

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

PROGRAMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO Y CAPACITACION

DESCOMPOSICION DE HOJARASCA Y MINERALIZACION DEL  
NITROGENO DE LA MATERIA ORGANICA DEL SUELO  
BAJO CUATRO SISTEMAS AGROFORESTALES,  
EN TURRIALBA, COSTA RICA.

Tesis sometida a la consideración del Comité Técnico Académico del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza para optar al grado de

Magister Scientiae

por

OSMAR VILAS BOAS

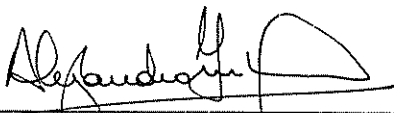
Turrialba, Costa Rica

1990

Esta tesis ha sido aceptada, en su presente forma, por la Coordinación del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales Renovables del CATIE, y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar el grado de:

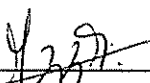
MAGISTER SCIENTIAE

COMITE ASESOR:



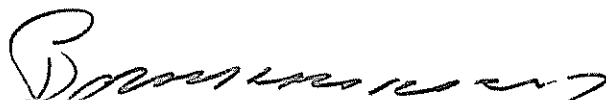
---

Alejandro C. Imbach, M.Sc.  
Profesor Consejero



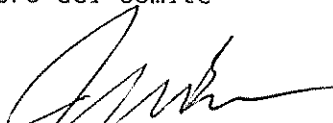
---

Maria Julia Mazzarino, Dr.  
Miembro del Comité



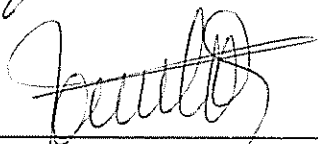
---

Arnim Bonnemann, Dr.  
Miembro del Comité



---

John Beer, M.Sc.  
Miembro del Comité



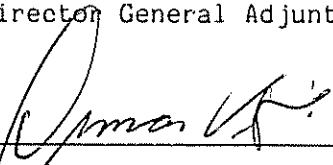
---

Ramón Lastra Rodríguez, Ph.D.  
Coordinador, Programa de Estudios de Posgrado



---

Dr. José Luis Parisi  
Subdirector General Adjunto de Enseñanza



---

Osmar Vilas Boas  
Candidato

## DEDICATORIA

A mi madre Zélia y a la  
memoria de mi padre Joaquim,  
quienes me dieron la vida.

A mi esposa Aurea, con quien  
comparto la vida.

## A G R A D E C I M I E N T O S

Al M.Sc. Alejandro C. Imbach, Profesor Consejero, por su amistad y apreciable apoyo en la ejecución de este trabajo.

A la Dra. Maria Julia Mazzarino, miembro del Comité Asesor, por su gran amistad y valiosas enseñanzas, que fueron decisivas en el presente estudio.

Al M.Sc. John Beer, miembro del Comité Asesor, por la amistad brindada y sus conocimientos transmitidos.

Al Dr. Arnin Bonnemann, miembro del Comité Asesor, por brindarme su amistad y por disposición de ayudarme siempre que fue necesario.

Al Instituto Florestal, Sao Paulo, Brasil, por permitirme viajar a realizar los estudios de posgrado.

Al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), por brindarme el estudio.

Al Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por custearme los estudios de maestría.

Al Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ por el apoyo material y financiero que hizo posible la realización de este trabajo. Así como, al personal en general, y en particular a Jorge y a Jesús, por la ardua labor en el campo y en el laboratorio, y a Lilliam y Rosaura, por su ayuda en la presentación final del documento de tesis.

Al personal de la Estação Experimental de Assis, Sao Paulo, Brasil, en general, y en especial al compañero y amigo Marco Garrido, por su estímulo y la enseñanza de la silvicultura.

A los "chicos" y "chicas" del Laboratorio de Suelos, con cariño, por la amistad y por la ayuda en los análisis químicos, también, al Dr. Roberto Díaz-Romeu, por permitirme realizar esos análisis.

Al personal del Laboratorio de Nutrición Animal del Area de Ganadería Tropical del CATIE, por el apoyo en los análisis respectivos.

A todos y cada uno del Centro de Cómputo por auxiliarme cuando fue necesario.

Al personal de la Biblioteca Comemorativa Orton del IICA, por su disposición y apoyo.

A Xinia Robles por la valiosa amistad y ayuda en la revisión del documento final de la tesis.

A Rocío Jiménez por su sincera y gran amistad y su inestimable labor en el arte gráfico.

A Pierre Berner, por los momentos especiales que juntos pasamos, su franca amistad y por haber sido participe de mi matrimonio.

A Gilles Brunschwig, persona de un gran corazón, que me brindó una valiosa e inolvidable amistad.

A David, Catherine, Silvana, Sandro, Roy, Leslie, Jean Jacques, Sabine, Florencio, Larry, inolvidables personas, quienes me aceptaron como amigo.

A mis hermanos y toda mi familia, con especial cariño.

A los amigos del Brasil, por la amistad y el cariño.

A los paisanos, Herta, Ricardo, Elías, María Trivelato, María Kass, André, Esther y los aficionados, Xenia, María Eugenia, Marcos, Mauro, Marilyn y Donald Kass, por la amistad, apoyo y por haber compartido grandes recuerdos del Brasil.

A los compañeros y amigos de la Promoción 88-90, por compartir esos dos largos años y en particular a Gilbert por haberme brindado su amistad y aceptarme como ahijado de matrimonio.

## B I O G R A F I A

El autor nació en la ciudad de Avencas, Sao Paulo, Brasil, el 22 de diciembre de 1958. Concluyó sus estudios primarios y secundarios, en la ciudad de Salmourao, Sao Paulo, Brasil, en 1976. Realizó sus estudios superiores en la Escola Superior de Agronomia de Paraguaçu Paulista (ESAPP), Paraguaçu Paulista, Sao Paulo, Brasil, donde obtuvo el título de Ingeniero Agrónomo en 1982.

Entre 1983 y diciembre de 1984, laboró como extencionista agrícola en dos empresas agrícolas en la ciudad de Jardinópolis y Assis, ambas en el estado de Sao Paulo, Brasil.

En diciembre de 1984 ingresó en el Instituto Florestal, con el cargo de Ingeniero Agrónomo I, desempeñando actividades de investigación en la Estação Experimental de Assis, en la ciudad de Assis, Sao Paulo, Brasil, donde labora actualmente.

En setiembre de 1988, inició sus estudios de posgrado en el Programa de Producción y Desarrollo Agropecuario Sostenido del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), obteniendo el grado de Magister Scientiae con énfasis en Agroforestería, en 1990.

## INDICE DE CONTENIDO

	Página
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
BIOGRAFIA	vi
INDICE DE CONTENIDO	vii
RESUMEN	Xii
SUMMARY	xiv
RESUMO	xvi
INDICE DE CUADROS	xviii
INDICE DE FIGURAS	xxiv
1 INTRODUCCION	1
2 REVISION BIBLIOGRAFICA	4
2.1 Los sistemas agroforestales	4
2.2 El ciclaje de nutrientes	6
2.2.1 El ciclo de nutrientes en los ecosistemas	6
2.2.2 El ciclo de nutrientes en sistemas agroforestales	9
2.3 Descomposición de la materia orgánica	19
2.3.1 Factores internos o intrínsecos que influyen sobre la descomposición	21
2.3.2 Influencia de los factores externos sobre la velocidad de descomposición	25
2.3.2.1 Temperatura	25
2.3.2.2 Humedad y aereación	27
2.3.2.3 Factores edáficos	28
2.3.3 Métodos para evaluar la tasa de descomposición	31
2.4 Mineralización del nitrógeno de la materia orgánica del suelo	33

2.4.1	Formas de nitrógeno en el suelo y factores que afectan la mineralización	33
2.4.2	Métodos para evaluar la tasa de mineralización del nitrógeno	35
<b>3</b>	<b>MATERIALES Y METODOS</b>	<b>38</b>
3.1	Area de Estudio	38
3.1.1	Localización del Experimento	38
3.1.2	Características climáticas	38
3.1.3	Características edáficas	41
3.2	Descripción del Experimento	42
3.2.1	Tratamientos	42
3.2.2	Diseño Experimental	42
3.2.3	Manejo agronómico de las parcelas experimentales	43
3.3	Método para el estudio de la descomposición de la hojarasca	47
3.3.1	Preparación de las bolsas de descomposición	47
3.3.2	Llenado de las bolsas de descomposición	47
3.3.3	Distribución de las bolsas en el campo	49
3.3.4	Recolección de las bolsas y determinación del peso seco	50
3.3.5	Análisis químico	51
3.4	Método para medir la mineralización del nitrógeno de la materia orgánica del suelo	53
3.4.1	Ubicación de los tubos en el campo	53
3.4.2	Análisis químico	54
3.5	Análisis estadístico	55



3.5.1	Variables consideradas en el análisis de la descomposición de hojarasca	55
3.5.1.1	Variables de respuesta	55
3.5.1.2	Variables de efectos	56
3.5.1.3	Covariables	56
3.5.1.4	Modelo estadístico	57
3.5.2	Variables consideradas en el análisis de la mineralización del nitrógeno de la materia orgánica del suelo	57
3.5.2.1	Variables de respuesta	57
3.5.2.2	Variables de efectos	58
3.5.2.3	Covariables	58
3.5.2.4	Modelo estadístico	59
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>60</b>
4.1	Descomposición de la hojarasca en la primera época de colecta de bolsas, por especie	60
4.1.1	Composición inicial de la hojarasca	60
4.1.2	Descomposición de la hojarasca	61
4.1.2.1	Pérdida de peso	63
4.1.2.2	Liberación de nitrógeno	66
4.1.2.3	Liberación de fósforo	67
4.1.2.4	Liberación de potasio	69
4.1.2.5	Liberación de calcio	70
4.1.2.6	Liberación de magnesio	73
4.1.3	Cambio en la estructura de la hojarasca	74
4.1.3.1	Desaparición de fibra detergente neutro (pared celular)	74

4.2	Descomposición de la hojarasca en la primera época de colecta de bolsas, por sistema	75
4.2.1	Composición inicial de la hojarasca	77
4.2.2	Descomposición de la hojarasca	78
4.2.2.1	Pérdida de peso seco	79
4.2.2.2	Liberación de Nutrientes	81
4.2.2.2.1	Liberación de nitrógeno	81
4.2.2.2.2	Liberación de fósforo	83
4.2.2.2.3	Liberación de potasio	85
4.2.2.2.4	Liberación de calcio	87
4.2.2.2.5	Liberación de magnesio	89
4.2.3	Cambios en la estructura de la hojarasca	91
4.2.3.1	Desaparición de fibra detergente neutro (pared celular)	91
4.3	Descomposición de la hojarasca en la segunda época de colecta de bolsas por sistema	93
4.3.1	Composición inicial de la hojarasca	93
4.3.2	Descomposición de la hojarasca	94
4.3.2.1	Pérdida de peso seco	94
4.3.2.2	Liberación de nitrógeno	95
4.3.2.3	Liberación de fósforo	97
4.3.2.4	Liberación de potasio	98
4.3.2.5	Liberación de calcio	100
4.3.2.6	Liberación de magnesio	101
4.4	Descomposición de la hojarasca en las dos épocas de colecta de bolsas, por sistema	103

4.4.1	Pérdidas de peso seco	103
4.4.2	Liberación de nitrógeno	103
4.4.3	Liberación de fósforo	105
4.4.4	Liberación de potasio	106
4.4.5	Liberación de calcio	106
4.4.6	Liberación de magnesio	107
4.5	Mineralización del nitrógeno de la materia orgánica del suelo	108
4.5.1	Humedad del suelo	108
4.5.2	Nitrógeno inorgánico inicial	110
4.5.3	Nitrógeno inorgánico mineralizado	112
5	DISCUSION	116
5.1	Descomposición de la hojarasca	116
5.1.1	Patrón de descomposición	116
5.1.2	Tasa de descomposición	117
5.1.3	Factores que influyeron en el proceso de descomposición	120
5.1.4	Patrón de liberación de nutrientes	122
5.1.4.1	Nitrógeno	122
5.1.4.2	Fósforo	123
5.1.4.3	Potasio	124
5.1.4.4	Calcio	125
5.1.4.5	Magnesio	126
5.2	Mineralización del nitrógeno de la materia orgánica del suelo	127
6	CONCLUSIONES	130
7	BIBLIOGRAFIA	132
	ANEXO DE CUADROS	145

VILAS BOAS, O. 1990. Descomposición de la hojarasca y mineralización del nitrógeno de la materia orgánica del suelo bajo cuatro sistemas agroforestales, en Turrialba, Costa Rica.

Palabras clave: Agroforestería, sistemas, descomposición de hojarasca, liberación de nutrientes, mineralización de materia orgánica, Coffea arabica, Theobroma cacao, Erythrina poeppigiana, Cordia alliodora.

## R E S U M E N

Se estudió, durante el periodo de octubre de 1989 a junio de 1990, la tasa de descomposición, la liberación de nutrientes (N, P, K, Ca y Mg) y el cambio en la pared celular de la hojarasca natural, además de la mineralización del nitrógeno de la materia orgánica del suelo, en el experimento central "La Montaña", Turrialba, Costa Rica. El estudio comprendió las parcelas agroforestales con cultivos perennes: café (Coffea arabica) asociado con árbol leguminosa de sombra, poró (Erythrina poeppigiana); café con árbol maderable de sombra laurel (Cordia alliodora); cacao (Theobroma cacao) con poró y cacao con laurel, en un diseño de bloques completos al azar con parcelas divididas ("split plot", café o cacao).

Para el estudio de la descomposición de la hojarasca se utilizó el método de bolsas de descomposición de 60 x 60 cm, la malla superior con aperturas de 64 mm<sup>2</sup> y la malla inferior de 1 mm<sup>2</sup>, donde se colocó hojarasca recién caída de cada una de las especies representantes del sistema, proporcional a la que se encuentra naturalmente en el campo de acuerdo con estudios anteriores. El tiempo durante el cual se realizó el experimento fue de ocho meses para la primera época (época húmeda) y de tres meses para la segunda época (época seca), con periodos de colectas que variaban en el primer mes cada 10 días, en el segundo mes cada 15 días, del tercero al sexto mes cada 30 días y a partir del séptimo mes cada 60 días.

Para el estudio de la mineralización del nitrógeno de la materia orgánica del suelo se utilizó el método de incubación "in situ" con tubos de plástico de 75 mm (3") de diámetro por 25 cm de largo. Las observaciones se efectuaron en cuatro periodos distintos: nov-dic/89; ene-feb; mar-abr y may-jun/90.

La hojarasca del sistema cacao/laurel presentó una descomposición lenta: a los 240 días de la primera época la

pérdida fue de apenas 32 por ciento del peso inicial, a los 90 días de la segunda época la pérdida fue de solamente 14 por ciento. La hojarasca de los sistemas cacao/poró, café/laurel y café/poró presentó pérdidas más rápidas: a los 240 días de la primera época fue de 47, 49 y 58 por ciento, respectivamente, y a los 90 días de la segunda época fue de 25, 37 y 42 por ciento, respectivamente. Los sistemas conservaron la misma tendencia de descomposición en las dos épocas. Aparentemente, los factores que contribuyeron más claramente a estas diferencias fueron las características físico-químicas de la hojarasca. En la primera época, fue la concentración inicial de pared celular, la tasa de descomposición fue inversamente proporcional a este valor. En la segunda época, probablemente el factor que más contribuyó fue la concentración inicial del nitrógeno, la tasa de descomposición fue directamente proporcional a este valor. En esta época no se midió la concentración de pared celular.

En la primera época, el patrón de liberación de nitrógeno es similar y el de fósforo es mayor a la pérdida de peso seco. En la segunda época, el nitrógeno y el fósforo se liberaron más lentamente que la pérdida de peso seco. En ambas épocas, el calcio presentó patrón de liberación más lento que el peso seco, mientras que el potasio se liberó más rápidamente y el magnesio presentó un patrón similar a la pérdida de peso seco.

En la mineralización del nitrógeno de la materia orgánica del suelo, se observó que al cabo de 30 días todo el amonio inicial existente en los sistemas es transformado en nitratos. Se observó una relación inversa entre la humedad del suelo y la mineralización. Sin embargo, el efecto de la humedad fue menos marcado que el del tipo de vegetación, ya que los sistemas con poró presentaron la mayor tasa de mineralización, a pesar de que la humedad en el suelo fue también mayor, que en los sistemas con laurel. La cantidad de nitrógeno disponible para las plantas, remanente en el suelo, fue también mayor en los sistemas con poró.

VILAS BOAS, O. 1990. Litter decomposition and mineralization of nitrogen in soil organic material in four agroforestry systems in Turrialba, Costa Rica.

Key words: Agroforestry, systems, litter decomposition, nutrient liberation, mineralization of organic material, Coffea arabica, Theobroma cacao, Erythrina poeppigiana, Cordia alliodora.

## S U M M A R Y

A study was made of decomposition rates, liberation of nutrients (N, P, K, Ca, Mg) and changes in cell wall structure, in natural litter in the Central Experiment ("La Montaña"), Turrialba, Costa Rica, from October 1989 to June 1990. The mineralization of N in soil organic material was studied at the same time. The following systems were involved: coffee (Coffea arabica) with the leguminous shade tree poro (Erythrina poeppigiana); coffee with the timber shade tree laurel (Cordia alliodora); cacao (Theobroma cacao) with poro; cacao with laurel. The experiment has split-plots (coffee or cacao) within random complete blocks (two repetitions) of the shade tree species.

Litter decomposition was studied with decomposition bags (60 x 60 cm), with mesh sizes of 64 and 1 mm<sup>2</sup> for the upper and lower sides, respectively. Recently fallen litter was collected and bag contents prepared according to the proportion as determined by earlier studies. Decomposition was studied for periods of 8 months and 3 months, with collection intervals of 10, 15, 30 and 60 days in the first, second, third to six, and seventh to eighth months, respectively.

Mineralization of nitrogen in soil organic material was studied by "in situ" incubation of samples within polyethylene tubes (diameter 75 mm, length 25 cm). Observations were made in four different periods: Nov-Dec/1989; Jan-Feb; Mar-Apr and May-June/1990.

Dry weight losses of the litter of the cacao/laurel system were only 32 % after 240 days during the first study, and 14 % after 90 days during the second study. Litter from the cacao/poro, cafe/laurel and cafe/poro systems lost weight more rapidly: 47, 49 and 58 %, respectively after 240 days during the first study; 25, 37 and 42 %, respectively after 90 days during the second study. The same decomposition trends occurred during both periods. Apparently, the factors which most clearly contributed to

these differences were the physical and chemical characteristics of the litter. During the first period the initial concentration of cell wall was the independent variable with the highest correlation (negative) to decomposition rates inverse. During the second period it was the initial concentration of N (positive correlation), but cell wall concentration was not measured.

During the first period the pattern of liberation of N and P (% losses) was similar and greater than dry weight losses (%). In the second period N and P were liberated more slowly than the dry weight losses. In both periods Ca liberation was less than dry weight losses, K was liberated much more rapidly, and Mg was lost at a similar rate to dry weight.

After 30 days all of the ammonium found in soil samples had been transformed into nitrate. There was a negative correlation between soil moisture and mineralization rates, but the effect of vegetation (i.e. system) was much stronger. Soil samples from poro systems had the greatest mineralization rates even though their soil moisture was greater than in the soil under laurel systems. Available N for plants (remaining in the soil), was also greater under poro systems.

VILAS BOAS, O. 1990. Decomposição do folheto e mineralização do nitrogênio da matéria orgânica do solo em quatro sistemas agroflorestais, em Turrialba, Costa Rica.

Palavras chave: Agro-silvicultura, sistemas, decomposição do folheto, liberação de nutrientes, mineralização da matéria orgânica, Coffea arabica, Theobroma cacao, Erythrina poeppigiana, Cordia alliodora.

## R E S U M O

Estudou-se, durante o período de outubro de 1989 a junho de 1990, a taxa de decomposição, a liberação de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) e a mudança na parede celular do folheto natural, além da mineralização do nitrogênio da matéria orgânica do solo, no experimento Central "La Montaña", Turrialba, Costa Rica. O estudo abrangeu as parcelas agroflorestais com cultivos perenes: café (Coffea arabica) em associação com árvore leguminosa de sombra, poró (Erythrina poeppigiana); café com árvore madeirável de sombra, loureiro (Cordia alliodora); cacau (Theobroma cacao) com poró e cacau com loureiro, num desenho de blocos completos ao acaso com parcelas divididas ("split plot", café ou cacau).

Para o estudo da decomposição do folheto foi utilizado o método de bolsas de decomposição de 60 x 60 cm, a malha superior com aberturas de 64 mm<sup>2</sup> e a malha inferior de 1 mm<sup>2</sup>, onde se colocou folheto recém caído de cada uma das espécies representantes do sistema, proporcional ao que se encontra naturalmente no campo, de acordo com estudos anteriores. O tempo de realização do experimento foi de oito meses para a primeira época (época úmida) e de três meses para a segunda época (época seca), com períodos de coletas que variaram no primeiro mês a cada 10 dias, no segundo mês cada 15 dias, do terceiro ao sexto mês a cada 30 dias e a partir do sétimo mês cada 60 dias.

Para o estudo da mineralização do nitrogênio da matéria orgânica do solo foi utilizado o método de incubação "in situ" com tubos de plástico de 75 mm (3") de diâmetro por 25 cm de comprimento. As observações foram efetuadas em quatro períodos distintos: nov-dez/89, jan-fev, mar-abr e maio-junho/90.

O folheto do sistema cacau/loureiro apresentou uma decomposição lenta, aos 240 dias da primeira época a perda foi de apenas 32 por cento do peso inicial, aos 90 dias da



segunda época a perda foi de somente 14 por cento. Por outro lado, o folheto dos sistemas cacau/poró, café/loureiro e café/poró apresentou perdas mais rápidas: aos 240 dias da primeira época foi de 47, 49 e 58 por cento, respectivamente e aos 90 dias da segunda época foi de 25, 37 e 42 por cento, respectivamente. Os sistemas consevaram a mesma tendência de decomposição nas duas épocas. Aparentemente, os fatores que mais contribuíram para estas diferencias foram as características físico-químicas do folheto. Na primeira época, foi a concentração de parede celular, a taxa de decomposição foi inversamente proporcional a este valor. Provavelmente o fator que mais contribuiu na segunda época foi a concentração inicial do nitrogênio, a taxa de decomposição foi diretamente proporcional a este valor. Nesta época nao se mediu a concentração de parede celular.

Na primeira época o padrao liberaçao de nitrogênio e fósforo é similar e maior à perda de peso seco, respectivamente. Na segunda época, o nitrogênio e o fósforo se liberaram mais lentamente que a perda de peso seco. O calcio apresentou padrao de liberaçao mais lento que o peso seco em ambas épocas, enquanto que o potásio liberou-se mais rapidamente e o magnésio apresentou um padrao similar à perda de peso seco.

Na mineralização do nitrogênio da matéria orgânica do solo, observou-se que ao término de 30 dias todo o amônio inicial existente nos sistemas é transformado em nitratos. Foi observada uma relação inversa entre a umidade do solo e a mineralização. No entanto o efetio da umidade foi menos marcado que o do tipo de vegetação, uma vez que os sistemas com poró apresentaram a maior taxa de mineralização, apesar de que a umidade no solo foi também maior que nos sistemas com loureiro. A quantidade de nitrogênio disponível para as plantas, remanescente no solo, também foi maior nos sistemas com poró.

## INDICE DE CUADROS

En el Texto	Página
Cuadro 1. Reservas de materia orgánica, contenido de nutrientes y producción agrícola total en el sistema agroforestal café/poró en el Experimento Central "LA MONTAÑA", CATIE, Costa Rica.	14
Cuadro 2. Reservas de materia orgánica, contenido de nutrientes y producción agrícola total en el sistema agroforestal café/laurel en el Experimento Central "LA MONTAÑA", CATIE, Costa Rica.	15
Cuadro 3. Reservas de materia orgánica, contenido de nutrientes y producción agrícola total en el sistema agroforestal cacao/poró en el Experimento Central "LA MONTAÑA", CATIE, Costa Rica.	16
Cuadro 4. Reservas de materia orgánica, contenido de nutrientes y producción agrícola total en el sistema agroforestal cacao/laurel en el Experimento Central "LA MONTAÑA", CATIE, Costa Rica.	17
Cuadro 5. Datos meteorológicos del Campo Experimental "La Montaña" durante el periodo de estudio.	41
Cuadro 6. Distancias de plantación y la correspondiente densidad de árboles por hectárea en las distintas combinaciones agroforestales.	45
Cuadro 7. Epoca y tipo de prácticas realizadas en las parcelas experimentales.	45
Cuadro 8. Cantidad de minerales incorporados con la fertilización.	46
Cuadro 9. Proporciones de materia seca aportada por cada especie en los distintos sistemas agroforestales, para las dos épocas de descomposición. (Fuente Imbach, datos sin publicar).	48

Cuadro 10.	Peso seco, concentración inicial de nutrientes y de fibra detergente neutro (pared celular) por especie, primera época.	62
Cuadro 11.	Pérdida de Peso seco (porcentaje del inicial) en la hojarasca a través del proceso de descomposición durante los 60 días por cultivo, primera época.	63
Cuadro 12.	Pérdida de Peso seco (porcentaje del inicial) en la hojarasca a través del proceso de descomposición durante los 60 días por árbol, primera época.	64
Cuadro 13.	Liberación de N (porcentaje del inicial) en la hojarasca, a través del proceso de descomposición, durante los 60 días por cultivo, primera época.	66
Cuadro 14.	Liberación de N (porcentaje del inicial) en la hojarasca, a través del proceso de descomposición, durante los 60 días por árbol, primera época.	66
Cuadro 15.	Liberación de P (porcentaje del inicial) en la hojarasca, a través del proceso de descomposición, durante los 60 días por cultivo, primera época.	69
Cuadro 16.	Liberación de P (porcentaje del inicial) en la hojarasca, a través del proceso de descomposición, durante los 60 días por árbol, primera época.	69
Cuadro 17.	Liberación de K (porcentaje del inicial) en la hojarasca, a través del proceso de descomposición, durante los 60 días por cultivo, primera época.	70
Cuadro 18.	Liberación de K (porcentaje del inicial) en la hojarasca, a través del proceso de descomposición, durante los 60 días por árbol, primera época.	70
Cuadro 19.	Liberación de Ca (porcentaje del inicial) en la hojarasca, a través del proceso de descomposición, durante los 60 días por cultivo, primera época.	71
Cuadro 20.	Liberación de Ca (porcentaje del inicial) en la hojarasca, a través del proceso de descomposición, durante los 60 días por árbol, primera época.	71

Cuadro 21.	Liberación de Mg (porcentaje del inicial) en la hojarasca, a través del proceso de descomposición, durante los 60 días por cultivo, primera época.	73
Cuadro 22.	Liberación de Mg (porcentaje del inicial) en la hojarasca, a través del proceso de descomposición, durante los 60 días por árbol, primera época.	73
Cuadro 23.	Desaparición de Pared celular (porcentaje del inicial) en la hojarasca, a través del proceso de descomposición durante los 60 días, por cultivo, primera época.	74
Cuadro 24.	Desaparición de Pared Celular (porcentaje del inicial) en la hojarasca, a través del proceso de descomposición durante los 60 días, por árbol, primera época.	75
Cuadro 25.	Número de bolsas con hifas por sistema y recolección (n=6).	77
Cuadro 26.	Peso seco, concentración inicial de nutrientes y fibra detergente neutro (pared celular) por sistema, primera época.	78
Cuadro 27.	Pérdida de peso seco (porcentaje del inicial) por sistema, a través del proceso de descomposición, primera época.	79
Cuadro 28.	Liberación de N (porcentaje del inicial) por sistema, a través del proceso de descomposición, primera época.	83
Cuadro 29.	Liberación de P (porcentaje del inicial) por sistema, a través del proceso de descomposición, primera época.	85
Cuadro 30.	Liberación de K (porcentaje del inicial) por sistema, a través del proceso de descomposición, primera época.	87
Cuadro 31.	Liberación de Ca (porcentaje del inicial) por sistema, a través del proceso de descomposición, primera época.	89

Cuadro 32.	Liberación de Mg (porcentaje del inicial) por sistema, a través del proceso de descomposición, primera época.	91
Cuadro 33.	Desaparición de Pared Celular (porcentaje del inicial) a través del proceso de descomposición por sistema, primera época.	93
Cuadro 34.	Peso seco y concentración inicial de nutrientes por sistema, segunda época.	94
Cuadro 35.	Pérdida de peso seco (porcentaje del inicial) por sistema, a través del proceso de descomposición, segunda época. ---	95
Cuadro 36.	Liberación de N (porcentaje del inicial) por sistema, a través del proceso de descomposición, segunda época.	97
Cuadro 37.	Liberación de P (porcentaje del inicial) por sistema, a través del proceso de descomposición, segunda época.	98
Cuadro 38.	Liberación de K (porcentaje del inicial) por sistema, a través del proceso de descomposición, segunda época.	98
Cuadro 39.	Liberación de Ca (porcentaje del inicial) por sistema, a través del proceso de descomposición, segunda época.	100
Cuadro 40.	Liberación de Mg (porcentaje del inicial) por sistema, a través del proceso de descomposición, segunda época.	101
Cuadro 41.	Pérdida de peso seco y liberación de nutrientes (porcentaje del inicial) por sistema, a través del proceso de descomposición por época, durante los primeros 20 días.	104

Cuadro 42.	Pérdida de peso seco y liberación de nutrientes (porcentaje del inicial) por sistema, a través del proceso de descomposición por época, durante los 90 días.	105
Cuadro 43.	Promedios de Humedad del suelo (%) por sistema y promedio general por época.	110
Cuadro 44.	Promedios de N inorgánico inicial ( $\mu\text{g/g}$ ) por sistema y promedio general por época.	110
Cuadro 45.	Promedios de N inorgánico inicial ( $\mu\text{g/g}$ ) por árbol, en las distintas épocas, con la respectiva prueba de contrastes.	111
Cuadro 46.	Promedios de N inorgánico mineralizado ( $\mu\text{g/g}$ ) por sistema y promedio general por época.	112
Cuadro 47.	Promedios de N inorgánico mineralizado ( $\mu\text{g/g}$ ) por árbol, en las distintas épocas, con la respectiva prueba de contrastes.	115

Cuadro 1A. Análisis de regresión con datos de porcentaje remanente, de acuerdo al modelo exponencial para las variables dependientes: Peso Seco, N, P, K, Ca, MG, y Pared Celular, contra la variable independiente tiempo, para la hojarasca de los cuatro sistemas agroforestales estudiados.

146

## INDICE DE FIGURAS

En el texto	Página
Figura 1. Comparacion del ciclaje de nutrientes en un bosque natural; un sistema agrícola y un sistema agroforestal (fuente OTS/CATIE, 1986; adaptado de Nair, 1980).	10
Figura 2. Modelo de circulación de nutrimentos en sistemas agroforestales (Adaptado de Fassbender, 1987).	13
Figura 3. Histograma de temperatura (oC) del Campo Experimental "La Montaña".	39
Figura 4. Histograma de precipitación (mm) del Campo Experimental "La Montaña".	39
Figura 5. Histograma de evaporación (mm) del Campo Experimental "La Montaña".	40
Figura 6. Histograma de humedad relativa (%) del Campo Experimental "La Montaña".	40
Figura 7. Ubicación de las parcelas de estudio en el Experimento Central.	44
Figura 8. Pérdida de peso seco en la hojarasca, por especie independiente del sistema, primera época.	65
Figura 9. Liberación del nitrógeno en la hojarasca, por especie independiente del sistema, primera época.	68
Figura 10. Liberación de fósforo en la hojarasca, por especie independiente del sistema, primera época.	68
Figura 11. Liberación de potasio en la hojarasca, por especie independiente del sistema, primera época.	72
Figura 12. Liberación de calcio en la hojarasca, por especie independiente del sistema, primera época.	72
Figura 13. Liberación de magnesio en la hojarasca, por especie independiente del sistema, primera época.	76



Figura 14.	Desaparición de pared celular en la hojarasca, por especie independiente del sistema, primera época.	76
Figura 15.	Pérdida de peso seco en la hojarasca, por sistema, primera época.	80
Figura 16.	Liberación del nitrógeno en la hojarasca, por sistema, primera época.	82
Figura 17.	Liberación de fósforo en la hojarasca, por sistema, primera época.	84
Figura 18.	Liberación de potasio en la hojarasca, por sistema, primera época.	86
Figura 19.	Liberación de calcio en la hojarasca, por sistema, primera época.	88
Figura 20.	Liberación de magnesio en la hojarasca, por sistema, primera época.	90
Figura 21.	Desaparición de pared celular en la hojarasca, por sistema, primera época.	92
Figura 22.	Pérdida de peso seco en la hojarasca, por sistema, segunda época.	96
Figura 23.	Liberación del nitrógeno en la hojarasca, por sistema, segunda época.	96
Figura 24.	Liberación de fósforo en la hojarasca, por sistema, segunda época.	99
Figura 25.	Liberación de potasio en la hojarasca, por sistema, segunda época.	99
Figura 26.	Liberación de calcio en la hojarasca, por sistema, segunda época.	102
Figura 27.	Liberación de magnesio en la hojarasca, por sistema, segunda época.	102
Figura 28.	Concentración de $\text{NH}_4$ inicial por sistema.	109
Figura 29.	Concentración de $\text{NO}_3$ inicial por sistema.	109

Figura 30.	Concentración de $\text{NH}_4$ mineralizado por sistema.	109
Figura 31.	Concentración de $\text{NO}_3$ mineralizado por sistema.	109
Figura 32.	Humedad del suelo (a) y N inorgánico mineralizado (b).	113
Figura 33.	Concentración de nitrógeno inorgánico inicial por sistema ( $t_0$ ).	114