepium* y *E. poeppigiana* reportaron una fijación de nitrógeno de 35-60 kg ha⁻¹ año⁻¹. Por otro lado, Fassbender (1987), comparando los balances de nutrientes de asociaciones de café con árboles de sombra leguminosos y no leguminosos, también estimó que árboles de *E. poeppigiana* fijaron 60 kg de N ha⁻¹ año⁻¹. Herrera *et al.* (1987) reportaron que los nódulos de árboles de *E. poeppigiana* no podados, en plantaciones de cacao en Venezuela desaparecieron durante la época seca. En otro estudio realizado por Nygren y Ramírez (1995) encontraron que los nódulos de *E. poeppigiana* desaparecieron casi completamente durante diez semanas después de la poda, lo que sugiere que pueden haber 20 semanas en el año durante los cuales estos árboles podados no fijan N₂ y compiten por el N del suelo con el cultivo.

Los resultados difieren de los reportados por Durlomne *et al.*, (2000) en un estudio sobre fijación y ciclaje de N en un sistema silvopastoril con *Gliricidia sepium*, donde obtuvo un fijación de N atmosférico entre 60-87 %. Pero son similares a los encontrados por Ladha *et al.*, (1993) en un cultivo en callejón con *G. sepium* y maíz en Filipinas, que reportó una fijación de N₂ entre 31-54 %.

En este estudio las plantaciones de café con manejo orgánico en ambos sitios tienen de establecidas entre 20-25 años y el poró entre 4-10 años, donde no se aplica químicos, solo manejo de podas, lo que implica que desde el punto de vista del ciclaje interno de N se va asemejando a lo que sucede en la mayoría de los ecosistemas de bosques tropicales (Aranguren *et al.*, 1982). Bajo esta condición, la contribución de N al suelo por parte del poró, ya sea por fijación biológica, caída de hojarasca y el aporte por las raíces muertas representan factores importantes para el mantenimiento de la fertilidad de los suelos y la sostenibilidad del sistema.

La diferencia en los porcentajes de fijación de N entre sitios se puede deber a la gran disponibilidad de N mineral que presenta el suelo en Paraíso. Por otro lado, en CATIE, tuvo los mayores niveles de fijación, debido principalmente al menor contenido de N mineral. Este efecto se refuerza debido a que en Paraíso se encontraron altos niveles de N mineral en el perfil del suelo entre 50 y 200 cm de profundidad, lo que podría explicar las bajas tasas de fijación de N encontrados en este sitio.

4.9.2. Nodulación

Aun cuando se encontraron diferencias en la actividad de fijación de N₂, en el número y peso de los nódulos, el análisis estadístico no mostró diferencias significativas entre los sitios (Figura 26a y Figura 26b)

Se observó una tendencia con nivel superior en CATIE en el número de nódulos activos (19 %), muertos (12 %) y total (18 %) en comparación a Paraíso. Se estimó que la biomasa de nódulos mostró una tendencia 37 % (0.17 g/l) superior en CATIE (0.46 g/l) que en Paraíso (0.29 g/l). Sin embargo, la diferencia fue significativa (P=0.03) solamente a 1.5 m de distancia del árbol de poró (Figura 27).

El mayor nivel de fijación de N₂ del poró en CATIE comparado a Paraíso, está relacionado con una menor biomasa de nódulos en Paraíso.

En ese mismo sentido, Roskoski (1982) encontró una mayor fijación de N en suelos de cafetales bajo sombra con *Inga junicuil* (40 kg N ha⁻¹ año⁻¹), en comparación con suelos de cafetales bajo sombra con *I. vera*, la cual alcanzó solo 1 kg N ha⁻¹ año⁻¹ de N fijado debido a su ausencia de nodulación. Estos resultados son indicativos de que la fijación de N por leguminosas, adicionales al cultivo, puede ser una fuente importante de N para los agroecosistemas.

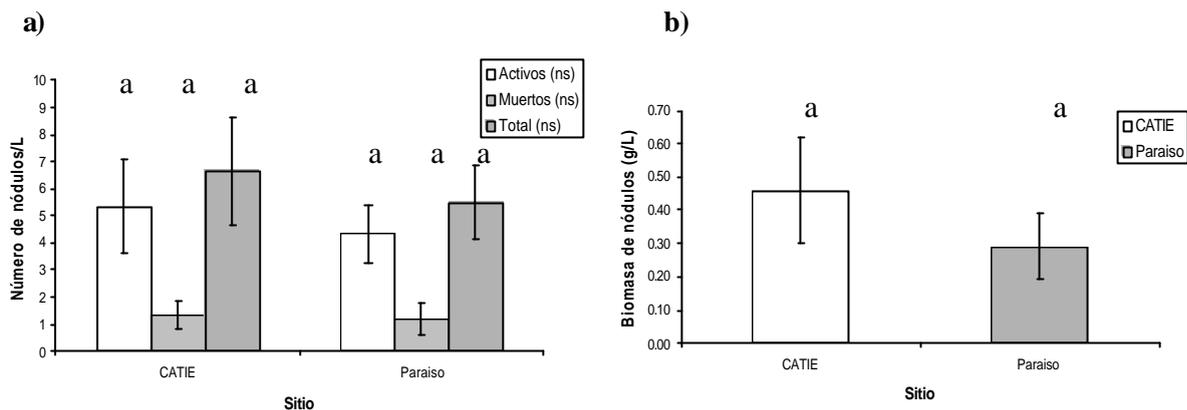


Figura 26. Comparación de nódulos activos, muertos, total y producción de biomasa nodular (g/L) de raíces de *Erythrina poeppigiana* en el sistema de manejo orgánico de café en dos sitios contrastantes, Cartago, 2003. Las barras verticales representan el intervalo de confianza al 5 % de probabilidad. Valores seguidos de la misma letra no son significativos a 0.05.

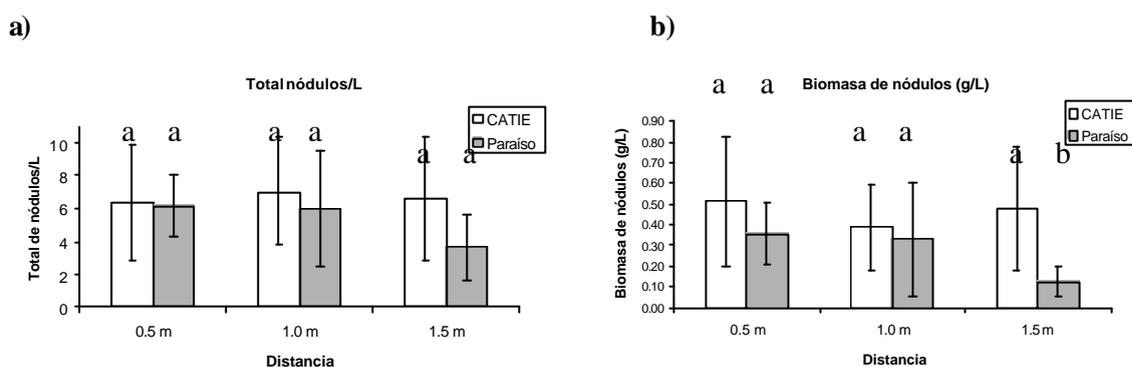


Figura 27. Comparación de nódulos activos, muertos, total y producción de biomasa nodular (g/L) de raíces de árboles de *Erythrina poeppigiana* a tres distancias (0.5, 1.0 y 1.5 m) del mismo en el sistema de manejo orgánico de café en dos sitios contrastantes. Cartago, 2003. Las barras verticales representan el intervalo de confianza al 5 % de probabilidad. Medias seguidas de la misma letra no son diferentes significativamente a 0.05, (ns) = No significativo.

Escalante *et al.* (1984) estimaron que fueron liberados entre 57-66 kg de N ha⁻¹ año⁻¹ a través de la mortalidad y descomposición de nódulos de *E. poeppigiana* no podada, sin diferenciar entre el contenido de N en los nódulos (22-23 kg de N ha⁻¹ año⁻¹) entre parcelas fertilizadas y no fertilizadas. Nygren y Ramírez (1995) encontraron una liberación de 6.8 a 35.4 g N árbol⁻¹ en un ciclo de poda de 23 semanas (9.6 a 50 kg de N ha⁻¹ año⁻¹) a través de la mortalidad y descomposición de nódulos de *E. poeppigiana*. Estos dos estudios sugieren que una proporción significativa de N₂ fijado por los árboles de sombra puede ser transferido dentro del suelo a plantas no fijadoras de N₂.

V. Conclusiones

1. En Paraíso la mineralización acumulada (212 kg N ha^{-1}) en la calle del café fue significativamente mayor a la ocurrida en CATIE (152 kg N ha^{-1}) durante el periodo de 24 semanas (abril-septiembre 2003). Estas diferencias se deben probablemente a ciertas condiciones de suelo, como el contenido de N total y pH más alto en Paraíso, que pueden influir directamente sobre la mineralización y nitrificación neta.
2. En Paraíso, la mineralización mensual neta de N en la calle (36 mg N kg^{-1} de suelo) fue más activa en comparación a la hilera del café (23 mg N kg^{-1} de suelo), en relación con una mayor humedad en ese lugar, respecto a la hilera.
3. En Paraíso, existe un mayor contenido de N mineral en la calle (21 mg N kg^{-1} de suelo) que en la hilera del café (17 mg N kg^{-1} de suelo), como resultado de una mayor tasa de mineralización del N y una aparente menor absorción radicular por las plantas de café.
4. La restitución de residuos de poda de poró tiende a aumentar la concentración de N-NO_3^- en el suelo a la profundidad de 30 cm, pero contrariamente no tuvo efecto significativo sobre la mineralización del N del suelo y la fijación de N_2 por parte del poró.
5. En Paraíso, a pesar de no haber sido fertilizado el cafetal desde hace más de 10 años con abono químico, la fijación de N_2 por el poró fue mínima, debido a la gran disponibilidad de N mineral en el suelo de este sitio.
6. La tasa de fijación de N_2 (43-70 %) y la biomasa de nódulos fueron mayores en CATIE comparado a las ocurridas en Paraíso (9-40 %), como resultado de una menor disponibilidad de N mineral en el primer sitio.
7. La tasa de fijación de N_2 por el poró es mayor bajo condiciones pobres de suelo. Esta representa una contribución importante en el ciclaje y balance de N del suelo que podría ayudar a una mejor disponibilidad de N al sistema.

VI. Recomendaciones

1. Continuar los estudios de mineralización del N del suelo a mediano y largo plazo para tener una mayor diferenciación de los tratamientos con y sin restitución de residuos de poda.
2. Realizar estudios complementarios para determinar si existe la posibilidad de fijación de N-NO_3^- por las alófanas en Paraíso.
3. Utilizar los valores de ^{15}N en las leguminosas como un índice de disponibilidad de N del suelo.
4. Mejorar el entendimiento del proceso de fijación de N_2 en el sistema de manejo orgánico de café.

VII. Referencias bibliográficas

- Amarger, N., Mariotti, F., 1977. Essai d'estimation du taux d'azote fixé symbiotiquement chez le lupin par le traçage isotopique naturel (^{15}N). Comptes rendus de l'Académie des Sciences, Série D 284, 2179-2182.
- Anderson, JM; Leonard, MA; Ineson, P. and Huish, S. 1985. Faunal biomass: a key component of a general model of nitrogen mineralization. *Soil Biol. Biochem.* 17:735-737.
- Anderson, JM; Ingram, JM. 1993. *Tropical Soil Biology and Fertility. A Handbook of Methods.* 2da edit. C.A.B. International. 215 p.
- Aranguren, J. 1979. Contribución de la caída de hojarasca al ciclo de nutrientes en cultivos bajo árboles de sombra (café y cacao). Tesis Mag. Sc., Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Caracas, Venezuela, 285 p.
- Aranguren, J., Escalante, G. and Herrera, R. 1982. Nitrogen cycle of tropical perennial crops under shade trees: I. Coffee. In: *Nitrogen cycling in ecosystems of Latin America and the Caribbean.* *Plant and Soil* 67:247-258.
- Avila, H.E., 2002. Dinámica del nitrógeno en el sistema agroforestal *Coffea arabica* con *Eucalyptus deglupta* en la zona sur de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, 2002. 87p.
- Babbar, L. y Zak, D. 1994. Nitrogen cycling in coffee agroecosystems: net N mineralization and nitrification in the presence and absence of shade trees. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 48: 107-113.
- Babbar, L. y Zak, D. 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: 227-233.
- Baca, B.E., Soto, L., Pardo, M.E., 2000. Fijación biológica de nitrógeno. Elementos (revista trimestral). Elementos No. 38 Vol. 7, Junio-Agosto 2000
- Bardin, R., Domenach, A.M., Chalamet, A., 1977. Rapports isotopiques naturels de l'azote II. Application á la mesure de la fixation symbiotique de l'azote in situ. *Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol* 14, 395-402.
- Beer, J. 1985. Experiencias con árboles de sombra en cafetales en Costa Rica. In Beer, J.; Fassbender, H.; Heuvelink, J. (eds. 1989). *Avances en la Investigación Agroforestal.* Costa Rica, Turrialba, CATIE-GTZ. p 244-253.
- Beer, J. 1988. Litter production and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) or cacao (*Theobroma cacao*) plantations with shade trees. *Agrofor. Syst.* 7: 103-114.
- Bertrand, B; Rapidel, B. 1999. *Desafíos de la caficultura en Centroamérica.* PROMECAFE/CIRAD/IRD/CCC. Francia. VII. Título. 496 p.

- Bertsch, F. 1995. La Fertilidad de los Suelos y su Manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José. 157 p.
- Binkley, D. 1984. Ion-exchange resin bags for assessing soil N availability: the importance of ion concentration, water regime, and microbial competition. *Soil Sci. Soc. of Am. J.* 48:1181-1184.
- Bornemisza, E. 1982. Nitrogen cycling in coffee plantations. In: Nitrogen cycling in ecosystems of Latin America and the Caribbean. *Plant and Soil* 67:241-2246.
- Cannell, MGR and Kimen, B.S. 1971. Uptake and distribution of macronutrients in trees of *Coffea arabica* L. in Kenya as affected by seasonal climatic differences and the presence of fruits. *Annals of Applied Biology* 68:213-230.
- Carvajal, J.F., 1984. Cafeto-Cultivo y fertilización. Berna, Suiza, Instituto de la Potasa.
- Chinchilla, V.E., 1987. Atlas cantonal de Costa Rica. Instituto de Fomento y Asesoría Municipal, San José Costa Rica. p. 175-178.
- Coyne, M., 1999. Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio. Editorial Paraninfo, Madrid España. 416p.
- Díaz Romeu, R., 1977. Determinación de nitrógeno total en suelos; método semi-micro Kjeldahl. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1977, 2 p.
- Díaz Romeu, R. y Hunter A., 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos, tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, CATIE. 68p.
- Douglas and Mag doff. 1991. An evaluation of nitrogen mineralization indices for organic residues. *Journal of Environmental Quality*. 20:372 – 386.
- Durlome, M; Sierra, J; Nygren, P; Cruz, P. 2000. Nitrogen fixation and recycling of the fixed nitrogen in a cut-and-carry silvopastoral system under subhumid tropical conditions (Guadaloupe, French Antilles). International Symposium o Silvopastoral Systems. Second Congress on Agroforestry and Livestock Production in Latin America. San José, Costa Rica. CATIE/GTZ/LEAD/DANIDA/IFS/IUFRO/SIDA/FAO.
- Ellis, RC. 1974. The seasonal patterns of nitrogen and carbon mineralization in forest and pasture soils in southern Ontario. *Can. J. Soil Sci.* 54:15-28.
- Eno, CF. 1960. Nitrate production in the field by incubating the soil in polyethylene bags. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 24:277-279.
- Escalante, G; Herrera, R. y Aranguren, J., 1984. Nitrate fixation in shade trees (*Erythrina poeppigiana*) in cacao plantations in North Venezuela. *Pes Agropec Bras* 19 (s/n):223-230.
- FAO, 1989. FAO/UNESCO Soli map of the world. Revised Legend. World Resources Report 60.
- FAO, 1995. Manual Técnico de la Fijación Simbiótica del Nitrógeno, Leguminosa/Rhizobium. Segunda Edición, FAO, Roma, Cuatro capítulos.
- Fassbender, HW; Alpizar, L; Heuvelop, J; Enríquez, G., and Fölster, H. 1985. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) con laurel (*Cordia alliodora*) y con poró (*Erythrina poeppigiana*) en

- Turrialba, Costa Rica: III. Modelos de la materia orgánica y los elementos nutritivos. Turrialba 35:403-413.
- Fassbender, HW; Bornemisza, E. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Colección de libros y materiales educativos N° 81. IICA, San José, Costa Rica. 420 p.
- Fassbender, HW., 1987. Nutrient cycling in agroforestry systems of coffee (*Coffea arabica*) with shade trees in Central Experiment of CATIE. In: Beer J; Fassbender, H., and Heuveldop J /eds) Advances in Agroforestry Research, pp 155-165. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Fassbender, HW., 1992. Ten years balance of organic matter and nutrients in agroforestry systems at CATIE, Costa Rica. Forest Ecology and Management (Holanda). 45 : 173-183.
- Fassbender, HW., 1993. Modelos edafológicos de Sistemas Agroforestales. Serie de materiales de enseñanza No. 29. 2da. Edición. CATIE-GTZ, Turrialba, Costa Rica, 491p.
- Flores, JP. 1988. Determinación de dosis de fertilización nitrogenada para maíz y cebada en el Estado de Tlaxcala mediante un modelo simplificado. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Centro de Edafología, Montecillo, México.
- Foresta, H. de y Michon, G., 1993. Creation and management of rural Agroforests in Indonesia: potential applications in Africa. In: Tropical forests, people and food, Ch.60. Edited by C.M. Hladik. Man and the biosphere series, vol. 13. UNESCO.
- Forsythe, W., 1980. Física de suelos; Manual de Laboratorio. San José, IICA. 212p.
- Glover, N. y Beer, J., 1984. Spatial and temporal fluctuations of litterfall in the agroforestry associations *Coffea arabica* var. *caturrea-Erythrina poeppigiana* and *C. arabica* var. *caturrea-E. poeppigiana-Cordia alliodora*. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 50 p.
- Griffin, GF., and Laine, AF., 1983. Nitrogen mineralization in soils previously amended with organic wastes. Agronomy Journal 75:124-312.
- Hart, SC. and Binkley, D., 1985. Correlation among indices of forest soil nutrient availability in fertilized and unfertilized loblolly pine plantations. Plant and Soil 85:11-21.
- Herrera, R; Aranguren, J; Escalante; Cuenca, G; Accardi, A, Navidad, E y Toro, M. 1987. Plantaciones de cacao y café bajo árboles de sombra en Venezuela. In Beer, J.W.; Fassbender, H.W y Heuveldop, J. Eds. 1989. Avances en la Investigación agroforestal: Memoria del seminario. Turrialba, Costa Rica, CATIE-GTZ, p.196-205.
- Holdridge, LR., 1979. Ecología basada en zonas de vida. Serie Libros y Materiales Educativos N° 34, IICA, San José, Costa Rica.
- Imbach, AC.; Fassbender, H.W.; Beer, J.; Borel, R.; Bonneman, A. 1988. Sistemas Agroforestales de Café (*Coffea Arabica*) con Laurel (*Cordia Alliodora*) y Café con Poró (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. VI. Balances Hídricos e Ingresos con Lluvia y Lixiviación de Elementos Nutritivos. Turrialba 39: 400-414

- Ingraham, RE., Trofymow, JA., Ingham, ER., and Coleman, D.C., 1985. Interactions of bacteria, fungi and their nematode grazers: effects on nutrient cycling and plant growth. *Ecological Monograph* 55:119-140.
- Kursten, E; Burschel, P. 1993. CO₂ mitigation by Agroforestry. *Water, Air and Soil Pollution*. 70:533-544.
- Ladha, J.K., Peoples, M.B., Garrity, D.P., Capuno, V.T., and Dart, P.J., 1993. Estimating dinitrogen fixation of hedgerow vegetation using the nitrogen 15 natural abundance method. *Soil Sci. Soc. Am. J.*57:732-737.
- Lamb, D. 1980. Soil nitrogen mineralization in a secondary rainforest succession. *Ecology* 47:257-263.
- Macduff, JH., and White, RE., 1985. Net mineralization and nitrification rates in a clay soil measured and predicted in permanent grassland from soil temperature and moisture content. *Plant and Soil* 86:151-172.
- Marion, GM; Kummerow, J. and Miller PC, 1981. Predicting nitrogen mineralization in chaparral soils. *Soil Sci. Soc. of Am. J.* 45:956:961.
- Matson, P.A., y Boone, R.D. 1984. Natural disturbance and nitrogen mineralization: wave-form dieback of mountain hemlock in the Oregon cascades. *Ecology* 65:1511-1516.
- Montagnini, F., Jordan, CF., Machado, MR., 1999. Reciclaje y eficiencia en el uso de nutrientes en sistemas agroforestales. *YVYRARETA*. 9:21-40.
- Mulvaney, R.L., 1996. Nitrogen Inorganic Forms. *Methods of Soil Analysis*. Part 3.SSSA, Inc. Madison, Wisconsin, USA, p. 1123-1131, 1146-1160.
- Muschler, R. 1997. Shade or sun for ecologically sustainable coffee production: a summary of environmental key factors. *Actas de la III semana científica, celebrada del 3-5 de febrero de 1997 en CATIE*. Turrialba , Costa Rica. p : 109-112.
- Muschler, R; Bonnemann, A. 1997. Potentials and limitations of Agroforestry for changing land-use in the tropics: experiences from Central America. *Forest Ecology and Management*, 91: 61-73.
- Nadelhoffer, KJ; Aber, JD and. Melillo, JM. 1985. Fine roots, net primary production, and soil nitrogen availability: a new hypothesis. *Ecology* 66:1377-1390.
- Navidad, E. 1987. Estimación del balance de nitrógeno en una plantación de café cultivada a exposición solar. Tesis Lic. Biología. Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela, 190 p.
- Nordmeyer, H and Richter J. 1985. Incubation experiments on nitrogen mineralization in loess and sandy soils. *Plant and Soil* 83:433-445.
- Nygren, P. 1995. Carbon and nitrogen dynamics in *Erythrina poeppigiana* (leguminosae : phaseoleae) trees managed by periodic prunings. Doctoral thesis in Agricultural and Forestry, University of Helsinki, Department of Forest Ecology. 51p.

- Nygren, P y Ramírez, C. 1995. Production and turnover of N₂ fixing nodules in relation to foliage development in periodically pruned *Erythrina poeppigiana* (Leguminosae) trees. *For Ecol Man* 73: 59-73.
- Papaniappan, S. 1993. Growth and nutrient accumulation in young *Coffea arabica* plants. *Café Cacao Thé* 27:303-312.
- Popovic, B. 1971. Effect of sampling date on nitrogen mobilization during incubation experiments. *Plant and Soil* 34:381-392.
- Raison, R.J; Connell MJ and Khanna P.K. 1987. Methodology for studying fluxes of soil mineral-N *in situ*. *Soil Biol. Biochem.* 19:521-530.
- Reynolds-Vargas, J.S; Richter, 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.
- Richards, BN; Smith, J.E; White GJ. and Charley JL, 1985. Mineralization of soil nitrogen in three forest communities from the New England region of New South Wales. *Austr. J. Ecol.* 10:429-441.
- Rivero, C. 1999. Materia orgánica del suelo. Alcance (57) Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Maracay-Venezuela. 211p.
- Roskoski, J.P., 1982. Nitrogen fixation in a Mexican coffee plantation. *Plant and Soil.* 67:283-291.
- Russo, RO, 1983. Efecto de la poda de *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook (poró), sobre la nodulación, producción de biomasa y contenido de N en el suelo en un sistema agroforestal Café-Poró. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. 108 p.
- Russo, RO y Budowsky, G. 1986. Effect of pollarding frequency on biomass of *Erythrina poeppigiana* as a coffee shade tree. *Agroforestry Systems (Holanda).* 4 : 145-162.
- Sabogal M, 1983. Observaciones sobre la combinación de *Cedrela odorata* con café en Tabarcia-Palmichal (Cantón Puriscal). *In:* Heuvellop, J. y Espinoza, L. (eds.). El componente arbóreo en Acosta y Puriscal, Costa Rica. CATIE, Turrialba, Costa Rica. pp. 90-101.
- Salisbury, FB; Ross, CW., 1994. Fisiología Vegetal. 4ª ed. Editorial Iberoamérica. México D.C. 759 p.
- Sánchez, P., 1976. Properties and management of soils in the tropics , Wiley, New York.
- Santana, M.B.M. & Cabala Rosana, P., 1982. Dynamics of nitrogen in a shade cacao plantation. *Plant and Soil*, 67: 271-281.
- SAS Institute, 1999. SAS/STAT User's guide. Versión 8 (TS MO). SAS Institute Cary, N.C., USA. Licensed to Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Solórzano, P.P.S. 1997. Fertilidad de suelo, su manejo en la producción agrícola. Alcance (51) Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Maracay-Venezuela. 201p.

- Sollins, P; Spycher, G. and Gassman, C., 1984. Net nitrogen mineralization from light- and heavy-fraction forest soil organic matter. *Soil Biol. Biochem.* 16:31-37.
- Somarriba, E. 1990. ¿Qué es Agroforestería? *El Chasqui (Costa Rica)* : 5-13.
- Stein, JA; Sageman, AR; Fischer, RA and Angus, JF, 1987. Soil nitrogen supply of wheat in relation to method of cultivation. *Soil & Tillage Research* 10:243-258.
- U.S. SOIL CONSERVATION SERVICE. 1987. Characterization data of profiles in Guatemala, El Salvador, Costa Rica, and Panama. s.p.
- Vitousek, P.M. y Matson, P.A., 1984. Mechanism of nitrogen retention in forest ecosystems: A field experiment. *Science*, 225:51-52.
- Vitousek, PM; Aber, J; Howarth, RO; Likens, GE; Matson PA; Schindler, DW; Schlesinger, WH; Tilman, GD. 1997. Human Alteration of the Global Cycle: Causes and Consequences. *Issues in Ecology* (1): 1-15.
- Westermann, D.T., and Crothers, SE, 1980. Measuring soil nitrogen mineralization under field condition. *Agronomy Journal* 72:1009-1012.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Valores promedios de aporte de biomasa y nitrógeno (kg/ha) al momento del establecimiento de los ensayos en Paraíso y CATIE.

a) Biomasa y Mantillo superficial (kg/ha) por compartimiento, finca Cristina, Paraíso, Cartago, 2003.

Repetición	Con restitución			Sin restitución	
	Ramas	Hojas	Mantillo	Ramas	Hojas
1	11103.40	1691.85	9840.00	4472.58	702.63
2	9333.76	551.49	12053.33	11370.92	977.68
3	22764.84	1838.21	8133.33	12918.26	1557.36
4	19530.49	2329.67	10853.33	21534.71	825.28
Promedio	15683.12	1602.81	10220.00	12574.12	1015.74
Suma Total	27,506.00			13,590.00	

b) Aporte de N (kg/ha) por componente, finca Cristina, Paraíso, Cartago, 2003.

Repetición	Con restitución			Sin restitución	
	Ramas	Hojas	Mantillo	Ramas	Hojas
1	107.78	89.49	336.53	43.61	37.05
2	102.79	26.55	368.83	130.18	47.34
3	188.89	91.84	259.45	116.92	76.37
4	174.43	122.13	333.20	187.27	43.78
Promedio	143.47	82.50	324.50	119.50	51.14
Suma Total	550.50			170.64	

c) Biomasa y Mantillo superficial (kg/ha) por compartimiento, 'La Montaña', CATIE, Turrialba, 2003.

Repetición	Con restitución			Sin restitución	
	Ramas	Hojas	Mantillo	Ramas	Hojas
1	16795.24	3284.03	11380.00	24532.88	2388.54
2	10752.94	2870.07	12960.00	15443.26	2886.53
3	22888.19	3028.54	13706.67	15336.83	3323.47
4	11800.02	2051.39	14106.67	15761.55	3788.19
Promedio	15559.10	2808.51	13038.34	17768.63	3096.68
Suma Total	31,406.00			20,865.31	

d) Aporte de N (kg/ha) por componente, 'La Montaña', CATIE, Turrialba, 2003.

Repetición	Con restitución			Sin restitución	
	Ramas	Hojas	Mantillo	Ramas	Hojas
1	131.18	168.47	274.26	183.64	122.53
2	52.83	146.37	268.27	77.03	147.21
3	164.18	155.06	217.94	113.41	170.16
4	97.17	110.77	342.79	149.42	204.56
Promedio	111.34	145.17	275.82	130.88	161.12
Suma Total	532.33			292.00	

Anexo 2. Resultados de análisis estadísticos de los contenidos de N-NO₃⁻ y N-NH₄⁺ del suelo en los tratamientos bajo estudio en Paraíso, 2003.

a) N-NO₃⁻ del suelo (mg/kg)

Mes	Con Restitución			Sin Restitución			Promedio		
	Hilera	Calle	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F	CR	SR	Pr>F
17-Ene	20.50 a	23.05 a	0.4788	18.49 a	20.47 a	0.4291	21.78 a	19.48 a	0.6074
17-Feb	5.61 a	18.85 a	0.1976	14.51 a	25.32 a	0.2010	12.23 a	19.91 a	0.2831
17-Mar	22.25 a	21.22 a	0.1430	27.23 a	36.18 a	0.2730	26.74 a	31.70 a	0.5604
14-Abr	12.08 a	16.98 a	0.0865	15.94 a	23.77 a	0.0685	14.53 a	19.86 a	0.3089
13-May	28.19 a	18.60 a	0.2143	16.73 a	21.39 a	0.5287	23.40 a	19.06 a	0.5472
9-Jun	5.77 b	9.63 a	0.0028*	6.35 a	7.36 a	0.5230	7.70 a	6.86 a	0.2237
7-Jul	7.71 a	8.73 a	0.5442	5.96 a	5.80 a	0.9346	8.22 a	5.88 a	0.1457
4-Ago	17.93 a	17.32 a	0.9176	11.48 a	7.90 a	0.2411	17.62 a	9.87 a	0.1163
1-Sep	15.16 a	19.57 a	0.1815	17.25 a	9.85 b	0.0180*	17.36 a	13.55 a	0.1374
Prom.	15.02 a	18.22 a	0.1226	14.92 a	17.56 a	0.1309	16.62 a	16.24 a	0.8065

Mes	Hilera			Calle			Promedio		
	CR	SR	Pr>F	CR	SR	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F
17-Ene	20.50 a	18.49 a	0.7001	23.05 a	20.47 a	0.5727	19.49 a	21.76 a	0.2435
17-Feb	5.61 a	14.51 a	0.0542	18.85 a	25.32 a	0.5833	10.06 b	22.09 a	0.0419*
17-Mar	22.25 a	27.23 a	0.6116	21.22 a	36.18 a	0.5916	24.74 b	33.70 a	0.0481*
14-Abr	12.08 a	15.94 a	0.3363	16.98 a	23.77 a	0.3137	14.01 b	20.37 a	0.0067**
13-May	28.19 a	16.73 a	0.1938	18.60 a	21.39 a	0.7541	22.46 a	20.00 a	0.6336
9-Jun	5.77 b	6.35 a	0.5185	9.63 a	7.36 a	0.0769	6.06 b	8.49 a	0.0260*
7-Jul	7.71 a	5.96 a	0.4735	8.73 a	5.80 b	0.0368*	6.83 a	7.27 a	0.7003
4-Ago	17.93 a	11.48 a	0.4206	17.32 a	7.90 b	0.0061**	14.89 a	12.61 a	0.4571
1-Sep	15.16 a	17.25 a	0.5484	19.57 a	9.85 b	0.0059**	16.21 a	14.71 a	0.6073
Prom.	15.02 a	14.92 a	0.9633	18.22 a	17.56 a	0.7491	14.97 b	17.89 a	0.0155*

CR = Con restitución, SR = Sin restitución

b) N-NH₄⁺ del suelo (mg/kg)

Mes	Con Restitución			Sin Restitución			Promedio		
	Hilera	Calle	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F	CR	SR	Pr>F
17-Ene	4.06 a	3.66 a	0.7408	3.33 a	4.85 a	0.3970	3.86 a	4.09 a	0.8612
17-Feb	1.18 a	1.70 a	0.0713	1.68 a	5.53 a	0.3381	1.44 a	3.62 a	0.2110
17-Mar	3.52 a	3.05 a	0.8194	3.00 a	3.37 a	0.5377	3.29 a	3.33 a	0.9739
14-Abr	1.92 b	4.87 a	0.0255*	2.72 a	4.15 a	0.1936	3.39 a	3.44 a	0.9619
13-May	2.90 a	2.93 a	0.8980	3.32 a	3.72 a	0.8876	2.91 a	3.51 a	0.6447
9-Jun	1.27 b	1.85 a	0.0458*	1.52 a	3.85 a	0.2457	1.56 a	2.67 a	0.2722
7-Jul	1.52 a	3.75 a	0.2499	2.03 a	2.38 a	0.1382	2.63 a	2.21 a	0.5874
4-Ago	1.07 a	2.71 a	0.3941	-	0.71	-	1.89 a	0.71 a	0.3015
1-Sep	1.07 a	1.33 a	0.6485	1.80 a	0.90 a	0.2886	1.20 a	1.36 a	0.6514
Prom.	2.05 a	2.88 a	0.1520	2.16 a	3.31 a	0.1659	2.46 a	2.92 a	0.3386

Mes	Hilera			Calle			Promedio		
	CR	SR	Pr>F	CR	SR	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F
17-Ene	4.06 a	3.33 a	0.4869	3.66 a	4.85 a	0.5744	3.70 a	4.25 a	0.5784
17-Feb	1.18 a	1.68 a	0.2724	1.70 a	5.53 a	0.2793	1.43 a	3.62 a	0.2375
17-Mar	3.52 a	3.00 a	0.7521	3.05 a	3.37 a	0.6652	3.25 a	3.36 a	0.9192
14-Abr	1.92 a	2.72 a	0.0961	4.87 a	4.15 a	0.5864	2.32 b	4.52 a	0.0075**
13-May	2.90 a	3.32 a	0.8319	2.93 a	3.72 a	0.6876	3.09 a	3.33 a	0.8528
9-Jun	1.27 a	1.52 a	0.2556	1.85 a	3.85 a	0.2920	1.40 a	2.84 a	0.1205
7-Jul	1.52 a	2.03 a	0.3741	3.75 a	2.38 a	0.3875	1.78 a	3.07 a	0.1570
4-Ago	1.07 a	-	-	2.71 a	0.71 a	0.3346	1.07 a	1.71 a	0.3941
1-Sep	1.07 a	1.80 a	0.3273	1.33 a	0.90 a	0.3388	1.44 a	1.13 a	0.5349
Prom.	2.05 a	2.42 a	0.4203	2.88 a	3.31 a	0.4829	2.16 b	3.09 a	0.0282*

Anexo 3. Resultados de análisis estadísticos de la N-mineral (N-NO₃⁺ + N-NH₄⁺) y % de humedad inicial del suelo en los tratamientos bajo estudio en Paraíso, Cartago, 2003.

a) Porcentaje de humedad inicial del suelo

Mes	Con Restitución			Sin Restitución			Promedio		
	Hilera	Calle	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F	CR	SR	Pr>F
17-Ene	54.96 a	60.25 a	0.0137*	60.05 a	59.73 a	0.9116	57.61 a	59.90 a	0.2152
17-Feb	52.57 b	61.08 a	0.0297*	54.73 b	62.28 a	0.0500*	56.82 a	58.51 a	0.5832
17-Mar	47.48 b	55.88 a	0.0199*	39.88 a	47.53 a	0.1128	51.69 b	43.71 a	0.0276 *
14-Abr	45.05 b	55.40 a	0.0287*	44.25 a	47.62 a	0.2134	50.22 a	45.93 a	0.2107
13-May	50.35 a	54.07 a	0.5919	46.62 a	50.90 a	0.1425	52.20 a	48.77 a	0.4429
9-Jun	54.52 b	65.63 a	0.0337*	48.38 b	55.12 a	0.0147*	60.08 a	51.75 b	0.0046**
7-Jul	54.88 a	64.50 a	0.1472	56.12 a	59.45 a	0.3444	59.68 a	57.79 a	0.4983
4-Ago	50.18 b	60.75 a	0.0155 *	53.50 a	53.75 a	0.9686	55.46 a	53.62 a	0.2749
1-Sep	55.65 b	62.05 a	0.0206*	54.37 a	58.05 a	0.4465	58.86 a	56.22 a	0.4816
Prom.	51.74 b	59.96 a	0.0119 *	50.88 a	54.94 a	0.1180	55.85 a	52.91 a	0.1792

Mes	Hilera			Calle			Promedio		
	CR	SR	Pr>F	CR	SR	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F
17-Ene	54.96 a	60.05 a	0.1003	60.25 a	59.73 a	0.7567	57.51 a	59.99 a	0.1850
17-Feb	52.57 a	54.73 a	0.3583	61.08 a	62.28 a	0.7826	53.65 b	61.68 a	0.0011**
17-Mar	47.48 a	39.88 b	0.0445*	55.88 a	47.53 a	0.065	43.69 b	51.71 a	0.0031**
14-Abr	45.05 a	44.25 a	0.7788	55.40 a	47.62 a	0.1084	44.64 b	51.50 a	0.0122*
13-May	50.35 a	46.62 a	0.2923	54.07 a	50.90 a	0.6571	48.49 a	52.48 a	0.2303
9-Jun	54.52 a	48.38 b	0.0462*	65.63 a	55.12 b	0.0062**	51.45 b	60.39 a	0.0013**
7-Jul	54.88 a	56.12 a	0.6153	64.50 a	59.45 a	0.3524	55.49 a	61.98 a	0.0624
4-Ago	50.18 a	53.50 a	0.5046	60.75 a	53.75 a	0.0728	51.83 a	57.25 a	0.2130
1-Sep	55.65 a	54.37 a	0.7649	62.05 a	58.05 a	0.3829	55.01 b	60.07 a	0.0494*
Prom.	51.74 a	50.88 a	0.5897	59.96 a	54.94 b	0.0436 *	51.31 b	57.45 a	0.0027**

b) Porcentaje de humedad de la muestra de suelo incubada

Mes	Con Restitución			Sin Restitución			Promedio		
	Hilera	Calle	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F	CR	SR	Pr>F
17-Feb	53.25 a	58.15 a	0.3644	53.23 a	57.45 a	0.2270	55.70 a	55.34 a	0.9131
17-Mar	45.32 a	52.69 a	0.3565	45.92 b	54.35 a	0.0241 *	49.00 a	51.13 a	0.3920
14-Abr	47.12 b	57.08 a	0.0042 **	38.22 b	50.19 a	0.0073 **	52.10 a	44.21 b	0.0073**
13-May	38.37 b	49.86 a	0.0133 *	36.96 b	52.55 a	0.0078 **	44.11 a	43.73 a	0.8878
9-Jun	56.12 b	72.32 a	0.0170 *	52.04 a	59.56 a	0.0786	64.22 a	55.80 b	0.0106*
7-Jul	59.74 b	77.95 a	0.0057 **	53.44 b	58.93 a	0.0113 *	68.85 a	56.19 b	0.0018**
4-Ago	52.01 b	72.57 a	0.0006 **	55.40 b	61.30 a	0.0398 *	62.29 a	58.35 b	0.0477*
1-Sep	58.06 a	64.36 a	0.0846	51.70 a	60.52 a	0.0810	61.21 a	56.11 a	0.1607
Prom.	51.25 b	63.12 a	0.0500*	48.36 b	57.11 a	0.0006**	57.18 a	52.73 a	0.1652

Mes	Hilera			Calle			Promedio		
	CR	SR	Pr>F	CR	SR	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F
17-Feb	53.25 a	53.23 a	1.000	58.15 a	57.45 a	0.9189	53.24 a	57.80 a	0.2064
17-Mar	45.32 a	45.92 a	0.8732	52.69 a	54.35 a	0.6325	45.62 a	54.52 a	0.1135
14-Abr	47.12 a	38.22 b	0.0018**	57.08 a	50.19 a	0.0857	42.67 b	53.63 a	0.0003**
13-May	38.37 a	36.96 a	0.6619	49.86 a	52.55 a	0.8727	37.66 b	51.21 a	0.0005**
9-Jun	56.12 a	52.04 a	0.1145	72.32 a	59.56 a	0.0654	54.08 b	65.94 a	0.0157*
7-Jul	59.74 a	53.44 b	0.0312*	77.95 a	58.93 b	0.0032**	56.59 b	68.44 a	0.0072**
4-Ago	52.01 a	55.40 a	0.3388	72.57 a	61.30 b	0.0014**	53.71 b	66.94 a	0.0063**
1-Sep	58.06 a	51.70 a	0.1794	64.36 a	60.52 a	0.2578	54.88 b	62.44 a	0.0035**
Prom.	51.25 a	48.36 b	0.1485 *	63.12 a	57.11 a	0.0768	49.81 b	60.11 a	0.0010**

CR = Con restitución, SR = Sin restitución

Anexo 4. Resultados de análisis estadísticos de N-mineral (17 Ene al 01 Sep/03) y mineralización acumulada del periodo 17 de Febrero al 01 de Septiembre 2003 (mg/kg), finca Cristina, Paraíso, Cartago, 2003.

a) N-Mineral Paraíso del suelo (mg/kg)

Mes	Con Restitución			Sin Restitución			Promedio		
	Hilera	Calle	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F	CR	SR	Pr>F
17-Ene	24.56 a	26.71 a	0.5989	21.82 a	25.31 a	0.2867	25.63 a	23.57 a	0.6611
17-Feb	6.79 a	20.56 a	0.1790	16.19 a	30.89 a	0.2378	13.67 a	23.54 a	0.2163
17-Mar	25.77 a	34.26 a	0.1627	30.22 a	39.85 a	0.2963	30.02 a	35.03 a	0.5877
14-Abr	14.00 a	21.84 b	0.0403*	18.66 b	27.93 a	0.0202*	17.92 a	23.30 a	0.3069
13-May	31.06 a	21.54 a	0.2068	20.04 a	25.11 a	0.6040	26.30 a	22.57 a	0.6072
9-Jun	7.05 b	11.48 a	0.0015**	7.87 a	11.19 a	0.1668	9.26 a	9.53 a	0.8556
7-Jul	9.22 b	12.48 a	0.0003**	8.00 a	8.19 a	0.9222	10.85 a	8.09 a	0.2320
4-Ago	19.00 a	20.03 a	0.8101	11.84 a	8.43 a	0.2584	19.51 a	10.14 a	0.0940
1-Sep	16.22 a	20.92 a	0.2181	19.07 a	10.76 b	0.0170 *	18.57 a	14.91 a	0.1663
Prom.	17.07 a	21.09 a	0.0604	17.08 a	20.85 a	0.1191	19.08 a	18.96 a	0.9443

Mes	Hilera			Calle			Promedio		
	CR	SR	Pr>F	CR	SR	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F
17-Ene	24.56 a	21.82 a	0.6346	26.71 a	25.31 a	0.7688	23.19 a	26.01 a	0.2260
17-Feb	6.79 a	16.19 a	0.0332*	20.56 a	30.89 a	0.4599	11.49 b	25.72 a	0.0465*
17-Mar	25.77 a	30.22 a	0.6968	34.26 a	39.85 a	0.5427	28.00 a	37.06 a	0.0644
14-Abr	14.00 a	18.66 a	0.2847	21.84 a	27.93 a	0.3446	16.33 b	24.89 a	0.0006**
13-May	31.06 a	20.04 a	0.1885	21.54 a	25.11 a	0.7278	25.55 a	23.33 a	0.7045
9-Jun	7.05 a	7.87 a	0.4472	11.48 a	11.19 a	0.9013	7.46 b	11.33 a	0.0033**
7-Jul	9.22 a	8.00 a	0.6192	12.48 a	8.19 a	0.0981	8.61 a	10.33 a	0.1342
4-Ago	19.00 a	11.84 a	0.3451	20.03 a	8.43 b	0.0153*	15.42 a	14.23 a	0.6220
1-Sep	16.22 a	19.07 a	0.4571	20.92 a	10.76 b	0.0078**	17.65 a	15.84 a	0.5814
Prom.	17.07 a	17.08 a	0.9968	21.09 a	20.85 a	0.8965	17.08 b	20.97 a	0.0068**

CR = Con restitución, SR = Sin restitución

b) Mineralización acumulada del periodo Febrero-Septiembre 2003 (mg/kg):

Proceso	Con Restitución			Sin Restitución			Promedio		
	Hilera	Calle	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F	CR	SR	Pr>F
Mineralización neta	203.71 b	293.34 a	0.0086**	158.13 b	274.01 a	0.0331*	248.52 a	216.07 a	0.4303
Nitrificación neta	210.00 b	338.67 a	0.0339*	166.17 b	292.38 a	0.0185*	274.33 a	229.27 a	0.3607
Kg N-NO ₃ /ha	174.30	281.10		138.00	242.68		227.70	190.30	

Densidad aparente = 0.83 g cm⁻³

Proceso	Hilera			Calle			Promedio		
	CR	SR	Pr>F	CR	SR	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F
Mineralización neta	203.71 a	158.13 a	0.2419	293.34 a	274.01 a	0.7198	180.92 b	283.67 a	0.0004**
Nitrificación neta	210.00 a	166.17 a	0.2495	338.67 a	292.38 a	0.4927	188.09 b	315.52 a	0.0004**
Kg N-NO ₃ /ha	174.30	138.00		281.10	242.68		156.11	262.00	

Anexo 5. Evolución de los contenidos de N-Mineral (N-NO₃⁻ + N-NH₄⁺) en el suelo a la profundidad de 0-10 cm, durante el periodo de 17 de enero al 16 de septiembre del 2003 en Finca Cristina, Paraíso, Cartago, 2003.

Trat.	N (mg/kg suelo)	Lugar	17-Ene	17-Feb	17-Mar	14-Abr	13-May	9-Jun	7-Jul	4-Ago	1-Sep	Prom	%
Con Restitución	N-NO ₃ ⁻	Hilera	20.50	5.61	22.25	12.08	28.19	5.77	7.71	17.93	15.16	15.02	87.98
		Calle	23.05	18.85	31.22	16.98	18.60	9.63	8.73	17.32	19.57	18.22	86.36
		Prom.	21.78	12.23	26.74	14.53	23.40	7.70	8.22	17.62	17.36	16.62	87.10
	N-NH ₄ ⁺	Hilera	4.06	1.18	3.52	1.92	2.87	1.27	1.51	1.07	1.06	2.05	12.01
		Calle	3.66	1.70	3.05	4.87	2.94	1.85	3.75	2.71	1.35	2.88	13.63
		Prom.	3.86	1.44	3.29	3.39	2.91	1.56	2.63	1.89	1.20	2.46	12.91
	N-Mineral	Hilera	24.56	6.79	25.77	14.00	31.06	7.05	9.22	19.00	17.07	17.07	100.00
		Calle	26.71	20.56	34.27	21.84	21.55	11.48	12.48	20.03	20.92	21.09	100.00
		Prom.	25.63	13.67	30.02	17.92	26.30	9.26	10.85	19.51	18.57	19.08	100.00
	%N-NO ₃ ⁻	Hilera	83.47	82.62	86.34	86.29	90.76	81.84	83.62	94.37	93.46	86.98	
		Calle	86.30	91.68	91.10	77.75	86.31	83.89	69.95	86.47	93.55	85.22	
		Prom.	84.98	89.47	89.07	81.08	88.97	83.15	75.76	90.31	93.48	86.25	
Sin Restitución	N-NO ₃ ⁻	Hilera	18.49	14.51	27.23	15.94	16.73	6.35	5.96	11.84	17.25	14.92	87.37
		Calle	20.47	25.32	36.18	23.77	21.39	7.36	5.80	7.90	9.85	17.56	84.21
		Prom.	19.91	19.91	31.70	19.86	19.06	6.86	5.88	9.87	13.55	16.29	85.89
	N-NH ₄ ⁺	Hilera	3.34	1.69	2.99	2.72	3.31	1.52	2.04	-	1.82	2.16	12.64
		Calle	4.84	5.55	3.67	4.16	3.72	3.83	2.38	0.71	0.90	3.31	15.86
		Prom.	4.09	3.62	3.33	3.34	3.51	2.67	2.21	0.71	1.36	2.76	14.55
	N-Mineral	Hilera	21.82	16.19	30.22	18.66	20.04	7.87	8.00	11.84	17.08	17.08	100.00
		Calle	25.31	30.89	39.85	27.93	25.11	11.19	8.19	8.44	10.76	20.85	100.00
		Prom.	23.57	23.54	35.03	23.30	22.57	9.53	8.09	10.14	14.91	18.96	100.00
	%N-NO ₃ ⁻	Hilera	84.74	89.62	90.11	85.42	83.48	80.69	74.50	100.00	90.46	86.56	
		Calle	80.88	81.97	90.79	85.11	85.19	65.77	70.82	93.60	91.54	82.85	
		Prom.	84.47	84.58	90.49	85.24	84.45	71.98	72.68	97.34	90.88	84.68	

Promedio del periodo Enero-Septiembre 2003 (mg/kg):

N (mg/kg)	Con Restitución			Sin Restitución			Promedio		
	Hilera	Calle	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F	CR	SR	Pr>F
N-NO ₃ ⁻	15.02 a	18.22 a	0.1226	14.92 a	17.56 a	0.1309	16.62 a	16.24 a	0.8065
N-NH ₄ ⁺	2.05 a	2.88 a	0.1520	2.16 a	3.31 a	0.1659	2.46 a	2.92 a	0.3386
N-Mineral	17.07 a	21.09 a	0.0604	17.08 a	20.85 a	0.1191	19.08 a	18.96 a	0.9443

N (mg/kg)	Hilera			Calle			Promedio		
	CR	SR	Pr>F	CR	SR	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F
N-NO ₃ ⁻	15.02 a	14.92 a	0.9633	18.22 a	17.56 a	0.7491	14.97 b	17.89 a	0.0155*
N-NH ₄ ⁺	2.05 a	2.42 a	0.4203	2.88 a	3.31 a	0.4829	2.16 b	3.09 a	0.0282*
N-Mineral	17.07 a	17.08 a	0.9968	21.09 a	20.85 a	0.8965	17.08 b	20.97 a	0.0068**

Anexo 6. Resultados de análisis estadísticos de la mineralización y nitrificación neta en los tratamientos bajo estudio, finca Cristina, Paraíso, Cartago, 2003.

a) Mineralización Neta (mg/kg)

Mes	Con Restitución			Sin Restitución			Promedio		
	Hilera	Calle	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F	CR	SR	Pr>F
17-Feb	13.42 a	23.47 a	0.3435	15.85 a	19.33 a	0.5498	18.44 a	17.59 a	0.9477
17-Mar	29.80 a	28.09 a	0.8602	28.12 a	43.78 a	0.3774	28.95 a	35.95 a	0.1466
14-Abr	27.82 a	27.17 a	0.9713	14.20 a	29.66 a	0.3718	27.49 a	21.93 a	0.7012
13-May	27.18 b	44.43 a	0.0320*	19.06 a	37.31 a	0.0500*	35.80 a	28.19 a	0.2094
9-Jun	13.07 b	49.11 a	0.0176*	14.33 a	30.85 a	0.0500*	31.09 a	22.59 a	0.5305
7-Jul	22.48 a	30.22 a	0.6984	13.43 a	11.27 a	0.4591	26.35 a	12.37 a	0.1750
4-Ago	29.90 a	38.54 a	0.6017	23.78 a	32.86 a	0.3196	34.22 a	28.32 a	0.4457
1-Sep	40.05 b	52.32 a	0.0143*	29.32 b	68.96 a	0.0061**	46.18 a	49.14 a	0.8544
Suma	203.71 b	293.34 a	0.0086**	158.13 b	274.01 a	0.0331*	248.52 a	216.07 a	0.4303

Mes	Hilera			Calle			Promedio		
	CR	SR	Pr>F	CR	SR	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F
17-Feb	13.42 a	15.85 a	0.8345	23.47 a	19.33 a	0.7977	14.63 a	21.40 a	0.2139
17-Mar	29.80 a	28.12 a	0.8626	28.09 a	43.78 a	0.1571	28.96 a	35.95 a	0.4521
14-Abr	27.82 a	14.20 a	0.4859	27.17 a	29.66 a	0.8893	21.01 a	28.34 a	0.5136
13-May	27.18 a	19.06 a	0.3451	44.43 a	37.31 a	0.2451	23.12 b	40.87 a	0.0014**
9-Jun	13.07 a	14.33 a	0.9321	49.11 a	30.85 a	0.2073	13.70 b	39.98 a	0.0023**
7-Jul	22.48 a	13.43 a	0.2208	30.22 a	11.27 a	0.3083	17.97 a	20.74 a	0.7592
4-Ago	29.90 a	23.78 a	0.2665	38.54 a	32.86 a	0.7142	26.84 a	35.70 a	0.2895
1-Sep	40.05 a	29.32 a	0.4636	52.32 a	68.96 a	0.3785	34.69 b	60.64 a	0.0032**
Suma	203.71 a	158.13 a	0.2419	293.34 a	274.01 a	0.7198	180.92 b	283.67 a	0.0004**

CR = Con restitución, SR= Sin restitución

b) Nitrificación Neta (mg/kg)

Mes	Con Restitución			Sin Restitución			Promedio		
	Hilera	Calle	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F	CR	SR	Pr>F
17-Feb	16.21 a	24.31 a	0.4490	17.95 a	22.89 a	0.4830	20.26 a	20.42 a	0.9902
17-Mar	29.19 a	27.22 a	0.8448	27.59 a	47.35 a	0.1992	28.20 a	37.47 a	0.1197
14-Abr	29.57 a	27.53 a	0.9010	15.46 a	31.06 a	0.3450	28.55 a	23.26 a	0.7200
13-May	26.83 a	82.66 a	0.2313	20.15 a	40.83 a	0.0326*	54.74 a	30.49 a	0.1560
9-Jun	14.37 a	50.17 a	0.0211*	16.62 a	33.08 a	0.0669	32.27 a	24.85 a	0.5717
7-Jul	22.76 a	31.02 a	0.6737	14.02 a	13.77 a	0.9065	26.89 a	13.89 a	0.2025
4-Ago	30.22 a	40.98 a	0.5055	25.82 a	35.02 a	0.3209	35.60 a	30.42 a	0.4744
1-Sep	40.84 a	54.78 a	0.0054**	28.57 b	68.37 a	0.0085**	47.81 a	48.47 a	0.9662
Suma	210.00 b	338.67 a	0.0339*	166.17 b	292.38 a	0.0185*	274.33 a	229.27 a	0.3607

Mes	Hilera			Calle			Promedio		
	CR	SR	Pr>F	CR	SR	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F
17-Feb	16.21 a	17.95 a	0.8745	24.31 a	22.89 a	0.9317	17.08 a	23.60 a	0.2514
17-Mar	29.19 a	27.59 a	0.8640	27.22 a	47.35 a	0.0744	28.39 a	37.29 a	0.3101
14-Abr	29.57 a	15.46 a	0.4528	27.53 a	31.06 a	0.8445	22.52 a	29.30 a	0.5231
13-May	26.83 a	20.15 a	0.4032	82.66 a	40.83 a	0.2546	23.49 a	61.75 a	0.0796
9-Jun	14.37 a	16.62 a	0.8838	50.17 a	33.08 a	0.2004	15.49 b	41.62 a	0.0030**
7-Jul	22.76 a	14.02 a	0.2272	31.02 a	13.77 a	0.3443	18.39 a	22.39 a	0.6495
4-Ago	30.22 a	25.82 a	0.4281	40.98 a	35.02 a	0.6860	28.02 a	38.00 a	0.2263
1-Sep	40.84 a	28.57 a	0.3948	54.78 a	68.37 a	0.4516	34.17 a	61.58 a	0.0024**
Suma	210.00 a	166.17 a	0.2495	338.67 a	292.38 a	0.4927	188.09 b	315.52 a	0.0004**

CR = Con restitución, SR = Sin restitución

Anexo 7. Resultados de análisis estadísticos de los contenidos de N-NO₃⁻ y N-NH₄⁺ del suelo en los tratamientos bajo estudio Experimental 'La Montaña', CATIE, Turrialba, 2003.

a) N-NO₃⁻ del suelo (mg/kg)

Mes	Con Restitución			Sin Restitución			Promedio		
	Hilera	Calle	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F	CR	SR	Pr>F
30-Mar	12.61 a	8.69 a	0.2813	9.71 a	11.18 a	0.2269	10.65 a	10.44 a	0.9516
28-Abr	9.90 a	7.91 a	0.6623	10.52 a	13.85 a	0.5354	8.91 a	12.19 a	0.5240
26-May	6.64 a	6.68 a	0.9731	6.81 a	8.55 a	0.3143	6.66 a	7.68 a	0.7131
23-Jun	4.22 a	4.49 a	0.5030	4.11 a	3.78 a	0.4975	4.35 a	3.95 a	0.6993
21-Jul	10.34 a	6.34 a	0.1881	5.36 a	5.06 a	0.8736	8.34 a	5.21 a	0.1426
18-Ago	9.29 a	13.65 a	0.2466	7.00 a	8.26 a	0.5397	11.47 a	7.63 a	0.1348
16-Sep	9.44 a	10.52 a	0.7044	8.51 a	6.22 a	0.3875	9.98 a	7.36 a	0.3816
Prom.	8.92 a	8.33 a	0.7452	7.43 a	8.13 a	0.6481	8.62 a	7.78 a	0.4309

Mes	Hilera			Calle			Promedio		
	CR	SR	Pr>F	CR	SR	Pr>F	CR	SR	Pr>F
30-Mar	12.61 a	9.71 a	0.4660	8.69 a	11.18 a	0.4953	Hilera	Calle	Pr>F
28-Abr	9.90 a	10.52 a	0.9275	7.91 a	13.85 a	0.2712	11.16 a	9.94 a	0.5142
26-May	6.64 a	6.81 a	0.9423	6.68 a	8.55 a	0.5860	10.21 a	10.88 a	0.8349
23-Jun	4.22 a	4.11 a	0.9201	4.49 a	3.78 a	0.5313	6.73 a	7.61 a	0.3557
21-Jul	10.34 a	5.36 a	0.1744	6.34 a	5.06 a	0.1757	4.16 a	4.14 a	0.9295
18-Ago	9.29 a	7.00 a	0.4446	13.65 a	8.26 a	0.1106	7.85 a	5.70 a	0.2009
16-Sep	9.44 a	8.51 a	0.7707	10.52 a	6.22 a	0.2599	8.14 a	10.95 a	0.1507
Prom.	8.92 a	7.43 a	0.4622	8.33 a	8.13 a	0.8679	8.98 a	8.37 a	0.7345

CR = Con restitución, SR = Sin restitución

b) N-NH₄⁺ del suelo, (mg/kg):

Mes	Con Restitución			Sin Restitución			Promedio		
	Hilera	Calle	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F	CR	SR	Pr>F
30-Mar	2.03 a	1.83 a	0.7129	4.03 a	2.75 a	0.7215	1.93 a	3.39 a	0.3322
28-Abr	1.16 a	1.74 a	0.4889	1.20 a	1.69 a	0.5545	1.45 a	1.44 a	0.9653
26-May	2.31 a	5.08 a	0.4861	1.33 a	1.72 a	0.8099	3.70 a	1.53 a	0.3231
23-Jun	2.24 a	1.13 a	0.5034	0.88 a	1.57 a	0.2082	1.68 a	1.22 a	0.5844
21-Jul	1.40		-	1.10 a	0.99 a	0.9533	1.40 a	1.04 a	0.8863
18-Ago	0.99 a	0.88 a	0.7990	3.71 a	3.86 a	0.9731	0.93 a	3.79 a	0.0937
16-Sep	0.76 a	1.73 a	0.1725	0.59 a	0.62 a	0.7261	1.24 a	0.60 a	0.5042
Prom.	1.56 a	1.77 a	0.5567	1.83 a	1.89 a	0.8930	1.76 a	1.86 a	0.8228

Mes	Hilera			Calle			Promedio		
	CR	SR	Pr>F	CR	SR	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F
30-Mar	2.03 a	4.03 a	0.5267	1.83 a	2.75 a	0.2124	3.03 a	2.29 a	0.6458
28-Abr	1.16 a	1.20 a	0.9465	1.74 a	1.69 a	0.9359	1.18 a	1.71 a	0.3049
26-May	2.31 a	1.33 a	0.5147	5.08 a	1.72 a	0.3922	1.82 a	3.40 a	0.4129
23-Jun	2.24 a	0.88 a	0.4091	1.13 a	1.57 a	0.4530	1.56 a	1.00 a	0.8091
21-Jul	1.40 a	1.10 a	-		0.99 a	-	1.25 a	1.35 a	-
18-Ago	0.99 a	3.71 a	0.3087	0.88 a	3.86 a	0.2843	2.35 a	2.37 a	0.9917
16-Sep	0.76 a	0.59 a	0.7003	1.73 a	0.62 a	0.1543	0.29 a	1.17 a	0.1753
Prom.	1.56 a	1.953 a	0.5704	2.07 a	1.89 a	0.8175	1.64 a	1.90 a	0.6475

Anexo 8. Resultados de análisis estadísticos de la mineralización y nitrificación neta en los tratamientos bajo estudio, Campo Experimental 'La Montaña', CATIE, Turrialba, 2003.

a) Mineralización Neta (mg/kg):

Mes	Con Restitución			Sin Restitución			Promedio		
	Hilera	Calle	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F	CR	SR	Pr>F
28-Abr	18.37 b	43.29 a	0.0407*	18.29 b	37.08 a	0.0480*	30.83 a	27.69 a	0.6149
26-May	21.49 a	22.92 a	0.7586	18.09 a	33.37 a	0.4713	22.20 a	20.23 a	0.7590
23-Jun	16.99 a	10.15 a	0.3734	16.21 a	14.69 a	0.5306	13.57 a	15.45 a	0.5996
21-Jul	28.39 a	22.85 a	0.6143	24.25 a	22.89 a	0.9154	25.62 a	23.57 a	0.6559
18-Ago	22.10 a	28.02 a	0.3088	35.96 a	36.49 a	0.9672	25.06 a	36.22 a	0.2640
16-Sep	34.15 a	23.46 a	0.2819	29.91 a	29.24 a	0.9700	28.80 a	29.57 a	0.9477
Suma	141.48 a	150.70 a	0.6635	142.70 a	162.75 a	0.3079	146.09 a	152.73 a	0.7321

Mes	Hilera			Calle			Promedio		
	CR	SR	Pr>F	CR	SR	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F
28-Abr	18.37 a	18.29 a	0.9888	43.29 a	37.08 a	0.5431	18.33 b	40.19 a	0.0024**
26-May	21.49 a	18.09 a	0.6366	22.92 a	22.37 a	0.9416	19.76 a	22.65 a	0.3960
23-Jun	16.99 a	16.21 a	0.8682	10.15 a	14.69 a	0.4071	16.60 a	12.42 a	0.2521
21-Jul	28.39 a	24.25 a	0.7171	22.85 a	22.89 a	0.9960	26.32 a	22.87 a	0.6450
18-Ago	22.10 a	35.96 a	0.3062	28.02 a	36.49 a	0.4104	29.03 a	32.25 a	0.6064
16-Sep	34.15 a	29.91 a	0.8088	23.46 a	29.24 a	0.6446	32.03 a	26.35 a	0.5350
Suma	141.48 a	142.70 a	0.9661	150.70 a	162.75 a	0.6920	142.09 a	156.73 a	0.2566

CR = Con restitución, SR = Sin restitución

b) Nitrificación neta (mg/kg):

Mes	Con Restitución			Sin Restitución			Promedio		
	Hilera	Calle	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F	CR	SR	Pr>F
28-Abr	19.13 b	43.50 a	0.0408*	20.70 b	38.38 a	0.0176*	31.32 a	29.54 a	0.7561
26-May	22.44 a	24.41 a	0.6860	18.41 a	22.34 a	0.4790	23.43 a	20.38 a	0.6298
23-Jun	18.60 a	14.13 a	0.3904	16.73 a	15.68 a	0.7490	16.37 a	16.21 a	0.9686
21-Jul	29.35 a	23.20 a	0.5874	25.12 a	24.40 a	0.9541	26.27 a	24.76 a	0.7613
18-Ago	22.13 a	27.74 a	0.3040	35.80 a	36.88 a	0.9321	24.94 a	36.34 a	0.2522
16-Sep	35.08 a	23.97 a	0.2779	33.54 a	31.86 a	0.9022	29.53 a	32.70 a	0.7943
Suma	146.74 a	156.96 a	0.5869	150.31 a	169.55 a	0.2113	151.85 a	159.93 a	0.6775

Mes	Hilera			Calle			Promedio		
	CR	SR	Pr>F	CR	SR	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F
28-Abr	19.13 a	20.70 a	0.7727	43.50 a	38.38 a	0.6105	19.62 b	40.94 a	0.0047**
26-May	22.44 a	18.41 a	0.5753	24.41 a	22.34 a	0.7738	20.43 a	23.38 a	0.3685
23-Jun	18.60 a	16.73 a	0.7179	14.13 a	15.68 a	0.7367	17.67 a	14.91 a	0.3145
21-Jul	29.35 a	25.12 a	0.7202	23.20 a	24.40 a	0.8514	27.23 a	23.80 a	0.6479
18-Ago	22.13 a	35.80 a	0.3070	27.74 a	36.88 a	0.3739	28.97 a	32.31 a	0.5857
16-Sep	35.08 a	33.54 a	0.9252	23.97 a	31.86 a	0.5256	34.31 a	27.92 a	0.4051
Suma	146.74 a	150.31 a	0.9026	156.96 a	169.55 a	0.6768	148.52 a	163.26 a	0.1751

Anexo 9. Resultados de análisis estadísticos de la N-mineral (N-NO₃⁺ + N-NH₄⁺) y % de humedad inicial del suelo en los tratamientos bajo estudio en el Campo Experimental ‘La Montaña’, CATIE, Turrialba, 2003.

a) N-Mineral, (mg/kg):

Mes	Con Restitución			Sin Restitución			Promedio		
	Hilera	Calle	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F	CR	SR	Pr>F
30-Mar	14.64 a	10.52 a	0.2888	13.74 a	13.94 a	0.9603	12.58 a	13.84 a	0.6934
28-Abr	11.0 a	9.66 a	0.7736	11.72 a	15.53 a	0.5323	10.36 a	13.63 a	0.5174
26-May	8.95 a	11.76 a	0.5339	8.15 a	10.27 a	0.1607	10.36 a	9.21 a	0.7967
23-Jun	6.45 a	5.62 a	0.6403	4.99 a	5.35 a	0.5296	6.04 a	5.17 a	0.4660
21-Jul	10.69 a	6.34 a	0.1357	5.63 a	5.80 a	0.9488	8.51 a	5.72 a	0.1723
18-Ago	10.28 a	14.53 a	0.2617	10.71 a	12.12 a	0.8251	12.40 a	11.42 a	0.7295
16-Sep	10.01 a	11.82 a	0.5905	9.10 a	6.84 a	0.4039	10.92 a	7.97 a	0.3475
Prom.	10.30 a	10.04 a	0.8446	9.15 a	9.98 a	0.6136	10.17 a	9.56 a	0.5914

Mes	Hilera			Calle			Promedio		
	CR	SR	Pr>F	CR	SR	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F
30-Mar	14.64 a	13.74 a	0.8205	10.52 a	13.94 a	0.4240	14.19 a	12.23 a	0.4397
28-Abr	11.0 a	11.72 a	0.9220	9.66 a	15.53 a	0.3093	11.39 a	12.59 a	0.7338
26-May	8.95 a	8.15 a	0.8134	11.76 a	10.27 a	0.8077	8.55 a	11.01 a	0.2429
23-Jun	6.45 a	4.99 a	0.4002	5.62 a	5.35 a	0.8192	5.72 a	5.48 a	0.7792
21-Jul	10.69 a	5.63 a	0.1683	6.34 a	5.80 a	0.6684	8.16 a	6.07 a	0.2678
18-Ago	10.28 a	10.71 a	0.9203	14.53 a	12.12 a	0.6082	10.50 a	13.33 a	0.3934
16-Sep	10.01 a	9.10 a	0.7676	11.82 a	6.84 a	0.2485	9.55 a	9.33 a	0.9096
Prom.	10.30 a	9.15 a	0.5889	10.04 a	9.98 a	0.937	9.72 a	10.01 a	0.7654

CR = Con restitución, SR = Sin restitución

b) Humedad inicial del suelo:

Mes	Con Restitución			Sin Restitución			Promedio		
	Hilera	Calle	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F	CR	SR	Pr>F
30-Mar	35.28 a	34.27 a	0.7934	38.32 a	37.87 a	0.7851	34.77 a	38.10 a	0.4366
28-Abr	36.25 a	38.15 a	0.5832	34.28 a	32.28 a	0.1835	37.20 a	33.28 a	0.1448
26-May	45.25 a	49.17 a	0.0299*	47.59 a	50.25 a	0.0835	47.21 a	48.92 a	0.5861
23-Jun	46.31 a	51.23 a	0.0679	48.50 a	51.01 a	0.0481*	48.77 a	49.75 a	0.7122
21-Jul	54.13 a	58.46 a	0.1761	54.41 a	57.43 a	0.0114*	56.30 a	55.92 a	0.9259
18-Ago	58.08 a	60.93 a	0.1476	52.35 a	52.13 a	0.9394	59.50 a	52.24 a	0.3721
16-Sep	55.22 a	57.15 a	0.4739	51.38 a	52.47 a	0.6531	56.19 a	51.92 a	0.4198
Prom.	47.22 a	49.91 a	0.0830	46.69 a	47.64 a	0.2029	48.56 a	47.16 a	0.4811

Mes	Hilera			Calle			Promedio		
	CR	SR	Pr>F	CR	SR	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F
30-Mar	35.28 a	38.32 a	0.5604	34.27 a	37.87 a	0.3838	36.80 a	36.07 a	0.6937
28-Abr	36.25 a	34.28 a	0.5501	38.15 a	32.28 a	0.0634	35.27 a	35.21 a	0.9769
26-May	45.25 a	47.59 a	0.4722	49.17 a	50.25 a	0.7361	46.42 b	49.71 a	0.0024**
23-Jun	46.31 a	48.50 a	0.3828	51.23 a	51.01 a	0.9466	47.40 b	51.12 a	0.0074**
21-Jul	54.13 a	54.41 a	0.9307	58.46 a	57.43 a	0.8417	54.27 b	57.95 a	0.0176*
18-Ago	58.08 a	52.35 a	0.4982	60.93 a	52.13 a	0.2797	55.21 a	56.63 a	0.4121
16-Sep	55.22 a	51.38 a	0.4645	57.15 a	52.47 a	0.4213	53.30 a	54.81 a	0.3480
Prom.	47.22 a	46.69 a	0.8555	49.91 a	47.64 a	0.4617	46.95 b	48.77 a	0.0260*

Anexo 10. Resultados de análisis estadísticos del % de humedad final (muestras incubadas) del suelo, mineralización y nitrificación neta acumulada (28 Abr al 16 Sep/03), contenido de N-NO₃⁻, N-NH₄⁺ y N-mineral (30 Mar al 16 Sep/03), Campo Experimental La Montaña, CATIE, Turrialba, 2003.

a) Porcentaje de humedad de la muestra de suelo incubada:

Mes	Con Restitución			Sin Restitución			Promedio		
	Hilera	Calle	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F	CR	SR	Pr>F
28-Abr	36.55 a	42.50 a	0.1184	37.92 a	41.16 a	0.4791	39.52 a	39.54 a	0.9972
26-May	48.37 a	48.11 a	0.9338	44.86 a	45.41 a	0.7617	48.24 a	45.13 a	0.2097
23-Jun	54.33 a	52.94 a	0.7339	54.91 a	54.78 a	0.9620	53.64 a	54.84 a	0.6856
21-Jul	55.09 a	55.86 a	0.8933	57.14 a	53.92 a	0.1885	55.47 a	55.53 a	0.9931
18-Ago	52.93 a	62.21 a	0.2152	59.27 a	57.67 a	0.7859	57.57 a	58.47 a	0.8605
16-Sep	60.93 a	61.62 a	0.9338	54.58 a	56.38 a	0.5966	61.27 a	55.48 a	0.3598
Prom.	51.37 a	53.87 a	0.1859	51.45 a	51.55 a	0.9143	52.62 a	51.50 a	0.6101

Mes	Hilera			Calle			Promedio		
	CR	SR	Pr>F	CR	SR	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F
28-Abr	36.55 a	37.92 a	0.6405	42.50 a	41.16 a	0.7833	37.24 b	41.83 a	0.0221*
26-May	48.37 a	44.86 a	0.2871	48.11 a	45.41 a	0.2252	46.61 a	46.76 a	0.9070
23-Jun	54.33 a	54.91 a	0.8380	52.94 a	54.78 a	0.6428	54.62 a	53.86 a	0.6362
21-Jul	55.09 a	57.14 a	0.6164	55.86 a	53.92 a	0.6828	56.11 a	54.89 a	0.2628
18-Ago	52.93 a	59.27 a	0.3240	62.21 a	57.67 a	0.5091	56.10 a	59.94 a	0.3668
16-Sep	60.93 a	54.58 a	0.3741	61.62 a	56.38 a	0.3735	57.75 a	59.00 a	0.4337
Prom.	51.37 a	51.45 a	0.9788	53.87 a	51.55 a	0.5585	51.41 a	52.71 a	0.1991

CR = Con restitución, SR = Sin restitución

b) Mineralización y nitrificación neta acumulada del periodo Abril-Septiembre 2003 (mg/kg):

Proceso	Con Restitución			Sin Restitución			Promedio		
	Hilera	Calle	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F	CR	SR	Pr>F
Mineralización neta	141.48 a	150.70 a	0.6635	142.70 a	162.75 a	0.3079	146.09 a	152.73 a	0.7321
Nitrificación neta	146.74 a	156.96 a	0.5869	150.31 a	169.55 a	0.2113	151.85 a	159.93 a	0.6775
Kg N-NO ₃ /ha	136.47	146.00		140.00	151.36		141.22	148.73	

Densidad aparente = 0.93 g cm⁻³

Proceso	Hilera			Calle			Promedio		
	CR	SR	Pr>F	CR	SR	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F
Mineralización	141.48 a	142.70 a	0.9661	150.70 a	162.75 a	0.6920	142.09 a	156.73 a	0.2566
Nitrificación	146.74 a	150.31 a	0.9026	156.96 a	169.55 a	0.6768	148.52 a	163.26 a	0.1751
Kg N-NO ₃ /ha	136.47	140.00		146.00	151.36		138.12	151.83	

c) Valores promedios de N del periodo Marzo-Septiembre 2003 (mg/kg):

N (mg/kg)	Con Restitución			Sin Restitución			Promedio		
	Hilera	Calle	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F	CR	SR	Pr>F
N-NO ₃ ⁻	8.92 a	8.33 a	0.7452	7.43 a	8.13 a	0.6481	8.62 a	7.78 a	0.4309
N-NH ₄ ⁺	1.56 a	1.77 a	0.5567	1.83 a	1.89 a	0.8930	1.76 a	1.86 a	0.8228
N-Mineral	10.30 a	10.04 a	0.8446	9.15 a	9.98 a	0.6136	10.17 a	9.56 a	0.5914

N (mg/kg)	Hilera			Calle			Promedio		
	CR	SR	Pr>F	CR	SR	Pr>F	Hilera	Calle	Pr>F
N-NO ₃ ⁻	8.92 a	7.43 a	0.4622	8.33 a	8.13 a	0.8679	8.98 a	8.37 a	0.7345
N-NH ₄ ⁺	1.56 a	1.953 a	0.5704	2.07 a	1.89 a	0.8175	1.64 a	1.90 a	0.6475
N-Mineral	10.30 a	9.15 a	0.5889	10.04 a	9.98 a	0.937	9.72 a	10.01 a	0.7654

Valores seguidos de la misma letra no difieren estadísticamente a una Pr < 0.05.

* Significativo al 5 % de probabilidad

** Significativo al 1 % de probabilidad

Anexo 11. Evolución de los contenidos de N-Mineral (N-NO₃⁻ y N-NH₄⁺) en el suelo a la profundidad de 0-10 cm, durante el periodo de 17 de enero al 16 de septiembre del 2003 en Estación Experimental La Montaña, CATIE, Turrialba, 2003.

Trat.	N (mg/kg suelo)	Lugar	30-Mar	28-Abr	26-May	23-Jun	21-Jul	18-Ago	16-Sep	Prom	%
Con Restitución	N-NO ₃ ⁻	Hilera	12.61	9.90	6.64	4.22	10.34	9.29	9.44	8.92	86.63
		Calle	8.69	7.91	6.68	4.49	6.34	13.65	10.52	8.33	82.96
		Prom.	10.65	8.91	6.66	4.36	8.34	11.47	9.98	8.62	84.79
	N-NH ₄ ⁺	Hilera	2.03	1.16	2.31	2.24	1.40	0.99	0.76	1.56	15.11
		Calle	1.83	1.74	5.08	1.13	-	0.88	1.73	1.77	17.64
		Prom.	1.93	1.45	3.70	1.69	1.40	0.94	1.25	1.66	16.37
	N-Mineral	Hilera	14.64	11.06	8.95	6.45	10.69	10.28	10.01	10.30	100.00
		Calle	10.52	9.66	11.76	5.62	6.34	14.53	11.82	10.04	100.00
		Prom.	12.58	10.36	10.36	6.04	8.52	12.41	10.92	10.17	100.00
	% N-NO ₃ ⁻	Hilera	86.13	89.51	74.19	65.43	96.73	90.37	94.31		
		Calle	82.60	81.88	56.80	79.89	100.00	93.94	89.00		
		Prom.	84.66	85.96	64.32	72.16	97.94	92.46	91.43		
Sin Restitución	N-NO ₃ ⁻	Hilera	9.71	10.52	6.81	4.11	5.36	7.00	8.51	7.43	81.23
		Calle	11.18	13.85	8.55	3.78	5.06	8.26	6.22	8.13	81.47
		Prom.	10.45	12.19	7.68	3.95	5.21	7.63	7.37	7.78	81.35
	N-NH ₄ ⁺	Hilera	4.03	1.20	1.33	0.88	1.10	3.71	0.59	1.83	20.05
		Calle	2.75	1.69	1.72	1.57	0.99	3.86	0.62	1.89	18.90
		Prom.	3.39	1.45	1.53	1.23	1.05	3.79	0.61	1.86	19.48
	N-Mineral	Hilera	13.74	11.72	8.15	4.99	5.63	10.71	9.10	9.15	100.00
		Calle	13.93	15.53	10.27	5.35	5.80	12.12	6.84	9.98	100.00
		Prom.	13.84	13.63	9.21	5.17	5.72	11.42	7.97	9.56	100.00
	% N-NO ₃ ⁻	Hilera	70.67	89.76	83.56	82.36	95.20	65.36	93.52		
		Calle	80.26	89.18	83.25	70.65	87.24	68.15	90.94		
		Prom.	75.50	89.43	83.39	76.31	91.16	66.84	92.41		

Anexo 12. Resultados de análisis estadísticos combinado entre sitio (Paraíso y CATIE) de mineralización y nitrificación neta acumulada (Abr-Sep/03) y contenido de N-NO₃⁺ (Mar-Sep/03), Cartago, 2003.

a) Mineralización neta (mg/kg):

Mes	Hilera			Calle			Promedio		
	Paraíso	CATIE	Pr>F	Paraíso	CATIE	Pr>F	Paraíso	CATIE	Pr>F
Abr	21.01 a	18.33 a	0.7748	28.41 a	40.19 a	0.2211	24.71 a	29.26 a	0.5177
May	23.19 a	19.80 a	0.5265	40.87 a	22.65 b	0.0111 *	32.00 a	21.22 b	0.0241*
Jun	13.70 a	16.60 a	0.6812	40.00 a	12.42 b	0.0022 **	26.84 a	14.51 b	0.0474*
Jul	17.98 a	26.32 a	0.1989	20.75 a	22.87 a	0.8189	19.36 a	24.60 a	0.3359
Ago	26.84 a	29.03 a	0.7532	35.70 a	32.25 a	0.6874	31.27 a	30.64 a	0.9075
Sep	34.70 a	32.03 a	0.7992	60.63 a	26.35 b	0.0051 **	47.66 a	29.19 b	0.0250*
Suma	137.42 a	142.11 a	0.8417	226.36 a	156.73 b	0.0572^[*]	181.89 a	149.42 a	0.2490

^[*] Significativo al 5.7 % de probabilidad

b) Nitrificación neta (mg/kg):

Mes	Hilera			Calle			Promedio		
	Paraíso	CATIE	Pr>F	Paraíso	CATIE	Pr>F	Paraíso	CATIE	Pr>F
Abr	22.51 a	19.92 a	0.7748	29.30 a	40.94 a	0.2265	25.91 a	30.43 a	0.5115
May	23.49 a	20.43 a	0.5416	61.75 a	23.38 b	0.0466 *	42.62 a	21.91 b	0.0494*
Jun	15.50 a	17.67 a	0.7675	41.62 a	14.91 b	0.0014 **	28.56 a	16.29 a	0.3418
Jul	18.40 a	27.23 a	0.1813	22.40 a	23.80 a	0.8764	20.40 a	25.52 a	0.6558
Ago	28.02 a	28.97 a	0.8903	38.00 a	32.31 a	0.4947	33.01 a	30.64 a	0.6558
Sep	34.71 a	34.31 a	0.9684	61.58 a	27.92 b	0.0045 **	48.15 a	31.12 b	0.0338*
Suma	142.63 a	148.53 a	0.8022	254.65 a	163.26 b	0.0358 *	198.64 a	155.90 a	0.1762

c) N-NO₃⁻ del suelo (mg/kg):

Mes	Hilera			Calle			Promedio		
	Paraíso	CATIE	Pr>F	Paraíso	CATIE	Pr>F	Paraíso	CATIE	Pr>F
Mar	24.74 a	11.16 b	0.0127 *	33.70 a	9.94 b	0.0001 **	29.22 a	10.55 b	0.0001**
Abr	14.00 a	10.13 a	0.3044	20.37 a	10.88 b	0.0333 *	17.19 a	10.51 b	0.0208*
May	22.46 a	6.73 b	0.0028 **	20.00 a	7.61 b	0.0112 *	21.23 a	7.17 b	0.0001**
Jun	6.06 a	4.16 b	0.0090 **	8.50 a	4.14 b	0.0001 **	7.28 a	4.15 b	0.0001**
Jul	6.83 a	7.85 a	0.6351	7.27 a	5.70 a	0.0966	7.05 a	6.78 a	0.8097
Ago	14.89 a	8.14 a	0.0901	12.61 a	10.95 a	0.5436	13.75 a	9.55 a	0.0720
Sep	16.21 a	8.98 b	0.0044 **	14.71 a	8.37 b	0.0393 *	15.46 a	8.68 b	0.0004**
Prom	15.03 a	8.16 b	0.0003 **	16.74 a	8.23 b	0.0001 **	15.88 a	8.20 b	0.0001**

Anexo 13. Resultados de análisis estadísticos combinado entre sitio (Paraíso y CATIE) de los contenidos de NH₄⁺ y N-mineral (Mar-Sep/03), mineralización y nitrificación neta acumulada (Abr-Sep/03) y contenidos promedios de N-NO₃⁻, N-NH₄⁺ y N-mineral (Mar-Sep/03), Cartago, 2003.

a) N-NH₄⁺ del suelo, (mg/kg):

Mes	Hilera			Calle			Promedio		
	Paraíso	CATIE	Pr>F	Paraíso	CATIE	Pr>F	Paraíso	CATIE	Pr>F
Mar	3.25 a	3.03 a	0.8936	3.36 a	2.29 a	0.1678	3.31 a	2.66 a	0.4617
Abr	2.32 a	1.18 b	0.0033 **	4.52 a	1.71 b	0.0010 **	3.42 a	1.45 b	0.0002**
May	3.09 a	1.82 a	0.2785	3.33 a	3.40 a	0.9728	3.21 a	2.61 a	0.6010
Jun	1.40 a	1.56 a	0.8337	2.84 a	1.35 a	0.1275	2.12 a	1.46 a	0.2818
Jul	1.77 a	1.25 a	0.3637	3.07 a	0.99 a	0.1474	2.42 a	1.10 a	0.1061
Ago	1.07 a	2.35 a	0.5003	1.86 a	2.37 a	0.7607	1.57 a	2.36 a	0.5066
Sep	1.44 a	0.66 a	0.0816	1.13 a	1.09 a	0.9391	1.28 a	0.88 a	0.1725
Prom	2.05 a	1.69 a	0.3893	2.87 a	1.89 b	0.0487 *	2.46 a	1.79 b	0.0226*

CR = Con restitución, SR = Sin restitución

b) N-Mineral, (mg/kg):

Mes	Hilera			Calle			Promedio		
	Paraíso	CATIE	Pr>F	Paraíso	CATIE	Pr>F	Paraíso	CATIE	Pr>F
Mar	28.00 a	14.19 b	0.0229 *	37.05 a	12.23 b	0.0001 **	32.53 a	13.21 b	0.0001**
Abr	16.32 a	11.39 a	0.1953	24.88 a	12.60 b	0.0085 **	20.60 a	12.00 b	0.0050**
May	25.55 a	8.55 b	0.0014 **	23.32 a	11.01 b	0.0365 *	24.44 a	9.78 b	0.0001**
Jun	7.46 a	5.72 a	0.0859	11.34 a	5.48 b	0.0002 **	9.40 a	5.60 b	0.0001**
Jul	8.61 a	8.16 a	0.8343	10.34 a	6.07 b	0.0093 **	9.48 a	7.12 a	0.0731
Ago	15.41 a	10.50 a	0.2377	14.23 a	13.33 a	0.7959	14.82 a	11.92 a	0.2668
Sep	17.65 a	9.55 b	0.0027 **	15.84 a	9.33 b	0.0050 *	16.74 a	9.44 b	0.0004**
Prom	17.0 a	9.72 a	0.3893	19.57 a	10.01 b	0.0487 *	18.29 a	9.72 b	0.0226*

c) Mineralización y nitrificación neta acumulada del periodo Abril-Septiembre 2003 (mg/kg):

Proceso	Hilera			Calle			Promedio		
	Paraíso	CATIE	Pr>F	Paraíso	CATIE	Pr>F	Paraíso	CATIE	Pr>F
Mineralización	137.42	142.11	0.8417	226.36 a	156.73 b	0.0572 ^[*]	181.89 a	149.42 a	0.2490
Nitrificación	142.63 a	148.53 a	0.8022	254.65 a	163.26 b	0.0358 *	198.64 a	155.90 a	0.1762
Kg N-NO ₃ ⁻ /ha	118.38	138.13		211.60	151.83		164.90	145.00	

^[*] Significativo al 5.7 % de probabilidad; Densidad aparente: Paraíso = 0.83 g cm⁻³, CATIE = 0.93 g cm⁻³

d) Valores promedio de N del periodo Abril-Septiembre 2003 (mg/kg):

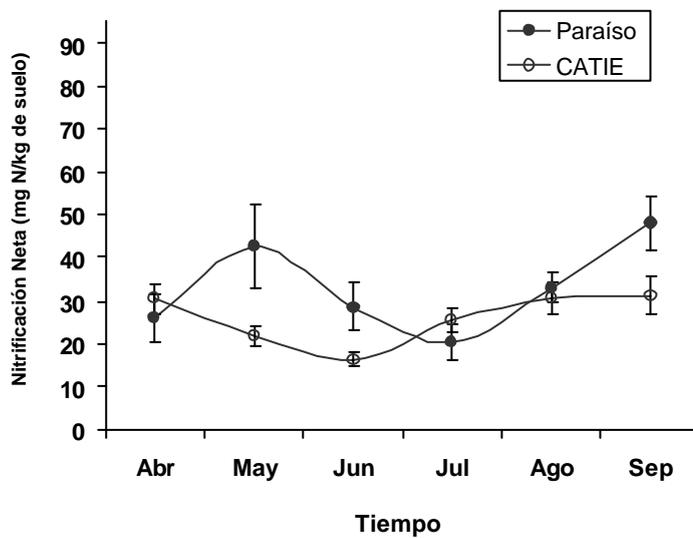
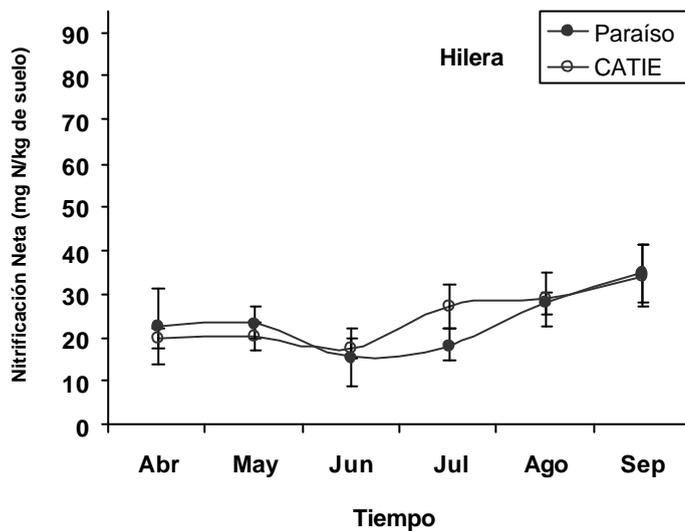
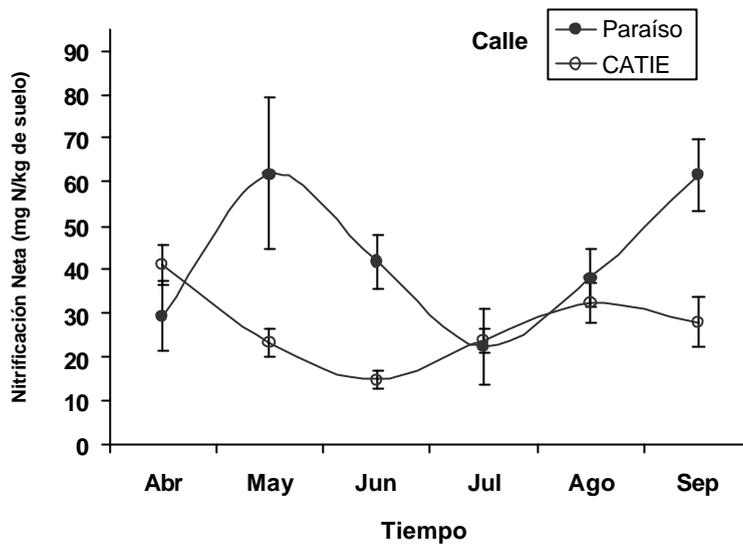
N (mg/kg)	Hilera			Calle			Promedio		
	Paraíso	CATIE	Pr>F	Paraíso	CATIE	Pr>F	Paraíso	CATIE	Pr>F
N-NO ₃ ⁻	15.03 a	8.16 b	0.0003 **	16.74 a	8.23 b	0.0001 **	15.88 a	8.20 b	0.0001**
N-NH ₄ ⁺	2.05 a	1.69 a	0.3893	2.87 a	1.89 b	0.0487 *	2.46 a	1.79 b	0.0226*
N-Mineral	17.0 a	9.72 a	0.3893	19.57 a	10.01 b	0.0487 *	18.29 a	9.72 b	0.0226*

Valores seguidos de la misma letra no difieren estadísticamente a una Pr < 0.05.

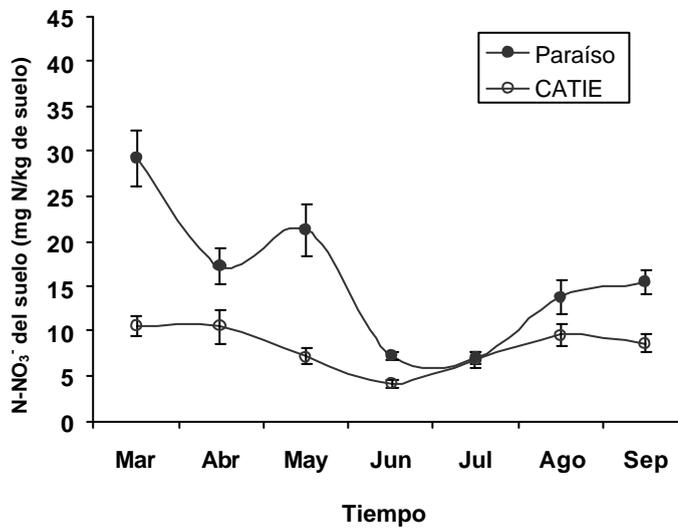
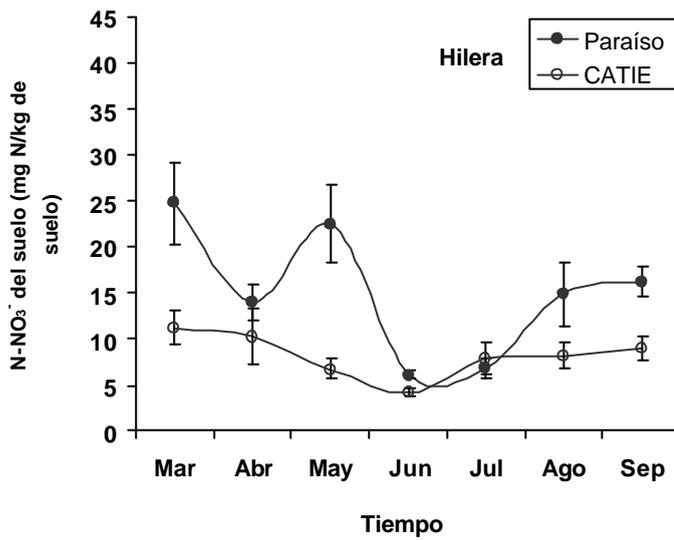
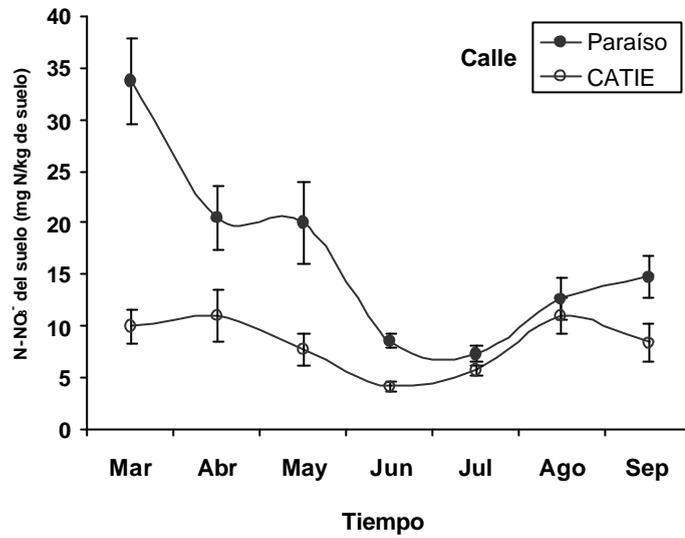
* Significativo al 5 % de probabilidad

** Significativo al 1 % de probabilidad

Anexo 14. Comparación entre sitios de la nitrificación neta en hilera, calle y entre sitio durante el periodo de abril-septiembre 2003.



Anexo 15. Comparación entre sitios del contenido de $N-NO_3^-$ del suelo en hilera, calle y entresitio durante el periodo de abril-septiembre 2003.



Anexo 16. Valores promedios de mineralización y nitrificación neta por fecha de muestreo en la capa de suelo de 0-10 cm durante el periodo de 17 de enero al 16 de septiembre del 2003 en los sitios bajo estudio.

a) Finca Cristina, Paraíso, Cartago, 2003.

Trat.	N (mg/kg)	Feb-03	Mar-03	Abr-03	May-03	Jun-03	Jul-03	Ago-03	Sep-03	Suma
Con Restitución	Nitrificación (N-NO3-)	20.26	28.20	28.55	54.74	32.27	26.89	35.60	47.81	274.32
	Amonificación (N-NH4+)	-1.82	0.75	-1.38	12.35	-1.18	-0.54	-1.38	-1.63	5.17
	Mineralización Neta	18.44	28.95	27.17	67.09	31.09	26.35	34.22	46.18	279.49
	% Nitrificación (N-NO3-)	109.87	97.41	105.08	81.59	103.80	102.05	104.03	103.53	98.15
Sin Restitución	Nitrificación (N-NO3-)	20.42	37.47	23.47	30.05	24.85	13.89	30.42	48.47	229.04
	Amonificación (N-NH4+)	-2.83	-1.52	-1.54	-1.86	-2.26	-1.52	-2.10	0.67	-12.96
	Mineralización Neta	17.59	35.95	21.93	28.19	22.59	12.37	28.32	49.14	216.08
	% Nitrificación (N-NO3-)	116.09	104.23	107.02	106.60	110.00	112.29	107.42	98.64	106.00
Total	Nitrificación (N-NO3-)	20.34	32.84	25.91	42.62	28.56	20.39	33.01	48.14	251.81
	Amonificación (N-NH4+)	-2.32	-0.39	-1.2	-1.66	-1.72	-1.12	-1.57	-0.82	-10.80
	Mineralización Neta	18.02	32.45	24.71	47.64	26.84	19.36	31.27	47.66	247.95
	% Nitrificación (N-NO3-)	112.87	101.20	104.86	89.46	106.41	105.32	105.56	101.01	101.56

b) Estación Experimental ‘La Montaña’, CATIE, Turrialba, 2003.

Trat.	N (mg/kg)	Abr-03	May-03	Jun-03	Jul-03	Ago-03	Sep-03	Suma
Con Restitución	Nitrificación (N-NO3-)	31.32	23.43	16.37	26.27	24.94	29.53	151.86
	Amonificación (N-NH4+)	-0.49	-1.22	-2.80	-0.65	-0.19	-0.46	-5.81
	Mineralización Neta	30.83	22.20	13.57	25.62	25.06	28.8	146.08
	% Nitrificación (N-NO3-)	101.59	105.54	120.63	102.54	99.52	102.53	103.96
Sin Restitución	Nitrificación (N-NO3-)	29.54	20.38	16.21	24.76	36.34	32.7	159.93
	Amonificación (N-NH4+)	-1.86	-0.15	-0.76	-0.24	-0.65	-2.46	-6.12
	Mineralización Neta	27.69	20.23	15.45	23.57	36.22	29.57	152.73
	% Nitrificación (N-NO3-)	106.68	100.74	104.92	105.05	100.33	110.59	104.71
Total	Nitrificación (N-NO3-)	30.43	21.9	16.29	25.52	30.64	31.11	155.89
	Amonificación (N-NH4+)	-1.17	-0.68	-1.78	-0.45	-0.42	-1.46	-5.96
	Mineralización Neta	29.26	21.22	14.51	24.59	30.64	29.19	149.41
	% Nitrificación (N-NO3-)	104.00	103.20	112.27	103.78	100.00	106.58	104.34

Anexo 17. Resumen de promedios de mineralización neta en la capa de suelo de 0-10 cm durante el periodo de 17 de enero al 01 de septiembre (Paraíso) y del 30 marzo al 16 de septiembre (CATIE) en dos sitios contrastantes bajo estudio, Cartago, Costa Rica, 2003.

a) Finca Cristina, Paraíso, Cartago, 2003.

Tratamiento	Unidades de N	Nitrificación	Amonificación	Mineralización	% Nitrificación
Con Restitución	mg/kg de suelo	274.32	5.17	279.49	98.15
	kg/ha *	227.70	4.30	232.00	
Sin Restitución	mg/kg de suelo	229.04	-12.96	229.04	100.00
	kg/ha *	190.10	-10.76	190.10	
Total	mg/kg de suelo	251.68	-3.90	254.27	98.98
	kg/ha*	208.89	-3.23	211.04	

* Para la transformación a kg/ha de N se utilizó el valor de Densidad Aparente a la profundidad de 0-10 cm (0.83 g/cm³).

b) Estación Experimental 'La Montaña', CATIE, Turrialba, 2003.

Tratamiento	Unidades de N	Nitrificación	Amonificación	Mineralización	% Nitrificación
Con Restitución	mg/kg de suelo	151.86	-5.81	151.86	100.00
	kg/ha*	141.23	-5.40	141.23	
Sin Restitución	mg/kg de suelo	159.93	-6.12	159.93	100.00
	kg/ha*	148.73	-5.69	148.73	
Total	mg/kg de suelo	155.90	-5.97	155.90	100.00
	kg/ha*	144.98	-5.55	144.98	

* Para la transformación a kg/ha de N se utilizó el valor de Densidad Aparente a la profundidad de 0-10 cm (0.93 g/cm³).

c) Comparación de mineralización y nitrificación neta de dos sitios contrastantes bajo estudio.

Sitio	Unidades de N	Nitrificación	Amonificación	Mineralización	% Nitrificación
Paraíso	mg/kg de suelo	251.68	-3.90	254.27	98.98
	kg/ha*	208.89	-3.23	211.04	
CATIE	mg/kg de suelo	155.90	-5.97	155.90	100.00
	kg/ha*	144.98	-5.55	144.98	
Diferencia	mg/kg de suelo	95.78 (62%)		98.37	
	kg/ha*	63.91 (69.4%)		66.06	

* Para la transformación a kg/ha de N se utilizó el valor de Densidad Aparente de cada sitio a la profundidad de 0-10 cm (Paraíso = 0.83 g/cm³, CATIE = 0.93 g/cm³).

Anexo 18. Resultados de análisis estadístico de valores de promedios de concentración de nitratos en la solución del suelo entre tratamientos a 30, 60 y 120 cm de profundidad durante el periodo del 10 de febrero al 10 septiembre del 2003, finca Cristina, Paraíso, Cartago, 2003.

Fecha	30 cm			60 cm			120 cm		
	CR	SR	Pr>F	CR	SR	Pr>F	CR	SR	Pr>F
10/02/2003	3.59			7.65			4.44		
20/02/2003	3.05			7.45			4.23		
01/03/2003	2.79			8.58			4.28		
10/03/2003	6.30 a	5.91 a	0.9150	6.87 a	1.36 b	0.0389 *	3.81 a	3.11 a	0.6412
20/03/2003	3.34 a	3.98 a	0.8287	2.26 a	3.21 a	0.5966	2.37 a	1.34 a	0.1250
30/03/2003	1.22 a	4.92 a	0.1847	5.30 a	1.69 b	0.0500 *	3.33 a	1.48 a	0.3260
10/04/2003	10.25 a	15.44 a	0.4089	7.33 a	23.55 a	0.0880	7.35 a	11.11 a	0.6236
20/04/2003	7.40 a	8.71 a	0.7131	6.63 a	11.50 a	0.5116	4.20 a	4.39 a	0.8566
30/04/2003	5.20 a	8.04 a	0.3507	6.15 a	3.11 a	0.0654	4.02 a	3.32 a	0.6731
10/05/2003	12.15 a	6.21 a	0.1959	6.13 a	5.07 a	0.6664	3.18 a	2.12 a	0.5848
20/05/2003	7.90 a	7.15 a	0.8713	11.38 a	13.05 a	0.7884	3.93 a	7.19 a	0.2075
30/05/2003	6.48 a	3.57 a	0.4021	9.43 a	10.00 a	0.8903	5.82 a	4.84 a	0.6811
10/06/2003	5.25 a	2.06 a	0.1675	10.16 a	5.80 a	0.3981	6.08 a	4.11 a	0.2864
20/06/2003	1.62 a	0.70 a	0.3159	7.27 a	2.98 a	0.0667	4.10 a	3.05 a	0.6669
30/06/2003	1.79 a	0.35 a	0.0664	8.29 a	2.10 a	0.1648	4.79 a	3.10 a	0.3919
10/07/2003	2.85 a	0.05 a	0.1011	7.04 a	2.58 b	0.0094**	2.88 a	2.37 a	0.6913
20/07/2003	5.58 a	1.35 a	0.0851	8.99 a	2.61 b	0.0004**	5.21 a	3.25 a	0.1195
30/07/2003	5.13 a	1.24 a	0.1342	7.55 a	4.00 b	0.0310*	4.16 a	3.06 a	0.4476
10/08/2003	4.66 a	3.15 a	0.4799	8.22 a	3.18 b	0.0022**	5.02 a	3.74 a	0.3666
20/08/2003	8.52 a	2.83 a	0.1314	8.05 a	4.12 b	0.0014**	4.47 a	3.40 a	0.3886
30/08/2003	7.56 a	3.53 a	0.1730	9.13 a	3.55 b	0.0025**	4.44 a	4.60 a	0.8931
10/09/2003	6.49 a	4.34 a	0.4039	10.22 a	4.49 b	0.0337*	5.24 a	4.68 a	0.7765

CR=Con restitución de residuos, SR=Sin restitución de residuos

Valores seguidos de la misma letra no difieren estadísticamente ($Pr < 0.05$).

* Significativo al 5 % de probabilidad

** Significativo al 1 % de probabilidad

Anexo 19. Valores promedios de contenido de nitrógeno amoniacal (N-NH₄⁺), nitrógeno nítrico (N-NO₃⁻), nitrógeno mineral, porcentaje de humedad y pH en agua y KCl en el perfil de suelo del sistema de manejo orgánico de café asociado con poró en la finca Cristina, Paraíso, Cartago, 2003.

Prof. (cm)	N-NH ₄ ⁺			N-NO ₃ ⁻			N-Mineral		
	CR	SR	Pr>F	CR	SR	Pr>F	CR	SR	Pr>F
5	2.79 a	1.96 a	0.3900	7.93 a	6.96 a	0.4855	10.72 a	8.92 a	0.4033
15	1.99 a	1.69 a	0.7905	6.08 a	6.55 a	0.8718	8.06 a	8.24 a	0.9682
25	1.50 a	0.94 a	0.1547	5.50 a	2.96 b	0.0357*	7.01 a	3.89 b	0.0489*
35	1.73 a	0.83 a	0.1104	7.46 a	2.27 b	0.0176*	9.19 a	3.10 b	0.0090**
50	1.20 a	1.02 a	0.5116	34.97 a	12.23 b	0.0366*	36.17 a	13.24 b	0.0347*
70	0.94 a	0.58 b	0.0448*	64.15 a	33.34 a	0.1427	65.08 a	33.92 a	0.1389
Prom.	1.69 a	1.17 a	0.1306	21.01 a	10.72 a	0.0822	22.71 a	11.89 a	0.0766

Prof. (cm)	Humedad			pH H ₂ O			pH KCl		
	CR	SR	Pr>F	CR	SR	Pr>F	CR	SR	Pr>F
5	59.32 a	56.20 a	0.0777	6.02 a	5.99 a	0.9088	5.03 a	4.96 a	0.7696
15	55.09 a	54.32 a	0.6248	5.22 a	5.39 a	0.3605	4.22 a	4.35 a	0.3889
25	54.14 a	53.77 a	0.8994	4.86 a	4.90 a	0.5025	3.90 a	3.95 a	0.2833
35	55.6 a	53.86 a	0.5384	4.95 a	4.95 a	0.9626	3.94 a	3.98 a	0.5588
50	57.65 a	55.88 a	0.4174	5.00 a	4.92 a	0.4725	4.16 a	3.97 b	0.0197*
70	61.55 a	59.31 a	0.2432	5.05 a	4.93 a	0.1590	4.39 a	4.04 b	0.0027**
Prom.	57.22 a	55.56 a	0.3605	5.18 a	5.18 a	1.0000	4.27 a	4.21 a	0.3129

Los valores seguidos con la misma letra no son diferentes estadísticamente (P < 0.05).

CR =Con restitución de residuos; SR =Sin restitución de residuos

Perdida de nitratos del suelo por lixiviación (kg N-NO₃⁻ ha⁻¹ año⁻¹) durante el 2003

Prof. (cm)	Tratamiento	
	Con restitución	Sin restitución
5	8.9	7.4
15	7.5	7.7
25	7.2	4.0
35	9.4	3.2
50	35.8	13.1
70	61.2	31.9
90	63.7	
110	58.9	
130	53.6	
150	52.2	
170	42.9	
190	39.7	

Anexo 20. Valores promedios de contenido de N-amoniacal (N-NH₄⁺), N-nítrico (N-NO₃⁻), N-mineral, humedad (%) y pH en agua y KCl en el perfil de suelo de dos sistemas de manejo de café, orgánico y convencional, Estación Experimental La Montaña, CATIE, Turrialba, 2003.

Prof. (cm)	N-NH ₄ ⁺				N-NO ₃ ⁻				N-Mineral			
	CR	SR	Conv	Pr >F	CR	SR	Conv	Pr >F	CR	SR	Conv	Pr >F
5	5.26 a	1.09 a	1.48 a	0.2441	9.89 a	6.70 a	9.83 a	0.0789	15.15 a	7.80 a	10.95 a	0.1503
15	2.14 a	1.94 a	0.66 a	0.1248	6.62 b	5.24 b	11.98 a	0.0002**	8.76 b	5.72 c	12.64 a	0.0018**
25	1.61 a	1.87 a	0.69 a	0.2344	5.21 b	3.03 b	15.71 a	0.0001**	6.82 b	3.97 b	16.40 a	0.0001**
35	1.36 a	0.31 a	0.93 a	0.3588	3.45 b	3.37 b	15.6 a	0.0001**	4.81 b	3.47 b	16.30 a	0.0002**
Prom	2.59 a	1.31 a	0.94 a	0.1581	6.29 b	4.59 b	13.28 a	0.0001**	8.88 b	5.24 b	14.07 a	0.0023**
50	1.56 a		0.68 a	0.1754	2.18 b		16.85 a	0.0120*	3.73 b		17.36 a	0.0143*
70	1.15 a		0.82 a	0.5465	2.01 b		14.28 a	0.0055**	2.65 b		14.69 a	0.0021**

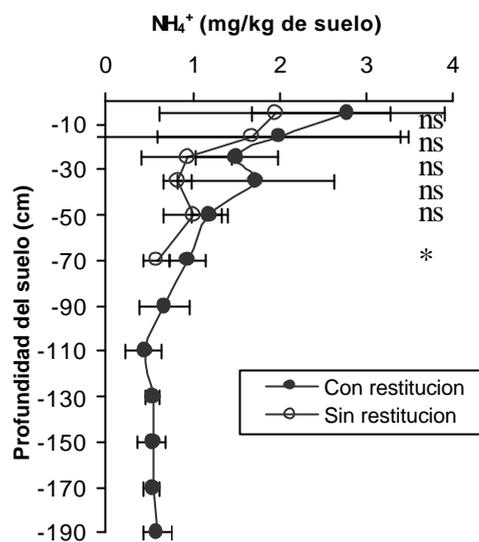
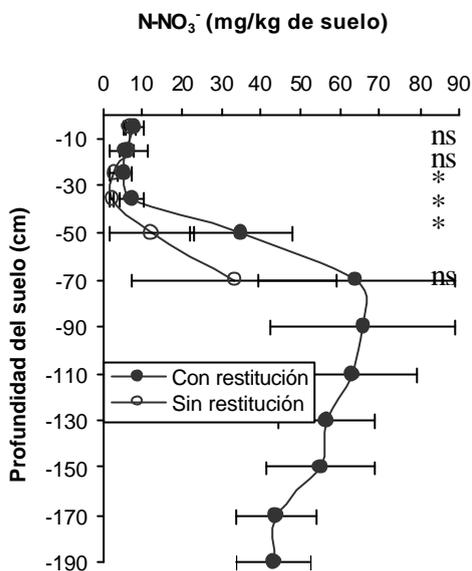
Prof. (cm)	Humedad				pH H ₂ O				pH KCl			
	CR	SR	Conv	Pr >F	CR	SR	Conv	Pr >F	CR	SR	Conv	Pr >F
5	50.52 a	50.91 a	43.92 b	0.0350*	4.67 b	4.61 b	4.89 a	0.0082**	3.75 b	3.70 b	4.04 a	0.0002**
15	48.32 a	48.65 a	43.67 a	0.1699	4.63 b	4.71 b	4.87 a	0.0122*	3.75 b	3.75 b	4.06 a	0.0003**
25	45.49 a	43.85 a	42.85 a	0.7884	4.72 a	4.98 a	4.92 a	0.1394	3.72 b	3.79 b	4.16 a	0.0011**
35	42.17 a	41.66 a	43.27 a	0.9564	4.99 a	5.31 a	5.12 a	0.3799	3.7 b	3.88 b	4.43 a	0.0019**
Prom	46.62 a	46.27 a	43.43 a	0.5931	4.75 a	4.90 a	4.96 a	0.1369	3.73 b	3.78 b	4.18 a	0.0019**
50	47.30 a		49.89 a	0.6750	5.30 a		5.40 a	0.5964	3.85 b		4.76 a	0.0047**
70	43.59 a		48.38 a	0.1863	5.81 a		5.43 a	0.1706	4.18 b		4.70 a	0.0610

Los valores seguidos con la misma letra no son diferentes (P < 0.05).

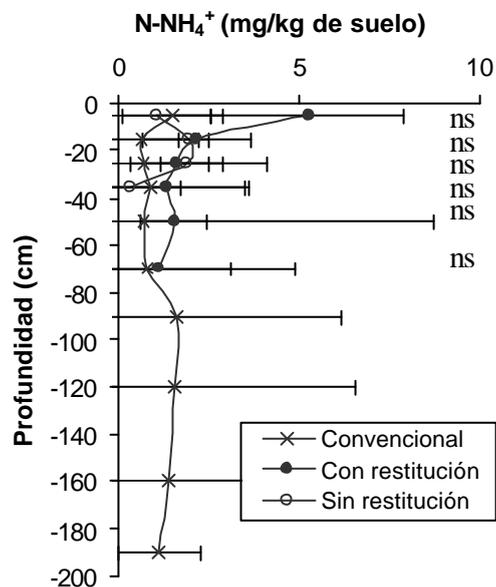
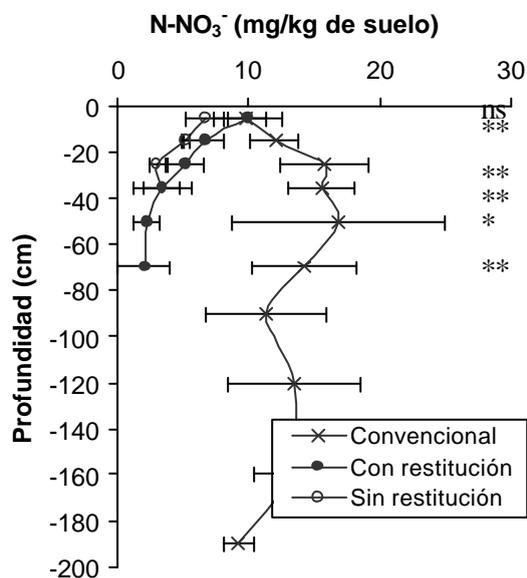
CR =Con restitución de residuos; SR =Sin restitución de residuos

Anexo 21. N-NO₃⁻ y N-NH₄⁺ en el perfil del suelo en Paraíso y CATIE. Las barras horizontales representa el intervalo de confianza al 5% de probabilidad.

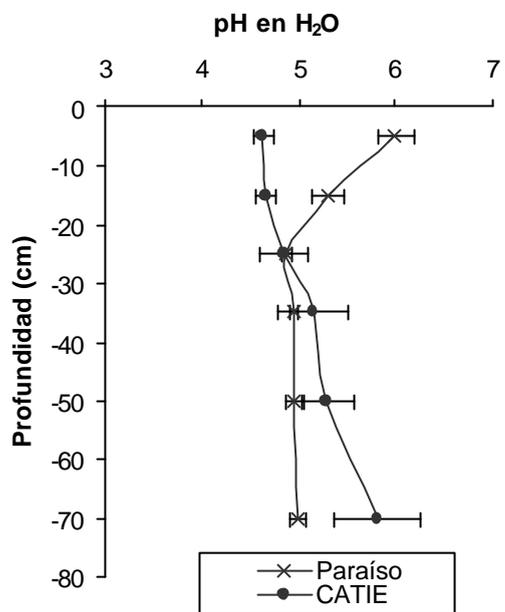
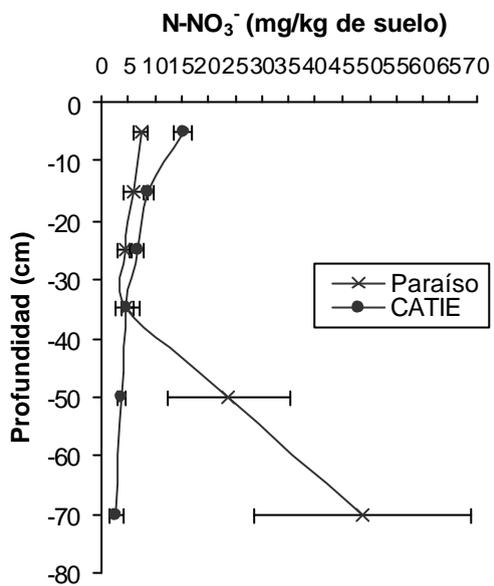
a) Paraíso:



b) CATIE:



Anexo 22. Comparación de la acumulación de $N-NO_3^-$ y pH del suelo en dos sitios con sistema de manejo orgánico de café asociado con poró. Las barras horizontales representa el intervalo de confianza al 5% de probabilidad. Paraíso, Cartago, 2003.



Anexo 23. Densidad aparente (g/cm³) en el perfil del suelo a diferentes profundidades en los sitios de estudio, Cartago, 2003.

a) Finca Cristina, Paraíso, Cartago.

Profundidad (cm)	Densidad aparente (g/cm³)
5	0.83
15	0.93
25	1.02
35	1.02
50	0.99
70	0.94
90	0.96
110	0.93
130	0.94
150	0.94
170	0.97
190	0.91

b) Campo Experimental 'La Montaña', CATIE, Turrialba, 2003.

Profundidad (cm)	Manejo Orgánico	Manejo Convencional
5	0.93	1.02
15	0.97	1.11
25	1.21	1.13
35	1.31	1.09
50	1.20	1.10
70	1.19	1.06
90		1.14
120		1.07
160		1.08
190		1.10

Anexo 24. Análisis estadísticos entre sitios del número de nódulos y biomasa a 3 distancias del árbol de poró, Cartago, 2003.

a). Numero de nódulos por sitio

Sitio	Número de nódulos			Biomasa (g/L)
	Activos	Muertos	Total	
CATIE	5.34 a	1.32 a	6.67 a	0.46 a
Paraíso	4.33 a	1.16 a	5.48 a	0.29 a
Pr>F	0.372	0.6842	0.3457	0.0821

b). Total de nódulos

Sitio	Distancia		
	0.5 m	1.0 m	1.5 m
CATIE	6.36 a	7.05 a	6.59 a
Paraíso	6.14 a	5.99 a	3.66 a
Pr>F	0.9154	0.6719	0.1844

c). Nódulos activos

Sitio	Distancia		
	0.5 m	1.0 m	1.5 m
CATIE	5.45 a	5.71 a	4.88 a
Paraíso	5.13 a	3.76 a	3.30 a
Pr>F	0.8626	0.2614	0.3931

d). Nódulos muertos

Sitio	Distancia		
	0.5 m	1.0 m	1.5 m
CATIE	0.91 a	1.33 a	1.71 a
Paraíso	1.02 a	2.23 a	0.36 b
Pr>F	0.8234	0.4156	0.0399 *

e). Biomasa (g/L)

Sitio	Distancia		
	0.5 m	1.0 m	1.5 m
CATIE	0.51 a	0.39 a	0.48 a
Paraíso	0.35 a	0.33 a	0.13 b
Pr>F	0.3636	0.7500	0.0289 *

Anexo 25. Análisis estadísticos entre sitios del $d^{15}N$ en las especies y tres tipos de poda del poró, Cartago, 2003.

a) Porcentaje de de N derivado de la atmósfera en dos sitios (% Ndfa) (Paraíso y CATIE)

Poda	*Paraíso	Paraíso- CR Fix 0	Paraíso- CR Fix -2	Paraíso- SR Fix 0	Paraíso- SR Fix -2	CATIE- CR Fix 0	CATIE- CR Fix -2	CATIE- SR Fix 0	CATIE- SR Fix -2
Poda parcial	0	37	28	12	9	61	43	70	50
Poda total	0	34	26	26	16	62	44	70	50
Sin poda	0	40	30			76	54		

* Fecha de muestra Octubre 2002, el resto fue muestreado en Agosto 2003.

b) Porcentaje de N^{15} en los sitios bajo estudio en dos fechas de muestreo octubre 2002 y agosto 2003, Cartago, Costa Rica, 2003.

☞ Comparación tipos de poda en finca Cristina, Paraíso, Cartago, 2002

Tipo Poda	dN^{15}
Poda parcial	7.32
Poda total	7.93
Sin poda	5.68

* Fecha de muestra Agosto 2002,

☞ Comparación entre especies en finca Cristina, Paraíso, Cartago, 2002

Especie	dN^{15}
Poró	6.98
Café	4.59
Eucalipto	2.92

* Fecha de muestra Octubre 2002,

☞ Comparación entre especies dN^{15} en cada sitio, Cartago, 2003 (Fecha muestra Agosto 2003).

Sitio	Poró	Café	Eucalipto	Pr>F
CATIE	1.54 b	4.98 a	4.97 a	0.0001 **
Paraíso	4.16 b	5.88 a	3.11 c	0.0001 **

☞ Comparación entre sitio dN^{15} para cada especie, Cartago, 2003 (Fecha muestra Agosto 2003).

Sitio	Poró	Café	Eucalipto
CATIE	1.54 b	4.98 b	4.97 a
Paraíso	4.16 a	5.88 a	3.11 b
Pr>F	0.0001 **	0.0331 *	0.0122 *

☞ Comparación dN^{15} entre poda para cada sitio, Cartago, 2003 (Fecha muestra Agosto 2003).

Tipo Poda	CATIE	Paraíso
Poda parcial	1.70 a	4.38 a
Poda total	1.71 a	4.11 ab
Sin poda	1.14 a	3.83 b
Pr>F	0.9509	0.0365 *

☞ Comparación dN^{15} entre tratamientos para cada sitio, Cartago, 2003 (Muestra Agosto 2003).

Sitio	Con restitución	Sin restitución	Pr>F
CATIE	1.54 a	1.54 a	0.2921
Paraíso	4.04 a	4.33 a	0.3408

Anexo 26. Precipitación diaria (mm) durante el periodo de enero a octubre del 2003, Estación Experimental 'La Montaña', CATIE, Turrialba, 2003.

Día	Meses									
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Oct.
1	0.0	0.0	1.3	187.7	0.0	21.0	1.6	15.9	0.3	0.0
2	0.0	0.0	0.0	81.9	0.0	2.1	0.0	0.6	0.0	9.2
3	2.2	0.0	0.0	0.1	0.0	7.9	3.2	0.0	42.4	5.7
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.9	21.3	10.3	4.4	0.4
5	0.9	0.0	0.0	0.0	13.5	0.0	10.7	0.8	12.1	0.7
6	14.0	0.0	0.0	0.0	12.1	6.0	1.1	4.1	53.5	10.5
7	56.4	0.0	0.3	0.0	5.8	18.5	1.0	1.0	10.3	17.7
8	5.5	10.6	8.1	4.2	44.9	54.0	2.2	0.6	0.0	3.7
9	15.4	0.0	4.3	8.0	2.3	0.2	1.9	11.2	2.3	4.8
10	1.9	2.5	1.0	13.2	6.3	2.0	0.8	1.2	0.1	0.0
11	1.8	15.7	1.0	0.0	35.5	20.3	0.4	0.9	6.3	0.0
12	0.1	11.6	0.0	2.6	110.1	68.2	2.4	1.5	0.8	0.0
13	0.0	9.9	0.0	0.0	25.2	11.7	12.1	9.4	15.4	9.3
14	8.7	4.3	1.3	0.2	19.3	3.1	10.1	8.3	23.0	9.3
15	2.7	0.5	1.0	0.0	5.7	18.3	4.2	3.8	0.1	24.6
16	0.0	1.5	0.7	0.0	46.5	0.7	5.6	10.2	3.6	3.6
17	0.0	8.8	0.0	0.0	25.0	4.4	5.4	8.1	23.9	0.0
18	0.0	0.9	0.0	0.2	24.1	49.4	4.9	0.0	10.5	15.8
19	1.4	1.2	0.0	0.6	3.1	0.0	25.8	4.8	3.6	52.6
20	2.4	1.4	0.0	0.0	0.6	8.0	21.3	1.3	15.4	0.6
21	0.0	0.0	5.6	0.0	1.3	0.2	13.4	32.2	31.0	11.6
22	0.0	0.0	0.0	1.5	0.2	3.3	11.9	0.7	7.5	2.9
23	0.0	0.0	0.7	2.5	1.8	18.6	0.4	35.0	11.6	0.4
24	7.0	0.0	0.0	0.0	20.4	16.1	0.8	2.0	26.9	24.6
25	58.0	0.0	0.2	0.0	2.8	0.6	0.0	2.6	0.4	7.8
26	34.2	1.2	0.0	0.0	17.7	0.0	0.0	0.6	1.6	4.2
27	19.2	0.0	2.6	0.0	105.8	0.0	6.8	0.0	0.0	24.8
28	11.6	0.0	0.0	0.0	3.4	11.1	0.0	0.8	0.0	13.7
29	0.8		0.0	0.3	9.0	1.4	2.3	0.3	0.0	0.0
30	0.0		5.9	10.5	1.2	10.8	8.0	0.1	0.0	0.0
31	0.0		6.3		15.5		25.4	13.5		0.0
Total	244.2	70.1	40.3	313.5	559.1	386.8	205	181.8	307	258.5