

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE ENSEÑANZA
ÁREA DE POSTGRADO

“ COMPARACIÓN DE LA DINÁMICA DE FÓSFORO EN CULTIVO EN CALLEJONES Y
COBERTURAS ORGÁNICAS PARA FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) EN SAN JUAN SUR,
TURRIALBA, COSTA RICA ”

Tesis sometida a la consideración del Comité Técnico de Postgrado y Capacitación del Programa de Enseñanza
en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, para
optar el grado de:

Magister Scientae

Por

Francisco Leonel López Benitez

CATIE

Turrialba, Costa Rica

1996

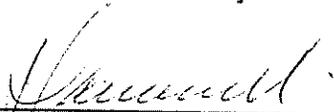
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma, por la Jefatura del Área de Postgrado en ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del CATIE y aprobada por el Comité Asesor del Estudiante como requisito parcial para optar al grado de:

Magister Scientae

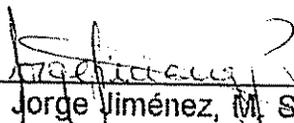
FIRMANTES:



Donald C. L. Kass, Ph. D.
Profesor Consejero



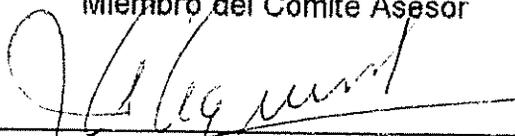
Jorge Fustino, Ph. D.
Miembro del Comité Asesor



Jorge Jiménez, M. Sc.
Miembro del Comité Asesor



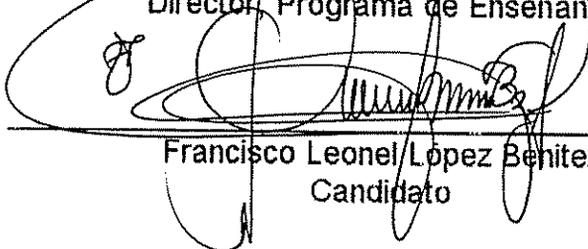
Alberto Camero, M. Sc.
Miembro del Comité Asesor



Juan A. Aguirre, Ph. D.
Jefe, Área de Postgrado



Pedro Ferreira, Ph. D.
Director, Programa de Enseñanza



Francisco Leonel/López Benítez
Candidato

DEDICATORIA

A Dios nuestro señor y a la Virgen Santísima.

Con todo mi amor para Mónica, Leonel Alejandro y Mónica Andrea, mi esposa e hijos, por su constante apoyo, amor, confianza, paciencia, motivación y alegría.

A mis queridos y respetables padres Juan Francisco y Cristina Florida, por su amor, paciencia, sabiduría y comprensión.

A mis hermanos Sergio Alejandro y Eddy Rolando por su perseverancia y apoyo.

A mis abuelos, tías, tíos, primas y primos por su cariño y unión.

A la familia del Cid, especialmente a Mercedes del Cid e hijas, por su gran apoyo, cariño, paciencia y constante preocupación.

A la memoria de Maximiliano del Cid (don Chilano) Q. E. P. D., por su recuerdo inolvidable y haber sido un hombre ejemplar y bondadoso.

AGRADECIMIENTOS

Mis sentimientos de gratitud a todas aquellas personas e instituciones que contribuyeron durante el desarrollo de mis estudios de Postgrado y del trabajo de tesis de manera especial.

Al Banco Internacional de Desarrollo -BID-, a través del Proyecto Chixoy, la adjudicación del financiamiento que hicieron realidad mis estudios de Postgrado. Asimismo, a la Dirección General de Bosques y Vida Silvestre, del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala, la oportunidad que me brindaron para mejorar mi formación académica y profesional. Y al CATIE por recibirme en su recinto forjador de nuevos conocimientos.

Al Dr. Donald L. Kass, Profesor Consejero Principal, primordialmente por su amistad, aprecio incondicional y su calidad humana, así como su constante ayuda, consejos y orientación durante mi maestría en CATIE.

Al Dr. Jorge Faustino Manco, miembro de mi Comité Asesor, principalmente por su amistad y confianza, así como su constante apoyo y excelente enseñanza, durante muchos años de mi formación profesional y realización de mi maestría.

Al M. Sc. Jorge Jiménez y M. Sc. Alberto Camero, miembros de mi Comité Asesor, por su amistad e incondicional apoyo en el desarrollo de mi maestría, principalmente en sus oportunas sugerencias y acertadas recomendaciones en la realización del presente trabajo.

Al M. Sc. Julio Fraile Merino, profesor de la UNA, por su colaboración en la clasificación de lombrices.

Al Lic. Marvin Nuñez y los señores Carlos Fernández y Carlos Castillo, personal del Laboratorio de Suelos del CATIE, por su valiosa colaboración en la fase de análisis químico.

A los Señores Adolfo Camacho, Rigoberto, Simón y Quincho, personal de campo, por su valiosa colaboración en las tareas difíciles para la aplicación de enmiendas.

Al personal de la Biblioteca Conmemorativa Orton, por su constante colaboración.

A mis amigos y compañeros de promoción 95-96, especialmente a Jeferson Vasconcelos y Yudis Heredia, por los agradables e inolvidables momentos compartidos en el laboratorio de suelos y en toda la maestría.

A los compatriotas guatemaltecos, por su amistad y apoyo incondicional.

A mis compañeros de trabajo, que me apoyaron e impulsaron a la realización de mi maestría, especialmente a Walter de la Roca.

A todas las personas que de una u otra manera me ayudaron para salir adelante en esta tarea. Es difícil mencionar todos los nombres, pero a cada uno lo recordaré por siempre.

BIOGRAFÍA

El autor nació el 25 de marzo de 1967, en la ciudad capital de Guatemala.

En 1974, realizó sus estudios primarios en la escuela Laboratorio No.1 Raymond H. Rignall y en 1980, los estudios secundarios en el Colegio Mariano y Rafael Castillo Córdova, donde adquirió una buena formación moral, allí recibió el Diploma de Bachiller en Ciencias y Letras.

En 1985, ingresó a la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en donde se graduó de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola.

En 1989, se vinculó al Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, desempeñando funciones en la Dirección General de Bosques y Vida Silvestre, como técnico de proyectos de Fauna Silvestre del Departamento de Vida Silvestre y Áreas Protegidas.

En 1991, es ascendido a Jefe de la Sección de Flora y Fauna del mismo departamento.

En 1993, inicia su capacitación profesional en un Curso Corto, en CATIE, sobre Sistemas de Información Geográfica en Cuencas Hidrográficas. En 1994, recibe su segunda capacitación en CATIE, por medio del curso corto de Manejo y Rehabilitación de Cuencas Hidrográficas.

En 1994, es ascendido a Jefe de Departamento de Vida Silvestre y Áreas Protegidas, donde desarrolló funciones de coordinación de actividades técnicas en Parques Nacionales y Humedales de mangle en Guatemala, apoyando el 1er. Seminario Nacional de Humedales.

El 4 de enero de 1995, ingresó al Programa de Estudios de Postgrado del CATIE, en Turrialba, Costa Rica, donde se graduó como *Magister Scientae* en Sistemas Agroforestales, el 4 de diciembre de 1996.

CONTENIDO

RESUMEN.....	viii
ABSTRACT	x
LISTA DE CUADROS	xii
LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE ANEXOS	xiv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
III. OBJETIVOS.....	3
IV. HIPÓTESIS.....	3
V. REVISIÓN DE LITERATURA	4
5.1 Fósforo en suelos tropicales.....	4
5.2 Contenido de fósforo en el suelo.....	5
5.2.1 Fósforo orgánico.....	6
5.2.2 Fósforo inorgánico	7
5.3 Biomasa microbiana.....	10
5.3.1 Actividad microbial en la disponibilidad de fósforo	11
5.4 Fósforo en sistemas de producción agrícola	13
5.5 Fósforo en sistemas de producción forestal.....	15
5.6 Sistema Agroforestal de Cultivo en Callejones.....	16
5.6.1 Contribución de los cultivos en callejones a la fertilidad de los suelos	18
5.7 Cobertura orgánica (Abono verde, frijol abono, etc.).....	20
5.7.1 Ventajas que presenta el cultivo de cobertura para la fertilidad del suelo	20
5.8 Rol de las enmiendas orgánicas en la fertilidad de los suelos	22
5.8.1 La importancia de aplicar estiércol en el suelo.....	23
5.9 Lombriz de tierra.....	24
5.9.1 Efecto de las lombrices de tierra sobre las características físicas del suelo	25
5.9.2 Efecto de las lombrices de tierra sobre la fertilidad del suelo.....	25
5.9.3 Factores que afectan la biomasa de lombrices de tierra	28
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
6.1 Descripción del área de Estudio.....	29
6.1.1 Clima.....	29
6.1.2 Suelos.....	29
6.2 Materiales experimentales.....	29
6.2.1 Procedimiento General.....	29
6.2.2 Componente Arbóreo del Sistema de Cultivo en Callejones	31
6.2.3 Cultivo de Cobertura.....	32
6.2.4 Cobertura Orgánica con Estiércol.....	33

6.2.5	Mulch proveniente de una área aledaña sin cultivo	34
6.2.6	Población de lombrices	35
6.2.7	Manejo del Cultivo	36
6.2.7.1	<i>Evaluación del cultivo</i>	37
6.2.7.2	<i>Cosecha final del frijol</i>	37
6.2.7	Determinación del contenido de fósforo en la masa microbiana del suelo	38
6.2.8	Diseño del Experimento	48
6.2.8.2	<i>Modelo y Análisis Estadístico</i>	48
VII.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
7.1	Incorporación de biomasa por las enmiendas orgánicas aplicadas	51
7.2	Rendimiento del frijol	52
7.3	Dinámica del fósforo	54
7.3.1	Fósforo en la masa microbiana	54
7.3.2	Fósforo en el suelo	56
7.3.3	Fósforo en el cultivo de frijol	58
7.3.4	Fósforo en las enmiendas aplicadas	60
7.3.5	Población de lombrices y su relación con el fósforo de la masa microbiana	62
7.4	Balance de nutrientes en los tratamientos	66
7.4.1	Nitrógeno	67
7.4.2	Fósforo	68
7.5.3	Potasio	69
7.5.4	Calcio	69
7.5.5	Magnesio	70
7.6	Correlaciones entre variables evaluadas	71
7.6.1	Interacción del rendimiento con los nutrientes evaluados	71
7.6.2	Interacción del fósforo microbiano con los nutrientes evaluados	72
7.6.3	Interacción del fósforo aportado con los nutrientes evaluados	73
7.6.4	Población de lombrices y su relación con otros nutrientes	74
VIII.	CONCLUSIONES	77
IX.	RECOMENDACIONES	79
X.	BIBLIOGRAFIA	81
XI.	A N E X O S	88

LÓPEZ B., F. L. 1996. Comparación de la dinámica de fósforo en cultivo en callejones y coberturas orgánicas para frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc., Turrialba, Costa Rica, CATIE. 103 p.

Palabras claves: Fósforo, enmiendas orgánicas, cultivo en callejones, frijol, mucuna, mulch, estiércol, balance de nutrimentos, biomasa microbiana, biomasa de lombrices, sistemas agroforestales, química de suelos, cultivo en laderas, conservación de suelos.

RESUMEN

La pobre fertilidad y los problemas de manejo asociados con el mantenimiento y la mejora del suelo, son los principales problemas que se presentan en el uso eficaz de suelos tropicales ácidos para la producción agrícola. El mejoramiento en la fertilidad del suelo y productividad de los cultivos a través de fertilizantes químicos es costoso. Asimismo el problema es que el fósforo es considerado como el elemento más limitante en sistemas agroforestales de suelos tropicales, ya que no se lixivia ni se volatiliza, pero es poco soluble fijándose en las arcillas del suelo. Por lo anterior, se considera necesario usar técnicas agroforestales simples, de bajo costo y sostenibles, que mejoren la disponibilidad de fósforo y reciclaje de nutrimentos (N, K, Ca y Mg), aumentando y eficientizando la actividad biológica del suelo.

El objetivo del presente trabajo fue comparar la dinámica del fósforo en el cultivo de frijol, bajo sistemas agroforestales de cultivo en callejones y aplicación de enmiendas orgánicas de origen vegetal (mucuna y mulch) y animal (estiércol bovino), así como su relación con la macrofauna (población de lombrices) y microfauna del suelo. Además fueron comparadas las relaciones existentes con el N, K, Ca y Mg.

El estudio se desarrollo entre los meses de enero y septiembre de 1996, en el CATIE, Distrito de San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica a 83°38' longitud oeste y 09°53' y a una altitud de 950 msnm. La zona de vida corresponde a un bosque muy húmedo-premontano y el suelo corresponde a un Acrudoxic Melanudand. Los tratamientos comprendieron dos sistemas de cultivo en callejones (a 4 metros y a 6 metros), tres tipos de enmiendas orgánicas (mucuna, mulch y estiércol), el testigo tradicional (cultivo sin enmiendas) y un testigo absoluto (suelo desnudo). Las parcelas se tuvieron dispuestas en un diseño de bloques completos al azar.

Las variables evaluadas en el componente arbóreo fueron: altura total, diámetros de copa (a lo largo y ancho del callejón), número de brotes, biomasa total, así como la relación hoja-tallo-flor. En la mucuna, mulch y estiércol se evaluó la materia seca. Finalmente se determinó por medio de análisis químico foliar el contenido de nutrimentos (N, P, K, Ca y Mg) que se aporta. Esto se realizó 2 veces en el estudio. Además, se determinó químicamente el contenido de fósforo en la masa microbiana del suelo, por medio del método de fumigación e incubación de suelo durante 10 días. Cada muestra fue dividida en 3 porciones; a la primera se le fumiga con cloroformo, a la segunda y tercera solo se incuban aeróbicamente. Las 3 fracciones se extraen con NaHCO₃, pero a la tercera se le aplica fósforo en forma de KH₂PO₄, equivalente a 25 µg de P/g. de suelo. También se determinó el contenido de fósforo, N, K, Ca y Mg que extrae el frijol en la cosecha y finalmente se determinó la población de lombrices y la biomasa de las mismas en cada uno de los tratamientos.

La biomasa aplicada como materia seca fue 1691 y 1685 kg./ha para la mucuna, el mulch de *Erythrina*. Los altos rendimientos del frijol fueron asociados con las aplicaciones de mulch de *Erythrina* (962 kg/ha) y mucuna (868 kg/ha).

El P-microbial sólo presentó diferencia significativa en el tercer análisis, donde los callejones a 6 metros fueron los que presentaron mayor contenido (21.29 kg./ha), seguido por el mulch (18.66 kg./ha) y el estiércol (17.9 kg./ha). En relación al P-total y P-extraído por el frijol no hubo diferencias significativas entre medias, pero las enmiendas de mucuna y mulch, son los que mantienen mejor media en P-total y extraen menor cantidad de P en el cultivo. Los niveles de extracción de P disminuyó en comparación con años anteriores, lo que se debe a mayor agotamiento de las reservas del suelo. Por otro lado, el P-adicionado presentó diferencias, donde la mucuna y mulch se presenta como los mejores (3.38 y 3.41 kg./ha). El estiércol fue bueno pero muy variable su comportamiento.

La abundancia de lombrices en los tratamientos, también presentó diferencias, donde el mulch y la mucuna fueron los mejores (36 y 27 lomb/m²), pero en abundancia a pesar que no hubo diferencia estadística, el mejor tratamiento fue mucuna (119.04 g/m²). El estiércol fue bueno (125 g/m²), pero su comportamiento fue muy variable.

En el balance de nutrimentos para el primer ciclo se evaluó el N, P, K, Ca y Mg que se aporta en los tratamientos y que se extrae por el cultivo de frijol. Se determinó que el tratamiento con mucuna y mulch fueron los que obtuvieron los mejores balances nutricionales, presentando saldos negativos únicamente para Mg (0.09 kg./ha) en mucuna y para calcio (6.84 kg./ha) en el mulch, pero se determinó que el calcio fue el nutrimento más deficiente en todos los tratamientos evaluados, seguido por el magnesio. Asimismo, se determinó que el testigo fue el único que presentó saldos negativos para todos los nutrimentos evaluados. Finalmente se determinó que el fósforo fue el único nutrimento que presentó saldos positivos en todos los tratamientos, excluyendo al testigo, donde mucuna fue el mejor (2.38 kg./ha).

Se comprobó que las enmiendas orgánicas de mucuna y mulch tienen un efecto positivo sobre las características biológicas y propiedades químicas del suelo, manteniendo la productividad de los cultivos y la reserva de nutrimentos en comparación con el testigo.

Es recomendable mantener siempre cubierta la superficie del suelo con alguna cobertura, de preferencia una especie leguminosa como la mucuna o *Erythrina spp.*, con el fin de mejorar las características físicas, químicas y biológicas del suelo, que al final mejoran la productividad de los cultivos y la reserva de nutrimentos en forma sostenible a través del tiempo.

LÓPEZ B., F.L. 1995. Comparison of phosphorus dynamics in beans (*Phaseolus vulgaris* L.) produced by alley farming and with other organic amendments in San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc., Turrialba, Costa Rica, CATIE. 103 p.

Key words: Phosphorus, organic amendments, alley farming, velvetbean, mulch, manure, nutrient balance, microbial biomass, earthworms, hillslope agriculture, soil conservation.

ABSTRACT

Low fertility and problems of management associated with soil improvement, are the principal obstacles to efficient use of acid soils for agricultural production. Improvement of the fertility and productivity of these soils has a high monetary cost and there is much interest in using simple agroforestry technologies, which are low in cost and sustainable, to improve the availability of phosphorus, fixation of nitrogen, and nutrient cycling through increasing biological activity in the soil. Phosphorus is generally considered to be the most limiting element in agroforestry systems in the tropics because although not subject to leaching or volatilization, it is rapidly retained by soil clays.

The objective of the present study was to compare the dynamics of phosphorus in agroforestry systems using alley farming and the application of organic amendments of plant (*Mucuna deeringiana* and *Erythrina berteroana*) and animal origin as well as to study their effect on soil microfauna and macrofauna (earthworm populations). Relationships with the available of other elements was also studied.

The study was carried out from January to September, 1996, in San Juan Sur district on land belonging to CATIE in Turrialba, Costa Rica at a latitude of 9°53' N, a longitude of 83°38' W and a altitude of 950 m above sea level. The life zone is classified as very humid premontane forest. The soil is an Acrudoxic Melanudand. Treatments included two spacings of alley farming (4 and 6 m between tree rows), three types of organic amendments (velvetbean, *Erythrina* mulch, and dairy manure) as well as controls with and without crops. The experiment had been established in May of 1990 but results from cropping systems with beans planted in February and July of 1996 were used for the present study. Plots were arranged in a randomized complete block design.

Variables evaluated in the tree component were: total height, crown width along and across the tree row, number of sprouts, total biomass, and leaf-stem ratio. Total biomass and nutrient content of P in the microbial biomass was determined by fumigation and incubation for ten days. Each soil sample was divided into three portions. The first was fumigated with chloroform, the second and third were incubated aerobically. The three fractions were extracted with NaHCO₃ but to the third KH₂PO₄ was added at a rate of 25 µg P per g of soil. Extraction of N, P, K, Ca and Mg by the bean crop was determined in each treatment together with the population and biomass of earthworms.

Biomass applied was dry weight basis 1691 and 1685 kg/ha for velvetbean and *Erythrina* mulch respectively. Highest bean yields were associated with the applications of *Erythrina* mulch (962 kg/ha) and velvetbean (868 kg/ha).

Significant differences in P in the microbial biomass were detected in the third determination, with the highest levels being found in the 6 m wide alley farming treatment (21.29 kg/ha) followed by the *Erythrina* mulch (18.66 kg/ha) and the manure treatment (17.9 kg/ha). With respect to total soil P and P extracted by the bean crop, there were no significant differences among treatments (Duncan multiple range test at $p = 0.05$) but highest levels were associated with the mulch and velvetbean treatments. Levels of P removed in the bean crop were lower than in previous years, indicating that soil fertility had declined. Highest levels of P applied were found with the velvetbean (3.38 kg/ha) y mulch (3.41 kg/ha) treatments. There was much variability in the P content of the manure.

There were significant differences in earthworms populations associated with the different treatments with the highest values being associated with the mulch (36 worm/m²) and velvetbean (27 worms/m²) treatments but differences in earthworms biomass were not significant.

In the first cropping period, the quantities of N, P, K, Ca y Mg applied and removed in each treatment were evaluated. The most favorable nutrient balances were obtained with the velvetbean and mulch treatments, with negative balances being obtained only in the case of Mg (0.09 kg/ha) for velvetbean and Ca (6.84 kg/ha) for mulch. The control treatment was the only one to produce negative balances for all nutrients. The greatest nutrient loss was associated with Ca for all treatments followed by Mg. Phosphorus was the only nutrient which gave positive balances in all treatments except the control with the most positive values being obtained with velvetbean (2.38 kg/ha).

It was concluded that velvetbean and mulch were the organic amendments which had the most positive effect on soil biological and chemical properties, maintaining crop yields and nutrients reserves in comparison with the control treatment. It is recommended that some kind of crop cover be maintained for bean production, preferably with a leguminous mulch such as velvetbean or *Erythrina*. In this fashion, soil biological, physical, and chemical properties will be improved with resultant benefits to crop productivity and soil nutrient reserves.

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1:	Distribución típica de microorganismos (en 1000/g de suelo) en un perfil de suelo mineral (Según Stark, en Scheffer y Schachtschable).....	12
Cuadro 2:	Tratamientos evaluados en el ensayo de comparación de la dinámica del fósforo, en cultivo en callejones y coberturas orgánicas en el cultivo de frijol, San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica, 1996.....	31
Cuadro 3:	ANDEVA utilizado en el ensayo de comparación de la dinámica del fósforo usando cultivo en callejones y coberturas orgánicas en frijol, San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica, 1996.....	49
Cuadro 4:	Muestreo y evaluación de componentes de rendimiento del frijol, San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica, en el periodo febrero - mayo de 1996.....	53
Cuadro 5:	Contenido de fósforo en la masa microbiana del suelo (ppm), San Juan Sur, 1996.....	55
Cuadro 6:	Contenido de fósforo total en los tratamientos evaluados. San Juan Sur, Costa Rica, 1996.....	56
Cuadro 7:	Balance general de nutrientes en los tratamientos evaluados para el primer ciclo. San Juan Sur, Costa Rica, 1996.....	66
Cuadro 8:	Coefficientes de correlación de Pearson (r) entre el fósforo aportado por las enmiendas y las variables evaluadas en los tratamientos, San Juan Sur, Costa Rica, 1996.....	73
Cuadro 9:	Coefficientes de correlación de Pearson (r) entre la biomasa y abundancia de lombrices vrs. los nutrientes correlacionados que aportan los tratamientos, San Juan Sur, C. R., 1996.....	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Croquis de ubicación del experimento, tomando de referencia las instalaciones centrales del CATIE, los ríos Reventazón y Turrialba, así como el camino hacia San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica, 1996.....	30
Figura 2:	Croquis del ensayo donde se muestra la ubicación de los bloques y tratamientos, San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica, 1996.	50
Figura 3:	Producción de biomasa verde y materia seca total en los sistemas en callejones y enmiendas aplicadas, San Juan Sur, Costa Rica, 1996.....	51
Figura 4:	Rendimiento de frijol. San Juan Sur, Costa Rica, 1996. (Medias igual letra no difieren significativamente, prueba Duncan al 5%).....	53
Figura 5:	Comportamiento del contenido de fósforo en la masa microbiana; y el rendimiento de frijol, San Juan Sur, Costa Rica, 1996.....	55
Figura 6:	Porcentaje de fósforo microbial con relación al fósforo total en el suelo. San Juan Sur, Costa Rica, 1996.	57
Figura 7:	Extracción de fósforo en el cultivo de frijol bajo 6 tratamientos, san Juan Sur, Turrialba, Costa Rica, 1996.....	58
Figura 8:	Contenido de fósforo extraído (kg./ha) por tallo+hoja, raíz y vaina de frijol en San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica, 1996.	59
Figura 9:	Balance del fósforo para el primer ciclo de frijol en las enmiendas orgánicas aplicadas. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica, 1996.....	60
Figura 10:	Distribución del número y peso de lombrices en 7 tratamientos evaluados. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica, 1996.	62

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1:	Mediciones de árboles en los sistemas de callejones de <i>Erythrina berteroana</i>	89
Anexo 2:	Cálculo de BVT y MST (kg/ha) de los sistemas en callejones. (El cálculo se realizó por medio de hojas electrónicas sincronizadas, donde se calculó el contenido en cada componente de la enmienda evaluada). Callejones a 6 m, bloque A.....	89
Anexo 3:	Primer conteo de lombrices por método de marco (25x25x10 cm) 13/03/96.....	91
Anexo 4:	Segundo conteo de lombrices por método de marco (25x25x20 cm) 20/07/96.....	92
Anexo 5:	Madurez fisiológica del frijol en el primer ciclo de cultivo. 24/04/96.....	92
Anexo 6:	Muestreo de la primer cosecha de frijol para determinar rendimiento. 13/05/96.....	93
Anexo 7:	Análisis de varianza para la materia seca total en las enmiendas aplicadas (poda 1).....	93
Anexo 8:	Análisis de varianza para la materia seca total en las enmiendas aplicadas (poda 2).....	93
Anexo 9:	Análisis de varianza para el rendimiento de frijol en el primer ciclo.....	94
Anexo 10:	Análisis de varianza para P microbial en los tratamientos (segunda evaluación).....	94
Anexo 11:	Análisis de varianza para P microbial en los tratamientos (tercera evaluación).....	94
Anexo 12:	Análisis de varianza para fósforo total en los tratamientos evaluados.....	95
Anexo 13:	Análisis de varianza para la extracción de fósforo por parte del frijol (primer ciclo).....	95
Anexo 14:	ANDEVA para el contenido de fósforo aportado por las enmiendas (poda 1).....	95

Anexo 15:	ANDEVA para el contenido de fósforo aportado por las enmiendas (poda 2).....	95
Anexo 16:	Contenido de nutrimentos extraídos en el tejido vegetal del frijol (1er. ciclo).....	96
Anexo 17:	Análisis de varianza para número de lombrices/ha (primer muestreo 13/03/96).....	96
Anexo 18:	Análisis de varianza para biomasa de lombrices/ha (primer muestreo 13/03/96).....	97
Anexo 19:	Análisis de varianza para número de lombrices / ha (segundo muestreo 20/07/96).....	97
Anexo 20:	Análisis de varianza para biomasa de lombrices/ha (segundo muestreo 20/07/96).....	97
Anexo 21:	Análisis de varianza para el contenido de nitrógeno de las enmiendas en ambas evaluaciones (enero y julio/96).....	98
Anexo 22:	Análisis de varianza para el contenido de potasio de las enmiendas en ambas evaluaciones (enero y julio/96).....	98
Anexo 23:	Análisis de varianza para el contenido de calcio de las enmiendas en ambas evaluaciones (enero y julio/96).....	99
Anexo 24:	Análisis de varianza para el contenido de magnesio de las enmiendas en ambas evaluaciones (enero y julio/96).....	99
Anexo 25:	Promedios del primer análisis químico de tejido vegetal en laboratorio (%), para el primer muestreo (31/01/96).....	100
Anexo 26:	Promedios del segundo análisis químico de tejido vegetal en laboratorio (%), para el segundo muestreo (03/07/96).....	100
Anexo 27:	Contenido de nutrimentos aportados por las fracciones de enmiendas (1er. Ciclo).....	101
Anexo 28:	Contenido de nutrimentos aportados por las fracciones de enmiendas (2do. Ciclo).....	101

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción agrícola en laderas en América Latina y El Caribe presentan problemas fuertes de pérdida de suelo, nutrimentos y disminución en la actividad biológica (Salas, 1987). Regularmente, en estos agroecosistemas tradicionales a causa de las prácticas inadecuadas que se realizan en los cultivos, hay una salida constante de nutrimentos, así como la pérdida de masa microbiana que contribuye a la disponibilidad de éstos, que en consecuencia degrada y baja su sostenibilidad. De manera que la forma de restaurar y mantener la fertilidad de los suelos por periodos mayores de tiempo es una necesidad crítica y básica para la mayoría de los sistemas de cultivo de los trópicos (Gutteridge y Shelton, 1994).

Los sistemas de cultivo en callejones y las prácticas de conservación con coberturas vivas, coberturas con mulch y la aplicación de estiércol bovino, son técnicas que se han utilizado como estrategia para mantener la productividad en áreas con pendientes sometidas a cultivos intensivos. Los primeros, consisten en un sistema de producción que intercala hileras de árboles de rápido crecimiento y fácil recuperación a podas continuas que son depositadas al suelo (Kang y Wilson, 1981); la cobertura viva, consiste en un cultivo de leguminosas establecido (*in situ*) (Montagnini, 1992), el cual es chapeado e incorporado al suelo antes de la siembra y las coberturas (*ex situ*), que son traídas fuera del ensayo.

La evaluación de estas alternativas de conservación han mostrado a nivel experimental, condiciones que permiten mejorar la disponibilidad de fósforo, fijación de nitrógeno (Kass, 1989), reciclaje de nutrimentos (ICRAF, 1994; Montagnini, 1992), fertilidad por medio del aumento la de masa microbiana (Salas, 1987) y de la macrofauna del suelo (Young, 1989), así como el mejoramiento de las condiciones físicas del suelo (aireación, agregación, retención de agua, control de temperatura) (Reynel y León, 1990). De la hojarasca, estiércol y material podado, se producen residuos vegetales que pasan al suelo, con alto contenido de fósforo orgánico, fuente principal de fósforo para la agricultura de bajos insumos (Sánchez, 1981). Por lo tanto, su conservación es de gran significado práctico en los sistemas agrícolas tradicionales, y su manejo puede ser decisivo para el

mantenimiento de la fertilidad de los suelos, especialmente al considerar su humificación, mineralización y la cobertura.

Sánchez (1981), encontró que el fósforo total se encuentra entre 60 y 80% en forma orgánica en la capa arable y disminuye conforme aumenta la intensidad de meteorización. Además, señala que esa mineralización es difícil de cuantificar, ya que los iones fosfatos (H_2PO_4^-) se fijan rápidamente en compuestos inorgánicos, de manera que la conservación de la materia orgánica juega un papel importante en el mantenimiento del fósforo disponible. Por otro lado, Palm *et. al.*, (1989) y Fassbender (1993), mencionan que el fósforo es frecuentemente considerado como el elemento más limitante en sistemas agroforestales por su efecto en la fijación de nitrógeno; (Paniagua, 1991; Tiessen, 1992) afirman que es frecuentemente de poca disponibilidad en los suelos del trópico. Fassbender (1993), señala que el fósforo es estable, no se volatiliza o lixivias, pero en cambio manifiesta una baja solubilidad que muchas veces causa deficiencias de disponibilidad para desarrollo de los cultivos, a pesar de la continua mineralización de compuestos orgánicos del suelo.

Es de esperar que los sistemas agroforestales y las técnicas de conservación favorecen la mineralización del fósforo en el suelo y aumentan su liberación, a través de proporcionar un medio más adecuado para el desarrollo de los microorganismos encargados de este proceso.

Fassbender (1993), señala que hay pocos estudios específicos sobre el comportamiento del fósforo en agroecosistemas con importancia para alimentación del hombre. Es por eso que en el presente estudio, se evaluó la dinámica del fósforo en dos ciclos de cultivo, usando coberturas de árboles en callejones, mucuna (*Mucuna deeringiana* (Bort) Merr) como cobertura viva, mulch de *Erythrina berteroana* y estiércol bovino, para determinar su relación con la masa microbiana, la población de lombrices y el contenido de nitrógeno, potasio, calcio y magnesio.

III. OBJETIVOS

General:

Comparar la dinámica del fósforo en el cultivo de frijol, bajo sistemas que incluyen prácticas agroforestales y coberturas orgánicas; su relación con la macro y microfauna del suelo, así como con el N, P, K, Ca y Mg.

Específicos:

- Cuantificar el balance de fósforo (entrada y salida) en los dos sistemas de cultivos en callejones y en las coberturas orgánicas, así como su efecto sobre el rendimiento del frijol y otros nutrimentos.
- Determinar el fósforo disponible en el suelo por medio de la masa microbiana; los nutrimentos aportados por los tratamientos aplicados; y comparar los niveles de producción del frijol con el sistema tradicional.
- Determinar la relación de los tratamientos con el contenido de fósforo adicionado, el fósforo en la masa microbiana del suelo, la población de lombrices y otros nutrimentos.

IV. HIPÓTESIS

General:

Los sistemas agroforestales y las coberturas orgánicas no se diferencian en el uso de los recursos naturales (suelo, nutrimentos, agua) y de insumos externos, manteniendo la productividad del terreno similar al sistema tradicional.

Específicas:

- Las entradas y salidas del fósforo se manifiesta en forma similar en cada práctica de cultivo (cultivo de callejones y coberturas orgánicas) e influyen de igual manera sobre el rendimiento de los cultivos.
- La cantidad de fósforo en la masa microbiana no difiere significativamente en ninguno de los tratamiento a ser evaluados.

V. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1 Fósforo en suelos tropicales

En suelos bajo cobertura de bosque tropicales naturales, el fósforo es el elemento más limitante, debido a su baja disponibilidad (Denslow *et al.*, 1987). Sin embargo, la productividad de estos bosques es alta, dada a la alta cantidad de asociaciones con microorganismos capaces de movilizarlo y dejarlo disponible para las plantas. El problema se marca cuando estos ecosistemas son alterados (cambio a agricultura o pastura), las relaciones desaparecen y por ende el fósforo pasa a ser una de las principales limitantes para la producción.

Según Fassbender y Bornemisza (1994), el fósforo es relativamente estable en los suelos, ya que no presentan compuestos inorgánicos, que son volátiles o fácilmente lixiviables. La gran estabilidad que presenta resulta de una baja solubilidad, lo que la mayoría de veces en estos suelos, causa deficiencias en la disponibilidad de fósforo para las plantas, a pesar de la continua mineralización de compuestos orgánicos (Tiessen, 1992; Fassbender, 1993). La retención de fosfatos es un proceso por el cual las partículas orgánicas e inorgánicas de los suelos hacen menos disponible el fósforo al transformarlos en compuestos de baja solubilidad (Campos, 1987; Sánchez, 1981 y Tiessen, 1992). La aplicación de fertilización química puede resolver temporalmente este problema, pero los fosfatos aplicados al suelo son sometidos a rápidas reacciones de fijación (Salas, 1987; Fassbender, 1993) y no están disponibles como fuente de energía para los procesos bioquímicos de la planta. Por otra parte, si el suelo es sometido a fertilizaciones masivas es posible que se dé una pérdida de fósforo al ser lixiviado a la capa freática de suelo (Fassbender y Bornemisza, 1994)

En el suelo, los iones fosfatos que se liberan a través de la disolución de fertilizantes fosfatados, no son estables, ni permanecen en su forma original, sino que son objeto de transformaciones de adsorción y precipitación (Tiessen, 1992). De manera, que al disolver un gránulo de superfosfato triple (fosfato monocálcico) se forma una solución de ácido fosfórico ácida (pH = 1.8), la que al reaccionar con los cationes de la solución del suelo (Ca, Fe, Al), precipitan en forma de fosfatos cristalinos o amorfos de Ca, Fe y Al, que son menos

solubles (Delgado, 1971; Sánchez, 1981). En algunos casos se forman fosfatos mixtos de carácter complejo, que luego pueden representar fuentes secundarias de fósforo para las plantas.

Los suelos de las áreas tropicales se presentan asociados por lo general con: un pH bajo, grandes cantidades de hidróxido de Fe y Al, gran cantidad de cargas electropositivas y electronegativas de adsorción de fosfatos. Pero asociados con un pH bajo, aumentan las cantidades de Al y Fe cambiables, precipitándose los fosfatos (Sánchez, 1981; Fassbender y Bornemisza, 1994).

5.2 Contenido de fósforo en el suelo

El contenido de fósforo es relativamente bajo, constituyendo 0.12% de la corteza terrestre. En suelos minerales de áreas templadas el contenido de fósforo total varía entre 0.02 y 0.08% (200 - 800 mg/kg.) (Fassbender y Bornemisza, 1994).

Según Fassbender (1993), en los suelos tropicales, los contenidos de fósforo son muy variables, tan variables que para fósforo total se presentan los datos extremos de 18 mg/kg de suelo en Oxisols y Ultisols en Venezuela y de 3,300 mg/kg. de suelo en el caso de los derivados de cenizas volcánicas de América Central. Sánchez (1981) y Salas (1987), mencionan que el fósforo orgánico puede liberar de 2 a 27 ppm de fósforo al suelo y que aplicaciones de nitrógeno y fósforo aumentan la mineralización del fósforo orgánico. Toda esta variabilidad se debe principalmente al desarrollo del suelo, condiciones edafológicas y ecológicas.

Aparentemente los suelos jóvenes derivados de cenizas volcánicas presentan un mayor contenido de fósforo que los desarrollados de sedimentos meteorizados y depositados en áreas tropicales bajas. Los suelos pertenecientes al grupo de los andisols (América Central y Colombia) alcanzan los valores más altos de fósforo total registrados en la literatura; los Oxisols y Ultisols (Brasil, Colombia, Venezuela, Puerto Rico), alcanzan valores muy bajos de fósforo total. Estos últimos presentan también una alta capacidad de fijación de fósforo y por lo mismo resultan deficientes de este elemento (Fassbender, 1993) y

se reporta que aproximadamente el 82% de los suelos agrícolas del trópico americano presentan deficiencias de fósforo (Fassbender y Bornemisza, 1994).

En los suelos de América Central donde predominan los fosfatos de calcio, el contenido promedio de fósforo total fue de 889 mg/kg. de suelo, mientras que en los suelos más ácidos, donde predominaban los fosfatos orgánicos y, dentro de los inorgánicos los de aluminio y hierro, el contenido de fósforo total fue mayor, llegando en promedio a 1,241 mg/kg. de suelo. Sánchez (1981), menciona que el fósforo total en la capa arable disminuye conforme aumenta la intensidad de meteorización, ejemplificando que los suelos tropicales tiene aproximadamente 200 ppm, debido a la mayor extensión superficial de los suelos altamente meteorizados. Reporta que los Andisols son altos en fósforo total, con ámbito entre 1000 y 3000 ppm.

Fassbender y Bornemisza (1994), reportan que el contenido total de fósforo también depende de la textura de los suelos, tanto en áreas de clima templado como tropical, ya que cuanto más fina es su textura, mayor es el contenido de fósforo total. De manera general, el contenido de fósforo total disminuye con la profundidad del suelo (Paniagua, 1991; Macêdo 1996), lo que es explicable por la disminución de la materia orgánica y de los fosfatos orgánicos.

El valor de fósforo total en los suelos de áreas tropicales está ligado al contenido de materia orgánica en ellos y con su evolución pedológica. Al aumentar la concentración de materia orgánica y fosfatos orgánicos, se obtiene una mayor cantidad de fósforo total (Fassbender y Bornemisza, 1994).

5.2.1 Fósforo orgánico

El fósforo orgánico es la fuente principal de P para la agricultura sin fertilizantes (Sánchez, 1981; Tiessen, 1992). El fósforo se presenta en el suelo casi exclusivamente como ortofosfato y todos los compuestos son derivados del ácido fosfórico (H_3PO_4). La participación del fósforo orgánico en el fósforo total generalmente varía entre 25 y 75%, en casos extremos estos límites pueden extenderse hasta 3 y 85%. Sin embargo, la participación del fósforo orgánico es igual a la del fósforo inorgánico, pero la interpretación

correcta en los análisis exige consideración individual de los suelos (Fassbender y Bornemisza, 1994). Sánchez (1981), por su lado menciona que este corresponde del 20 al 50% del fósforo total en la capa arable y en suelos más meteorizados (Oxisols, Ultisols y Alfisols) a menudo representa del 60 al 80%.

En general se ha encontrado que algunos factores como la temperatura, la precipitación pluvial, la acidez del suelo, la actividad biológica y el grado de desarrollo de los suelos, determinan la participación de las fracciones orgánicas e inorgánicas del fósforo total (Fassbender y Bornemisza, 1994).

En la materia orgánica del suelo existen 5 tipos principales de compuestos fosfatados, siendo estos: fosfolípidos, ácidos nucleicos, fosfatos metabólicos, fosfoproteínas, y fosfatos del ácido inositolhexasfosfórico o inositol (Tate, 1984), llegando estos últimos a constituir el 50% del fósforo orgánico; en algunos suelos, esta proporción alcanza hasta el 75%. Fassbender (1993), reporta que el inositol es un alcohol derivado del fenol, molécula con unidades de ácido fosfórico. Mientras que Fassbender y Bornemisza (1994), mencionan que con el fósforo forma un éster, denominado **fitina**; las sales de esta se denominan filatos de calcio, hierro y aluminio, que son los compuestos más comunes y localizados en la planta, tanto en la parte aérea como en las raíces.

Para caracterizar el fósforo orgánico se utiliza la relación C:N:P orgánico. Sin embargo, esta relación es muy variable, pero en promedio se indica que es de 110:9:1 (Sánchez, 1981). En los suelos tropicales se han reportado relaciones C/P orgánico en un ámbito de 200 - 300/1. En suelos centroamericanos la relación entre el porcentaje de carbono (%) y el contenido de fósforo (mg/kg.) se representa en forma lineal a través del siguiente modelo:

$$y = 43.80 + 147.30 x \text{ con un } r = 0.668^{**} \text{ (Fassbender y Bornemisza, 1994).}$$

5.2.2 Fósforo inorgánico

Entre los fosfatos inorgánicos se pueden distinguir formas químicamente bien definidas y cristalizadas, así como otras no bien cristalizadas o amorfas, como los fosfatos adsorbidos y presentes en la solución del suelo (Sánchez, 1981). Entre los cristalinos se

considera a los cálcicos, a los aluminicos y a los férricos (Fassbender y Bornemisza, 1994). Entre los primeros están: el fosfato monocálcico, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$; el fosfato dicálcico, CaHPO_4 y sus formas hidratadas (H_2O); las apatitas hidroxidadas, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ y sus variantes fluorada y carbonática. Entre los segundos se destacan: el fosfato aluminico (variscita, $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y los fosfatos férricos y ferrosos (vivianita, $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ y la estrengita, $\text{Fe}_4\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Existen además, otros fosfatos cristalinos complejos, derivados de la transformación de fertilizantes, como taranakitas, fosfatos octacálcicos, gorceixita, crandalita y otros.

De igual manera deben considerarse formas químicamente no bien definidas, no bien cristalizadas o amorfas, como los fosfatos adsorbidos al complejo coloidal y los ocluidos en los hidróxidos de Al, Mn y Fe (1 meq de Al $-\text{kg}^{-1}$ retiene hasta 102 ppm de P), denominados generalmente como fosfatos ocluidos o inertes (Sánchez, 1981; Salas, 1987). La presencia de estos fosfatos de aluminio amorfos se explica a través de las interacciones con minerales arcillosos amorfos, como el alofán, que son muy frecuentes en los suelos derivados de cenizas volcánicas en América Central.

Como se mencionó al principio, el fosfato en forma de ácido fosfórico (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} y PO_4^{3-}), se encuentra en cantidades pequeñas en el suelo (Fassbender, 1967), donde la forma H_2PO_4^- es la que absorbe la planta para producir sustancias orgánicas de alto contenido energético (Fassbender, 1993) y es la que se encuentra entre pH de 2 y 7 (Fassbender y Bornemisza, 1994).

En relación a la distribución de los fosfatos inorgánicos del suelo se dice que depende del grado de meteorización y desarrollo, así: en los suelos formados recientemente predominan los fosfatos cálcicos (América Central); en los medianamente desarrollados se presentan proporciones balanceadas de los diferentes fosfatos inorgánicos, y en los suelos maduros predominan más bien los fosfatos ocluidos en los hidróxidos de Al, Fe y Mn (Fassbender, 1993). Asimismo, la distribución de los fosfatos inorgánicos de calcio se ve influida por las condiciones de pH del suelo, encontrándose correlaciones positivas entre ambas ($r = 0.709$). En reacciones neutras o alcalinas predominan los fosfatos de calcio; en condiciones ácidas, los de Fe y Al (Sánchez, 1981). Estos últimos se correlacionan inversamente con el pH ($r = -0.705$) (Fassbender y Bornemisza, 1994). Por lo tanto, los

fosfatos de calcio son más solubles que los de aluminio y éstos que los de hierro (Sánchez, 1981).

También se reporta que la distribución de los fosfatos inorgánicos dependen de la granulometría del suelo, así: en los arenosos predominan los fosfatos cálcicos y en los arcillosos los aluminicos y férricos. Las condiciones de inundación (arroz) propician la acumulación de fosfatos ferrosos.

En relación a los fosfatos ocluidos, se reporta que están en todos los suelos estudiados; éstos considerados inertes, presentan una solubilidad muy reducida y una disponibilidad muy escasa para las plantas (Fassbender, 1967). En los estudios de fraccionamiento es considerado como fósforo residual (Hedley *et al.*, 1982) y el porcentaje en relación al fósforo total en el suelo es alto (20-60%) (Tiessen, 1992; Macêdo, 1996). Cuanto más meteorizado es el suelo, mayor es el contenido de fosfatos inertes (%) (Sánchez, 1981).

Teniendo como base fundamental los conceptos y principios anteriores se dice que la fijación de fosfatos es un proceso por el cual las partículas orgánicas e inorgánicas de los suelos hacen menos disponible el fósforo al transformarlos en compuestos de baja solubilidad (Sánchez, 1981; Campos, 1987). Se considera que dicha fijación obedece a dos mecanismos fundamentales: El primero consiste en la formación de fosfatos poco solubles del tipo de las apatitas $\text{Ca}(\text{PO}_4)_3\text{OH}$, strengita $\text{Fe PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, variscita $\text{Al PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y otros fosfatos complejos cristalizados o amorfos resultantes de la reacción de los fosfatos con ciertos cationes en la fase acuosa del suelo (Delgado, 1971). El segundo mecanismo de retención tiene que ver con fenómenos de fijación a partículas coloidales, tales como hidróxidos, arcillas y materia orgánica. De estos mecanismos se puede inferir que, una buena parte del fósforo total del suelo no es disponible para la planta (Fassbender, 1967) y el aprovechamiento ocurre lentamente (Delgado, 1971). Sánchez (1981), señala la siguiente intensidad de fijación de acuerdo con la mineralogía:

Óxidos Amorfos > Óxidos cristalinos > Arcillas 1:1 > Arcillas 2:1

Tiessen (1992), considera que los fosfatos de Al y Fe fijados son una fuente potencial de fósforo disponible para las plantas. Es por esto que en las interpretaciones de las formas de fósforo en los suelos, debe tomarse en cuenta su distribución y la profundidad de los perfiles. Como resultado de la acumulación biológica, el contenido de fósforo orgánico es más alto en horizontes superficiales; las formas inorgánicas, en cambio, generalmente aumentan con la profundidad.

5.3 Biomasa microbiana

El término de masa microbiana significa literalmente "masa de la materia viva" (Grisi, 1984). La biomasa microbiana es por lo tanto un componente vivo de la materia orgánica del suelo de gran relevancia, debido a que constituye una reserva importante de nutrimentos orgánicos, que son liberados parcial y periódicamente (Jenkinson y Ladd, 1981; Marumoto *et al.*, 1982). Sus metabolitos constituyen, por ejemplo una de las principales fuentes de nitrógeno y fósforo mineral para las plantas (Marumoto *et al.*, 1982)

La población microbiana del suelo reacciona mucho más rápido a las variaciones o perturbaciones resultantes del manejo del suelo y de la calidad del sustrato orgánico que se incorpora a la materia orgánica; sus cambios son proporcionalmente más grandes y por lo tanto es un indicador más sensible de la dinámica de la materia orgánica y la condición biológica del suelo, que la simple estimación del carbono total o la materia orgánica, que puede reaccionar a variaciones en los parámetros edáficos después de varios años (Marumoto *et al.*, 1982; Tate, 1984).

La biomasa microbiana se determina por medio de técnicas de fumigación del suelo con cloroformo, denominadas por varios autores como incubación-fumigación (Brookes *et al.*, 1982; Brookes *et al.*, 1985; Grisi, 1984), que es la más utilizada. Esta técnica utiliza como solución extractante el bicarbonato de sodio, que es considerada muy útil para evaluar la mineralización en varios sustratos de fósforo orgánico (Jenkinson y Ladd, 1981; Marumoto *et al.*, 1982).

5.3.1 Actividad microbial en la disponibilidad de fósforo

En el proceso de mineralización del fósforo orgánico los compuestos polimerizados (nucleoproteínas) se descomponen y forman compuestos más simples (proteínas y ácidos nucleicos) y de esa manera se libera al ácido fosfórico (Fassbender y Bornemisza, 1994). Marumoto *et al.*, 1982) sugiere que el P contenido en la masa microbiana considerablemente contribuye a la movilidad del fósforo orgánico. Esta actividad también puede aumentarse si se aumenta la aplicación de nitrógeno y fósforo (Sánchez, 1981). Szott y Kass (1994), reportan que adiciones de P inorgánico puede dar por resultado una mayor disponibilidad inmediata, así como aumentos a largo plazo en las formas de fósforo orgánico.

La participación de los microorganismos en los procesos de mineralización es muy importante, llevándose a cabo en el nivel denominado "espacio radical intensivo", situado entre la capa de materia orgánica y el horizonte inmediatamente subyacente (Salas, 1987). Se ha encontrado más o menos 30 especies predominantes en la mineralización del fósforo orgánico. Entre las bacterias predominan *Serratia carollera* var. *phosphaticum*; *Bacillus megatherium* var. *phosphaticum*; *Bacillus mesentericus*; *Bacillus vulgatus*; *B. Subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, (Hedley *et al.*, 1982), *Streptomyces clavuligerus* (Brookes *et al.*, 1982) Levaduras importantes como: *Rodentrelaria mucilaginoso*. Y hongos como: *Saccharomyces ellipsoideus*, *Cylindrocarpon sp.*, *Candida utilis* (Brookes *et al.*, 1982).

Estos microorganismos habitan en la rizósfera y producen la liberación de iones fosfatos que son directamente aprovechables por la planta (Tiessen, 1992). La mayor parte de los microorganismos del suelo (*Arthrobacter*, *Aspergillus*, *Penicillum*, *Rhizophus*, *Streptomices*) no son selectivos, pero si capaces de producir fosfatasas, nucleidasas y fitasas, que catalizan el proceso metabólico con las plantas (Fassbender y Bornemisza, 1994). (Hedley *et al.*, 1982) consideran que la biomasa microbiana del suelo corresponde a un 75% de hongos y 25% de bacterias. Un criterio importante para la evaluación del contenido de nitrógeno y de fósforo de un determinado suelo o sitio, y es "el estado biológico del suelo", que es mucho mejor cuando más abundante y rica en especies sea la biomasa (Salas, 1987).

Salas (1987), menciona que las bacterias y hongos atacan los restos vegetales en forma directa o después de la acción de la micro y macrofauna, descomponiéndolos; pero la mesofauna controla la población microbiana, alimentándose de ella pero favoreciendo su difusión. Menciona que algunos de estos organismos no se encuentran libres en el suelo, sino que están asociados a arcillas o a coloides orgánicos por medio de las fuerzas de intercambio de cationes.

Según Fassbender y Bornemisza (1994), la actividad microbiana es afectada por diferentes factores, entre los que se destacan: la temperatura y la humedad; así como la reacción del suelo (Grisi, 1984). Además, Salas (1987), menciona que también son afectados por la aireación, la acidez, estado nutricional y suministros de energía, que a su vez afectan grandemente la distribución espacial de los organismos. En el cuadro 1, se aprecia un ejemplo de distribución espacial.

Cuadro 1: Distribución típica de microorganismos (en 1000/g de suelo) en un perfil de suelo mineral (Según Stark, en Scheffer y Schachtschable).

Horizonte	Profundidad cm	Bacterias		Actinomicetes	Hongos	Algas
		aerobias	anaerobias			
A1	3 - 8	7800	1950	2080	119	25
A2	20 - 25	1800	379	245	50	5
A2 / B1	35 - 45	472	98	49	14	0.5
B1	65 - 75	10	1	5	6	0.1
B2	135 - 145	1	0.4	---	3	---

Fuente: Salas (1987).

Salas (1987), menciona que los microorganismos trabajan a un óptimo de temperatura de 25 a 30°C y que los organismos mayores son menos dependientes de esta. Además, plantea que los suelos con estas temperaturas pueden mostrar una baja mineralización de la materia orgánica, debido a la deficiencia de fósforo disponible. En cuanto a la humedad menciona que son muy diferentes en sus requerimientos, necesitando las bacterias cerca de 90% de presión relativa de vapor, mientras que los hongos mejoran su eficiencia entre 80 y 90%; la sequía, inhibe la actividad microbiana. Algo importante es el pH, ya que la mayor cantidad de especies están presentes a pH neutros; con el aumento de la acidez, disminuye la fauna del suelo y las bacterias, pero aumentan los hongos.

La mineralización del fósforo orgánico, generalmente se ha estudiado en condiciones de laboratorio a través de procesos de incubación (Brookes *et al.*, 1982; Marumoto *et al.*, 1982). Normalmente este proceso es óptimo con pH altos (entre 5.5 y 7.0), con una temperatura entre 25 y 45°C y en condiciones intermedias de humedad (Grisi, 1984). En condiciones de humedad cambiantes se favorece la mineralización; al humedecer una muestra de suelo seca (con una tensión de 33 Kpa y una temperatura de 30°C) se produce un primer flujo de mineralización, como consecuencia de la disponibilidad de compuestos orgánicos fáciles de metabolizar. A nivel de laboratorio, Tiessen (1992) y Marumoto *et al.* (1982), consideran que la fracción de fósforo orgánico extractable con bicarbonato es fácilmente mineralizable y aumenta el fósforo disponible a la planta en el periodo de crecimiento.

Al aumentar el fósforo disponible, la masa microbiana se desarrolla considerablemente, lo cual lleva a la inmovilización del fósforo, ya que los organismos necesitan consumir fósforo en el ciclo de vida (Salas, 1987). Así se producen también en condiciones de campo, fases de mineralización e inmovilización alternas, esperando como producto final una liberación de fósforo y una mejora en su disponibilidad para las plantas. Fassbender y Bornemisza (1994), mencionan que la práctica del encalado acelera la mineralización al mejorar, de manera general, las condiciones de desarrollo de los microorganismos.

Finalmente Marumoto *et al.* (1982), concordando con varios autores estiman que el contenido de carbono en la masa microbiana del suelo está en un ámbito de 0.5-4.6% del carbono total y sugieren que las cantidades promedios de C, N, P K y Ca en la biomasa microbiana del suelo está cerca de 720, 108, 83, 70 y 11 kg./ha, respectivamente.

5.4 Fósforo en sistemas de producción agrícola

La práctica de tala y quema en los bosques es el punto inicial de la utilización de los suelos para las explotaciones agrícolas. Las temperaturas en el momento de la quema son de gran importancia para el fósforo y sus formas. Las cantidades de fósforo total permanecen constantes, dada la estabilidad de este elemento. Sin embargo, con la alteración de la materia orgánica se libera fósforo en forma de P_2O_5 (Fassbender, 1993),

el cual reacciona con el agua de la lluvia, y con la solución del suelo para formar el ácido fosfórico (H_3PO_4), que reacciona finalmente con el Ca^{+2} , Fe^{+3} y Al^{+3} formando los fosfatos respectivos (Fassbender y Bornemisza, 1994).

Según Tiessen (1992) y Fassbender y Bornemisza (1994), las plantas absorben los iones H_2PO_4^- directamente de la solución de suelo, pero la disponibilidad de fósforo es caracterizada por el potencial de los fosfatos cálcicos ($\text{p H}_2\text{PO}_4^- + 0.5 \text{ p Ca}$), presentando un coeficiente de correlación altamente significativo ($r = 0.677$). Dadas las pequeñas concentraciones de H_2PO_4^- en la solución del suelo y su rápida absorción por las plantas, se tiene con el $\text{p H}_2\text{PO}_4^- + 0.5 \text{ p Ca}$ un parámetro de intensidad, una medida de la situación cambiante de fósforo en el suelo. Del proceso de absorción de fósforo por las plantas, resulta también la necesidad de reponer continuamente el H_2PO_4^- en la solución del suelo (Szott y Kass, 1994).

Delgado (1971) y Sánchez (1981), mencionan que las plantas acumulan en sus tejidos alrededor de 2000 ppm de fósforo y que la solución del suelo debe renovarse varias veces al día, para que las plantas acumulen tal concentración. Esto ocurre de acuerdo con la solubilidad y las cantidades de diferentes fosfatos presentes en la reserva del suelo (Fassbender y Bornemisza, 1994).

De manera general se puede indicar que las cantidades de fósforo acumuladas en los cultivos es pequeña, menor que la de N y K (Fassbender, 1993). Cuando la producción de cultivos como cereales y leguminosas de grano no pasa de 1 ton/ha, la absorción de fósforo es menor de 10 kg./ha (3-7 kg./ha/año) (Sánchez, 1981). Por otro lado, los rendimientos de maíz, arroz y trigo, se han registrado tasas de absorción hasta de 35 kg. de P/ha (2 - 49 kg./ha/año). Los cultivos de raíces y tubérculos como la yuca y la papa, extraen entre 30 y 40 kg. de P/ha. El mayor consumo de fósforo se registra en los casos de gramíneas forrajeras y caña de azúcar, que exigen entre 20 y 100 kg./ha/año en función de la intensidad de cortes (Fassbender y Bornemisza, 1994).

Algunos de los cultivos tropicales más importantes (algodón, banano, café, cacao, coco, caucho, palma aceitera, piña) tienen exigencias pequeñas de fósforo, menores que 10 kg./ha/año (Fassbender, 1993). Sánchez (1981), menciona que el camote es el

más tolerante a bajos niveles de fósforo en la solución del suelo, obteniendo un 75% del rendimiento con 0.003 ppm de P.

El problema del fósforo en la agricultura no es la compensación del fósforo extraído por las plantas, sino el manejo de los fertilizantes para lograr una utilización adecuada de las cantidades aplicadas. De tal manera, que las deficiencias de fósforo en los cultivos establecidos en suelos tropicales, después de algunos años o algunas cosechas son muy comunes (Fassbender, 1993). Fassbender (1989), estimó que la deposición de fósforo en un sistema de café-poró fue de 24.2 kg./ha/año y que la cantidad de fósforo circulado con la hojarasca sobrepasa las cantidades extraídas por el cultivo, pero para cubrir el crecimiento de la fitomasa arbórea es necesario aplicar fertilizante, que al inicio parece excesiva, pero la disponibilidad en sus diferentes formas es baja (P-org 70%, Fe-P 8.4, Al-P 4.2, Ca-P 1.7% de P-total) y considera la fijación del P disponible un 62%, así como la formación de fosfatos insolubles (Al-P 67%, Fe-P 26%), donde el uso de fertilizante es limitado.

5.5 Fósforo en sistemas de producción forestal

En las plantaciones forestales, el ciclo del fósforo toma paulatinamente un carácter cerrado y de transferencias internas, ya que la ganancia a través de la lluvia, de la fertilización o la meteorización de minerales fosfatados de la roca madre es casi nula, al igual que las pérdidas por percolación. Los árboles al igual que los cultivos absorben H_2PO_4^- del suelo y los fosfatos orgánicos se acumulan en la biomasa y con la producción de hojarasca se acumula fósforo en la capa superficial del suelo (mantillo) y por medio de la mineralización se liberan nuevamente los iones de ácido fosfórico, que nuevamente son absorbidos por las plantas (Fassbender, 1993). En la cosecha de la plantaciones forestales se da un proceso de extracción de fósforo a través de la madera, por lo que este debe reponerse o compensarse por medio de una fertilización (Szott y Kass, 1994).

Fassbender y Bornemisza (1994), menciona que una plantación de pino del Caribe de 10 años de edad, en Nigeria, acumuló 26.7 kg. de P/ha, distribuidos en un 23% en la hojas, 29% en los tallos y 25% en las raíces. Además, se menciona que la remoción total de una

plantación de *Pinus patula* de 30 años, equivale a 126 kg. de P/ha y la de una de *Cupressus lusitanica* es de 95 kg. de P/ha. Esto hace un promedio de 4 kg. de P/ha al año.

5.6 Sistema Agroforestal de Cultivo en Callejones

El cultivo en callejones es un sistema de producción donde los cultivos anuales son producidos en los espacios entre los surcos de arbustos leñosos o árboles (preferiblemente especies leguminosas de rápido crecimiento) y donde las especies leñosas son podadas periódicamente para evitar sombra excesiva y proveer abono verde al cultivo (Kass *et al.*, 1989; Gutteridge y Shelton, 1994; Kang, 1994).

El cultivo en callejones es considerado como una alternativa de producción que pretende minimizar el uso de insumos (Kass, 1989), mientras mantienen rendimientos sostenibles en el tiempo (Harwood, 1987). Lo anterior significa que muchas veces solo proporcionan un medio de subsistencia, pero ecológicamente es estable. En el trópico húmedo puede tener un rol importante, ya que por lo general los monocultivos anuales son componentes extractores de nutrimentos, disminuyendo la fertilidad de los suelos en 2 a 4 años de uso intensivo (Kass, 1989; Paniagua, 1991).

Estos sistemas presentan al agricultor algunos beneficios tales como:

- Proporcionar beneficios sustanciales para el rendimiento del cultivo (Gutteridge y Shelton, 1994).
- Protección al suelo de lluvias intensas, protegiendo la estructura (Montagnini, 1992)
- Aumentar la infiltración del agua, mejorando la estructura (Salas, 1987).
- Mejorar la porosidad y aireación en el suelo (mejora la estructura). (Gutteridge y Shelton, 1994).
- Reducir la escorrentía y erosión (protege la estructura) (Tineo, 1993; Arriaza, 1995).
- Mantener la fertilidad del suelo, mejorando los contenidos de nutrimentos (Salas, 1987; Gutteridge y Shelton, 1994).
- Mejora el contenido de fósforo orgánico (Sánchez, 1987).
- Los requerimientos de insumos externos son menores. (Montagnini, 1992).

- La hojarasca y la sombra de los árboles reducen la temperatura del suelo y mantienen una condición de humedad que favorece el crecimiento de masa microbiana (provee microclima) (Beer, 1988; Montagnini, 1992; Kang, 1994).
- y controla malezas (Paniagua, 1991; Montagnini, 1992).

Se menciona que los mecanismos que utilizan los árboles para mantener la fertilidad del suelo son:

- Retención de nitrógeno atmosférico (usando árboles fijadores de nitrógeno) (Beer, 1988; Paniagua, 1991; Montagnini, 1992).
- Reciclaje de nutrientes de capas profundas del suelo a las superficiales, por medio de la incorporación de la materia orgánica y producción de tejido leñoso rico en Ca y Mg (Salas, 1987; Montagnini, 1992; Kang, 1994; Szott y Kass, 1994).
- Reducción de pérdida por lavado, percolación y erosión superficial, especialmente en el área de influencia de los árboles (Paniagua, 1991).
- Mejoramiento de la actividad microbológica, dado al aumento de la masa radicular en el suelo (Salas, 1987; Kang, 1994).

Un aspecto básico de las ventajas de los sistemas agroforestales está ligado a la necesidad de sistemas de producción agrícola sostenible y compatible con el medio ambiente (Fassbender, 1993; Gutteridge y Shelton, 1994).

A pesar de que la fijación de N es considerada como aspecto fundamental en el asocio de árboles con cultivos, Beer (1988) demostró que en el caso de cultivos perennes como café y cacao, la producción de broza u hojarasca es una característica más importante que la fijación. Señala que esta fijación de N por leguminosas no excede los $60 \text{ kg. Ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Por otro lado, estas especies contribuyen con $5 - 10 \text{ Ton de material orgánico Ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, que favorece al reciclaje de nutrientes.

Por otro lado, Salas (1987) describe algunas de las desventajas o efectos negativos de algunas combinaciones, siendo las principales:

- Competencia por luz, energía, nutrientes y agua; si se asocia con cultivo de raíces como yuca (Kass, 1989).

- Efectos alelopáticos de un cultivo sobre un árbol o viceversa.
- Daño mecánico al cultivo en las operaciones de poda o cosecha de árboles.
- Aumentos de acidez (Montagnini, 1992).
- En los sistemas en callejones, la remoción anual de nutrimentos es más grande que en la mayoría de los sistemas cultivo-árbol perenne, dando por resultado que haya una mayor demanda en el sistema para suplir y/o reciclar nutrimentos (Szott y Kass, 1994).

Finalmente Kass *et al.* (1994), concluye que la adopción de los sistemas en callejones en América Central sigue siendo insignificante, debido a los altos requerimientos de mano de obra con respecto al costo de los fertilizantes nitrogenados subsidiados y a una relativa falta de interés en los granos.

5.6.1 Contribución de los cultivos en callejones a la fertilidad de los suelos

Se dice que las respuestas de los cultivos en ausencia de fertilizantes inorgánicos, si bien son positivas, son bajas y que la aplicación de al menos fertilizante nitrogenado aumenta los rendimientos. Por lo que parece ser que una pequeña porción (10 - 25%) del N de las podas es utilizado por el cultivo (Hagggar, 1990). Una porción considerable es retenida en la materia orgánica del suelo y luego liberada al cultivo.

Se considera que los productos de las podas de árboles utilizados en cultivo en callejones contienen suficientes cantidades de nitrógeno (Kass, 1989), potasio, magnesio y calcio como para suplir las necesidades de los cultivos (Paniagua, 1991), incluso en suelos de bajo contenido en cationes (Kass, 1995). Vilas (1990), menciona que en un tiempo de 20 días se libera el 90% del potasio contenido en los residuos de las hojas, pero Szott y Kass (1994), mencionan que en los trópicos, por lo general se libera un poco más del 50%. Sin embargo, debe reconocerse que los nutrimentos en los desechos de hojas y en las podas, a menos que sean agregados desde fuera del sitio, sólo son reciclados y no son verdaderas adiciones al sistema. La aplicación de fertilizante inorgánico, por otra parte, contribuye como adición al sistema (Szott y Kass, 1994).

Con relación al fósforo, se dice que es el nutrimento de mayor preocupación para el éxito continuo de la producción de cultivo en sistema de callejones y además, debe considerarse que su liberación desde los residuos vegetales al suelo es muy lenta (Palm *et al.*, 1989). Por lo tanto, en muchos suelos éste sería más limitante en los sistemas en callejones que en otros sistemas agroforestales, como plantaciones de sombra o huertos caseros, donde la extracción de fósforo por los cultivos es menor (Kass *et al.*, 1991). Según Szott y Kass (1994), los balances de las adiciones y remociones de fósforo en los sistemas en callejones en suelos fértiles (pero bajos en P) o infértiles y ácidos sugieren que el fósforo puede eventualmente limitar la productividad de estos sistemas.

Según Sánchez (1987) y Hagggar *et al.* (1990), en los sistemas donde se agregan altas cantidades de materia orgánica, los niveles de fósforo orgánico en el suelo pueden aumentar bajo cultivo en callejones. Paniagua (1991), cita a varios autores, señalando que el contenido de materia orgánica bajo cultivo en callejones es variable. Sin embargo, es importante saber que varios estudios señalan aumentos en la masa microbiana, considerada como la porción más activa de la materia orgánica (Palm, *et al.*, 1989).

Es esta capacidad que tienen los árboles nativos del trópico de utilizar el fósforo disponible aún a bajas concentraciones y devolverlo al suelo por medio de podas o caída natural, para ser aprovechado por los cultivos, es lo que se pretende incorporar en los sistemas agroforestales. Kass (1989), menciona que a la edad de 66 meses sin necesidad de fertilización nitrogenada los sistemas en callejones de *Erythrina poeppigiana* y *Gliricidia sepium* acumularon 18 y 19 kg. de P/ha respectivamente. Sánchez (1987), indica que la acumulación de fósforo en el poró depende de su distanciamiento, disminuyendo conforme aumenta este. Montagnini (1992), reporta que la combinación con *Erythrina* la entrada de N, P, K por la lluvia fue de 30.0, 3.3, 21.9 kg./ha respectivamente. Esto se debió a que las hojas de esta especie tenían alta concentración de este elemento.

En estudios realizados en Ultisols, se han encontrado que la transferencia de fósforo con residuos de poda (2.5 ton/ha/año), oscila entre 5 y 7 kg. de P/ha/año para las especies de *Inga edulis*, *Gliricidia sepium*, *Erythrina spp.* y *Cassia reticulata*. (Fassbender, 1993).

5.7 Cobertura orgánica (Abono verde, frijol abono, etc.)

Según Holt-Giménez y Pasos (1994), este sistema es una alternativa actualmente promovida por los campesinos del trópico húmedo centroamericano. El frijol abono (*Mucuna pruriens*, *M. deeringiana* y *Stizolobium deeringianum*) llamado Mucuna, Nescafé Pica Pica Dulce, Frijol Terciopelo, etc. son leguminosas con más de 40 años de generación y transferencia "de campesino a campesino" en América Central. Flores (1994), dice que ciertamente es la especie más popular como cultivo de cobertura o abono verde en estos momentos. De hecho una de las preocupaciones actuales es que la mayor atención por parte de la comunidad científica se ha parcializado hacia esta especie, centrando sus estudios hacia la fertilidad en los suelos. La mucuna puede producir alrededor de 30 Ton/ha/año de biomasa, aportando de 90 a 100 kg. N ha/año, y aumentar el humus en ½ pulgada/año sobre los terrenos sembrados.

Melara y del Río (1994) mencionan que el ciclo de la *Mucuna spp.* Puede extenderse hasta 8 meses, pero cuando se realice la siembra, se corta y se incorpora el material vegetal producido 2 ó 3 semanas antes. En suelos con labranza mínima se ha logrado sustituir los fertilizantes de fórmula completa por el uso de la cobertura, pero siempre se ha necesitado de aplicar fertilizantes nitrogenados, debido a que los microorganismos que descomponen la materia orgánica incorporan nitrógeno en compuestos orgánicos insolubles que no son disponibles para las plantas.

5.7.1 Ventajas que presenta el cultivo de cobertura para la fertilidad del suelo

1. Son capaces de agregar cantidades fuertes de materia orgánica al suelo. El frijol terciopelo, produce de 32 a 50 Ton/ha/año de materia verde cada año (Aldunate, 1984). Bunch (1994), manifiesta que con esta materia orgánica, los agricultores han logrado mantener altos los niveles de materia orgánica en el suelo, que a su vez mejoran los contenidos de fósforo orgánico Sánchez (1981). A la vez, estas coberturas son capaces de fijar nitrógeno en el suelo. Por ejemplo, el frijol terciopelo puede fijar hasta 150 Kg. de

N/ha. La combinación de nitrógeno y materia verde, ha permitido que agricultores, puedan cosechar hasta 3 Ton/ha/año de maíz.

Según Salas (1987), el mejoramiento temporal del suelo, debido a la materia orgánica, puede explicarse por la acción de células microbianas.

2. Se integran con facilidad dentro de los sistemas tradicionales de Mesoamérica, que se establecen por lo general en suelos frágiles (Aldunate, 1984; Bunch, 1994).
3. El control de plagas es otra ventaja, que depende de la especie utilizada para cobertura (Aldunate, 1984). Por ejemplo, el frijol terciopelo sirve como nematocida y la canavalia (*Canavalia ensiformis*) para eliminar zompopos. Sin embargo, Melara y del Río (1994), menciona que puede darse un efecto negativo y afectar a organismos benéficos o aumento de organismos nocivos (Bunch, 1994).
4. La posibilidad de mantener altos niveles de materia orgánica en el suelo y minimizar el uso de fertilizantes químicos y herbicidas, puede evitar impactos negativos en la disponibilidad de nutrimentos.
5. Producción de mejor biomasa radicular (Flores, 1994), que además de amarrar el suelo para evitar erosión, proveen una fuente continua de alimento para microorganismos, lombrices y gusanos y otros organismos, generando agregados mucho más estables en los suelos de ladera Salas (1987), ayudando a mantener la estructura del mismo (Montagnini, 1992).
6. El efecto protector de suelo tiene una causa muy influyente en la fertilidad del suelo. Montagnini (1992), menciona que las leguminosas han mostrado gran efecto protector del suelo cuando se les usa como abono verde en el cultivo de café. Reporta que un suelo desnudo pierde una cantidad de 4,349 kg. de suelo/ha, mientras que en las coberturas con leguminosas se pierde en promedio 340 kg. de suelo/ha.

5.8 Rol de las enmiendas orgánicas en la fertilidad de los suelos

Esencialmente son compuestos de origen biológico que se aplican al suelo para mejorar las propiedades físicas y químicas del mismo. El manejo de estos residuos es importantes para conservar o aumentar la fertilidad del suelo, principalmente en suelo muy meteorizados o en zonas tropicales, donde la disponibilidad de elementos como el fósforo es limitada (Sánchez, 1981; Fassbender, 1993; Valdés y Abastida, 1993).

La utilización de residuos como material de cobertura (mulch), no sólo garantiza el reciclaje de nutrientes, sino que también se logran efectos secundarios como la protección del suelo (evitando la insolación, erosión) y el mejoramiento de las condiciones microclimáticas (Soto *et al.*, 1993; Tineo, 1993). Tian (1992b) y Thurston (1994), menciona que la aplicación de mulch presenta efectos positivos tales como la disminución de la temperatura, mejora la retención de humedad y esencialmente intensifica y mejora la actividad microbiana del suelo. Enfatiza que la contribución de la actividad biológica (macrofauna) en la degradación de los residuos de mulch se da mayormente a bajas temperaturas y alta humedad del suelo.

Dentro de los efectos importantes que presentan las enmiendas orgánicas están:

- Almacenar nutrientes, especialmente nitrógeno, fósforo y azufre (Fassbender y Alpizar, 1989).
- Aumentar el intercambio de nutrientes del suelo a la planta (Soto *et al.*, 1993).
- Aumentar la actividad microbiológica. Abawi y Thurston (1994), mencionan que el efecto principal de las coberturas y enmiendas orgánicas es la estimulación de la actividad microbiana en detrimento de patógenos de las plantas.
- Estabilizar la estructura del suelo.
- Aumentar la capacidad de infiltración y almacenamiento de agua (Moreno y Sánchez, 1994; Thurston, 1994).

Además Kass (1989) comprobó que la aplicación de abonos verdes con *Erythrina* tiene mejor resultado que los sistemas en callejones, ya que el aspecto negativo de estos fue la competencia, pero al igual que el mulch es un sistema sostenible.

Tian (1992c), menciona que la salida o disponibilidad de nutrimentos mejora con la aplicación de residuos de plantas o mulch. Determinó que el mulch proveniente de las podas de *Leucaena* tuvieron altos efectos en los incrementos de N, P y Mg disponibles en un 96%, 84% y 50% respectivamente sobre el control. Menciona que las podas de *Leucaena* y *Gliricidia*, contribuyen significativamente en cantidades de nutrimentos a través de altos niveles de éstos y una rápida liberación, aunque la aparente eficiencia de utilización de estas podas son bajas. Por otro lado, reporta que la mayor eficiencia en la utilización de nutrimentos provenientes de residuos de plantas adicionados, se dio con la utilización de podas de *Acioa barteri* que aporta menos nutrimentos y tiene una lenta liberación. Finalmente determina que la "alta calidad" (baja relación C/N, bajo contenido de lignina y nivel de polifenoles) de los residuos de plantas, principalmente mejoran el comportamiento de los cultivos por medio de la contribución directa de nutrimentos, considerando que la "baja calidad" (alta relación C/N, alto contenido de lignina y nivel de polifenoles) en los residuos de plantas se debe principalmente a los efectos en el microclima del mulch, que se asocia con el mejoramiento de la mineralización de la materia orgánica. Tian (1992c), concluye que la eficiencia en la utilización de nutrimentos a través de mulch es alta para las especies con "baja calidad" y baja para las especies con "alta calidad".

5.8.1 La importancia de aplicar estiércol en el suelo

El uso de estiércol es conocido desde tiempos muy remotos y es una práctica antigua en Asia tropical, principalmente en cultivos de arroz inundado (Sánchez, 1981), pero uno de sus problemas es la recolección. Los más usados son los de origen vacuno y aviar. La composición y contenido de nutrimentos varía según la clase de animal, alimentación, edad del material y manejo practicado (Sánchez, 1981; Valdés y Abastida, 1993).

Sánchez (1981), reporta que una cantidad de 5.6 ton/ha/año de estiércol bovino, aumentó los rendimientos de arroz, tanto como lo hizo la fertilización nitrogenada o con fósforo. Todos aumentaron ligeramente el % de carbono orgánico, el nitrógeno orgánico y el fósforo disponible (ppm) del suelo.

En un estudio realizado en un Oxisols de África, donde se cultivó rotaciones de maíz y arroz durante 5 años, la aplicación de 60 ton/ha de estiércol aumentó el carbono orgánico, el nitrógeno orgánico, el calcio intercambiable y la actividad microbológica del suelo, que trajo como resultado un significativo incremento del pH, desde 5.2 sin aplicar nada a 5.7 con aplicación de estiércol (Sánchez, 1981).

Del estiércol de origen vacuno se puede recuperar el 75% del nitrógeno que contiene, el 80% del fósforo, 90% del potasio y 50% del total de materia orgánica que ingiere el animal, pero a causa de volatilización y lixiviación sólo el 33 a 50% del total de nutrientes son asimilables en la producción vegetal (Sánchez, 1981; Valdés y Abastida, 1993).

Por otro lado, Sánchez (1981) reporta que la aplicación de estiércol a largo plazo en suelos de la India mejoró las propiedades físicas en estabilidad de los agregados, la porosidad, conductividad hidráulica, la cantidad de agua disponible, pero disminuyó la densidad aparente en algunos suelos.

5.9 Lombriz de tierra

Las lombrices como parte de la macrofauna del suelo juegan un papel importante en el desarrollo del perfil del suelo, mejorando las propiedades físicas como resultado de la construcción de galerías (Salas, 1987); así como las propiedades químicas y biológicas al ingerir y mezclar el suelo con los desechos de origen animal y vegetal que se incorpora a la materia orgánica del suelo, distribuyéndolos a lo largo del perfil (Lavelle y Swift, 1994).

Tian (1992b), enfatiza que la gran contribución de las lombrices y milpiés en la degradación de los residuos de plantas se da mayormente a bajas temperaturas y/o alta humedad del suelo. Estos efectos benéficos incrementan la mineralización de nutrientes a través de mejorar la actividad microbológica.

Salas (1987), define al tipo de humus producido por la actividad zoogénica, especialmente por lombrices como **mull**, que consiste de sustancias húmicas mezcladas con el suelo mineral. Además menciona el término **moder**, que es un tipo de humus formado por la misma actividad, pero es de descomposición retardada, debido a las características desfavorables que pueda presentar la hojarasca.

5.9.1 Efecto de las lombrices de tierra sobre las características físicas del suelo

Gran parte de los agregados de las capas superficiales del suelo son el resultado del depósito de los excrementos de las lombrices en el perfil. Curry (1986) señala que el grado de estabilidad de los excrementos depende del tipo de alimento, de la especie y de la actividad microbiana que actúa sobre ellos después de ser producidos. Menciona que los excrementos en pasturas superaron a los encontrados en cultivos.

El efecto más visible de la actividad biológica de estos organismos es la excavación de galerías en el suelo, modificando el espacio poroso y mejorando la infiltración de agua, aireación y retención de agua (Lavelle y Swift, 1994). Además, facilita la penetración de raíces en las capas más profundas (Tian, 1992b) y la inclusión de mayor población de microorganismos del suelo, dentro de los macroporos formados (Torres, 1995).

5.9.2 Efecto de las lombrices de tierra sobre la fertilidad del suelo

Lee (1985), describe los mecanismos por medio de los cuales las lombrices de tierra afectan la fertilidad del suelo:

1. Consumo, mezcla y maceración dentro del tracto digestivo Tian (1992b), de los detritus orgánicos e inorgánicos del suelo, trasladándolos a capas más profundas.
2. Aporte de materia orgánica en las capas superficiales del suelo por intermedio de sus excretas (Salas, 1987).
3. Reciclaje de nutrimentos en el sistema suelo-planta-animal por medio de la redistribución de los productos de su metabolismo.

4. Facilita y estabiliza la actividad de los microorganismos del suelo, acelerando los procesos de descomposición (Salas, 1987). Tian (1992b) concluyó que estimulan la actividad microbial a través de mejorar su crecimiento. Enfatiza que la contribución de las lombrices y milpiés en la degradación de los residuos de mulch se da mayormente a bajas temperaturas y alta humedad del suelo.

Las especies detritívoras de lombriz de tierra se alimentan principalmente donde la superficie sea rica en materia orgánica, como el mantillo vegetal o estiércol animal (Torres, 1995). Según Holter (1983), el 50% de la desaparición del estiércol de bovinos durante la época de lluvias se debe a la acción de las lombrices de tierra. Por otra parte, las especies geófagas, ingieren grandes cantidades de suelo y materia orgánica (Lee, 1985), predominando en suelos con pastura tropical. Sin embargo Tian, (1992b), concluye que la magnitud de los efectos de las lombrices y milpiés, depende de la composición química de los residuos de plantas, mulch o estiércol. Los milpiés muestran relativamente un fuerte efecto en la degradación de los residuos de baja calidad (alta relación C/N, lignina y contenido de polifenoles), mientras que las lombrices contribuyen más en la degradación de residuos de alta calidad (con contenidos bajos de lignina). (Tian, 1992c).

La lombriz de tierra es capaz de ingerir materia orgánica del suelo de diferentes fracciones, independientemente del tamaño de las partículas (Torres, 1995). En sabanas húmedas, las lombrices de tierra pueden ingerir anualmente de 1000 a 1250 t de suelo seco/ha/año, que contienen aproximadamente 15 t de materia orgánica. Un pequeño porcentaje de la materia orgánica es digerida y los nutrientes que contiene son retenidos temporalmente, tanto por las lombrices como por la masa microbiana.

Torres (1995), determinó que las pasturas de *Brachiaria brizantha* + *Arachis pintoi*, permiten una mayor densidad y biomasa de lombrices de tierra que las pasturas de gramíneas sola, favoreciendo el ciclaje de nutrientes y las propiedades físicas del suelo.

Edwards y Lofty (1980) demostraron que la actividad de las lombrices de tierra favorece el incremento del volumen radicular de las plantas. Encontraron que la zona de máximo crecimiento y biomasa radicular coincide con la zona de mayor actividad de las

lombrices. Enfatiza que la contribución de las lombrices y milpiés en la degradación de los residuos de mulch se da mayormente a bajas temperaturas y alta humedad del suelo.

Tian (1992b), estima que en varios ecosistemas naturales como praderas, bosques y agroecosistemas, la contribución de las lombrices en la movilización del nitrógenos es del 30%. Según Lee (1985), las lombrices de tierra incorporan nuevamente al sistema suelo-planta productos nitrogenados de la siguiente manera:

1. Por los excrementos: Se estimó que en la especie *Lampito mauritii* la producción de excretas era equivalente a 78 t/ha/año de peso seco, conteniendo 0.47% de nitrógeno.

Fraile (1989), en pasturas de *Cynodon plectostachyus* solas y en asocio con *Erythrina poeppigiana* y *Cordia alliodora*, estimó la producción de excrementos en la superficie del suelo en 4124, 15220 y 14344 kg. de peso seco/ha/año respectivamente. Determinó que los contenidos de materia orgánica y nitrógeno total superaron en un 50% a los del suelo y que las cantidades de fósforo, calcio, potasio y magnesio fueron 2 veces superiores a las del suelo.

2. En la orina y mucoproteínas: Fraile (1989) en Costa Rica, estimó entre 200 y 310 kg. N/ha/año la recirculación de nitrógeno por el mucus de *Pontoscolex corethrurus*. Lee (1985), calcula que de 18-50 kg. N/ha/año ingresan al suelo en forma de amoniaco y urea proveniente de la orina.

3. Tejido muerto: Torres (1995) menciona que el tejido muerto de las lombrices está constituido en un 60-80% de peso seco por proteínas y libera nitrógeno (12%) con la participación de la actividad microbiológica.

Fraile (1989), estimó que el aporte de nitrógeno proveniente del tejido muerto de *Pontoscolex corethrurus* en pasturas de *C. Plectostachyus* fue de 502 kg. N/ha/año y con *E. poeppigiana* fue de 938 kg. N/ha/año.

5.9.3 Factores que afectan la biomasa de lombrices de tierra

Salas (1987) y Fraile (1989), indican que la humedad del suelo son factores importantes para determinar las poblaciones y niveles de actividad de las lombrices de tierra, debido a que sufren estrés alto con la pérdida de humedad corporal (60% de peso/día). En situaciones cuando la temperatura aumenta en la superficie del suelo, las lombrices tienden a penetrar más profundamente en el perfil del suelo, manifestando una reducción en sus actividades metabólicas (guiescencia).

Curry (1986), menciona que la población de lombrices de tierra pueden afectarse por los niveles altos de fertilización nitrogenada superiores a 300 kg. N/ha. Los contenidos de fertilizante pueden alterar el pH en algunos suelos en forma drástica, lo que es otro factor que condiciona la abundancia de lombrices. Torres (1995), describe que las lombrices son escasas cuando el pH del suelo es inferior a 4.0 y que no se encuentran a pH inferiores a 3.5. La mayoría de especies de lombrices se desarrollan en suelos con pH entre 6.8 y 7.0.

Tian (1992b), menciona que manipulando las condiciones ambientales conduce a que la fauna del suelo pueda tener una influencia más profunda en el manejo de los sistemas agrícolas en el trópico húmedo.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Descripción del área de Estudio

El trabajo se efectuó en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza - CATIE -, en terrenos ubicados en el Distrito de San Juan Sur, Cantón de Turrialba, Provincia de Cartago, Costa Rica. Geográficamente está localizado en las coordenadas 83°38' longitud oeste y 09°53' latitud norte y la altitud de la zona es de 950 msnm. (Fig. 1).

6.1.1 Clima

Tomando los datos de la estación meteorológica del CATIE, ubicada a 602 msnm, se reporta que en los últimos 25 años la precipitación media anual fue de 2636 mm y una temperatura media anual de 20.5°C en los últimos 44 años. La zona de vida corresponde a un bosque muy húmedo-premontano (bmh-p) (Holdridge, 1987).

6.1.2 Suelos

Arriaza (1995), señala que se clasifica como Andisol Typic Fulvudand, con mucha materia orgánica. Sin embargo, Kass (1995), menciona que el ISRIC, lo cataloga como un Andisol Acrudoxic Melanudand, es decir, que tiene un régimen de humedad údico, color oscuro por la presencia de materia orgánica, presencia de ácido húmico, y es un suelo muy meteorizado, pobre en bases y con alta saturación de aluminio. Presenta mineralogía mezclada y catalogado como isotérmico.

6.2 Materiales experimentales

6.2.1 Procedimiento General

El presente estudio correspondió esencialmente a la evaluación y comparación de la dinámica del fósforo en dos ciclos de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) con 7 tratamientos, que se describen en el cuadro 2. La evaluación principal del estudio se centró en el análisis específico del fósforo en la masa microbiana del suelo en cada tratamiento..

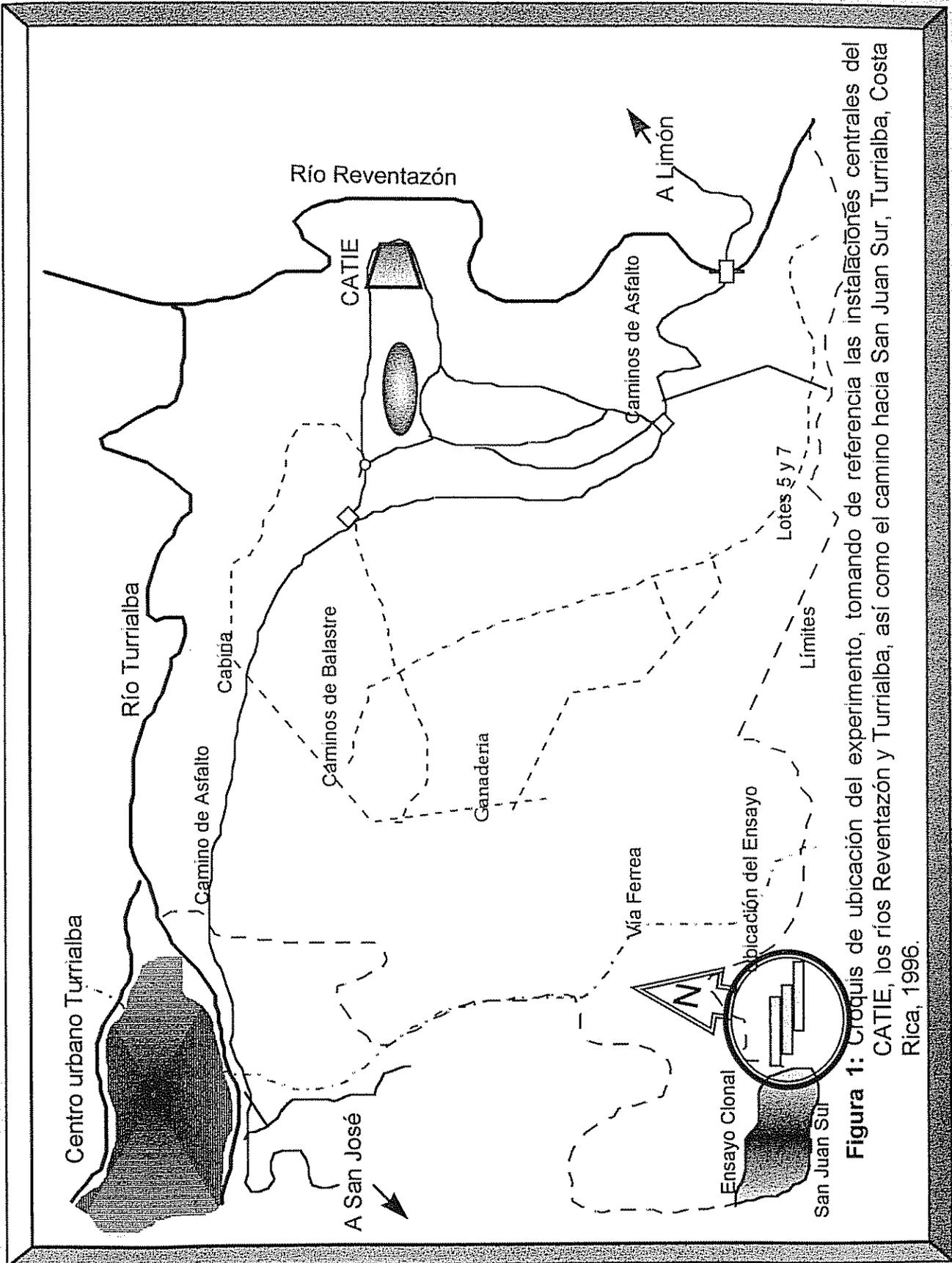


Figura 1: Croquis de ubicación del experimento, tomando de referencia las instalaciones centrales del CATIE, los ríos Reventazón y Turrialba, así como el camino hacia San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica, 1996.

Cuadro 2: Tratamientos evaluados en el ensayo de comparación de la dinámica del fósforo, en cultivo en callejones y coberturas orgánicas en el cultivo de frijol, San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica, 1996.

No.	Tratamiento	Identificación
1	Cultivo tradicional con vegetación natural	Monocultivo
2	Cultivo en callejones - 4 metros entre hileras	CCallejón-4m
3	Cultivo en callejones - 6 metros entre hileras	CCallejón-6m
4	Cultivo con cobertura de mucuna	CMucuna
5	Cultivo con cobertura de mulch de <i>Erythrina berteroana</i>	CMulch
6	Suelo Desnudo	S. Desnudo
7	Cultivo con cobertura orgánica de estiércol bovino	Cestiércol

Fuente: Información de campo.

El tratamiento 6 (suelo desnudo), es el único que permaneció sin cultivarse, para tener un comparador absoluto en relación a la cantidad de fósforo microbial en el suelo, así como en la presencia actividad biológica. Los otros 6 tratamientos se cultivaron con dos ciclos de frijol.

6.2.2 Componente Arbóreo del Sistema de Cultivo en Callejones

La especie arbórea establecida en el sistema en callejones es el clon 2674 de *Erythrina berteroana* Urb. Dicha especie fue plantada en el año de 1993. El ensayo tomó en cuenta dos tratamientos con este sistema, el primero con distanciamientos entre callejones de 4 m y 0.5 m entre plantas y el segundo con distanciamiento de 6 m entre hilera y 0.5 m entre plantas. Se realizaron dos evaluaciones a este componente, una en enero y otra en julio de 1996 (Anexo 1). Cada una de las mismas se realizó en base al formulario siguiente:

Identific Parcela	No. De Árbol	No. De Brotos	Diámetro Basal (m)	Altura Total (m)	Altura del Tocón (m)	Diam Copa Ancho (m)	Diam Copa Largo (m)	Biomasa Total (kg)
A2, A3, ...	1,2, ... 8							

Posteriormente se realizó la poda y el muestreo de los árboles con el fin de determinar la relación hoja-tallo-flor y el porcentaje de materia seca de cada componente (Anexo 2). Para esta actividad se usaron bolsas de papel con cada tratamiento y componente arbóreo muestreado, así como de una balanza (1 kg.) para determinar el peso fresco de la muestra. Seguidamente las bolsas fueron perforadas e introducidas en un horno a 60°C por un periodo de 10 días para asegurar un completo secado y de esa manera pesarlas nuevamente para obtener el dato de peso seco. Para esta actividad se utilizó el formulario que a continuación se describe:

Identific Parcela	No. Árbol	Relación Hoja-Tallo-Flor Peso fresco (kg.) de 8 árboles				Relación Hoja-Tallo-Flor Peso Muestra (kg.) Análisis de Ca, Mg, K, P y N			
		Hoja	Tallo T.	Tallo L.	Flor	Peso Fresco	Peso Seco	Tara	% Mat. Seca
A2, 3,	1,2, 8								

Las muestras secas fueron molidas cuidadosamente, limpiando el molino para evitar la contaminación entre muestras y fueron depositadas en bolsas pequeñas de papel debidamente identificadas. Se realizó el análisis químico foliar y se determinó el porcentaje de calcio, magnesio, potasio, fósforo y nitrógeno. Con estos datos obtenidos se creó una matriz donde se calculó los kg. de cada elemento que aporta cada componente del árbol por hectárea, así como la biomasa verde y seca total que se aporta por hectárea (Anexo 2).

6.2.3 Cultivo de Cobertura

La especie utilizada fue la mucuna (*Mucuna deeringiana* (Bort.) Merr), la cual se estableció dos meses antes de la siembra, a una densidad de 80,000 plantas/ha. La mucuna se cortó una semana antes de la siembra y fue distribuida sobre el terreno (Melara y del Río, 1994). En ambos ciclos de frijol se hizo un muestreo a las parcelas con mucuna (A4, B4 y C4), tomando el peso fresco por m² de 3 submuestras en cada repetición. Al igual que en el componente arbóreo, fueron introducidas en bolsas y en el horno a 60°C por 10 días al final de los cuales se obtuvo el peso seco. El formulario para la recolección de los datos es el siguiente:

No De Muestra	Identificación de la Parcela	Peso Fresco (kg /m ²) submuestra	Peso Fresco (kg) Muestra	Peso Seco (kg) Muestra	Tara (kg.) de la bolsa	% Materia Seca
1, 2, 3	A4, B4, C4					

Se realizó el análisis químico y se determinó el porcentaje de N, P, K, Ca y Mg. Se creó una matriz de calculo donde se obtuvo la cantidad de cada elemento que aporta la mucuna por hectárea, así como la biomasa verde y seca total que se aporta por hectárea. Los cálculos se basan en las siguientes fórmulas:

- $\text{kg. de BVT/ha} = (\text{Submuestra 1} + \text{Submuestra 2} + \text{Submuestra 3})/3 \text{ m}^2 \times 10,000 \text{ m}^2.$
- $\% \text{ Mat. Sec.} = \text{kg. peso seco muestra} / \text{kg. de peso fresco muestra} \times 100$
- $\text{Kg. de Materia Seca Total/ha} = \% \text{ de Mat Sec} \times \text{Kg. de BVT} / 100$
- $\text{Kg. de nutrimento/ha} = (\text{Kg. de MST} \times \% \text{ del nutrimento}) /100$

El porcentaje de nutrimento es el dato proporcionado del análisis químico realizado en el laboratorio.

6.2.4 Cobertura Orgánica con Estiércol

En este tratamiento se utilizó estiércol bovino, aplicado en fresco en cantidades aproximadas de 0.8 kg./m² (325 kg./ciclo de cultivo), distribuidas en el terreno (parcelas A7, B7 y C7) una semana antes de la siembra. Con bolsas plásticas identificadas se tomaron 3 muestras a diferentes niveles de la pila (abonera) y se pesaron en una balanza para determinar el peso fresco de cada muestra. Dichas muestras fueron colocadas en recipientes plásticos (palanganas) para que secan al aire durante una semana, luego fueron introducidas al horno a 60°C durante 10 días y así obtener el peso seco de la muestra. El formulario utilizado en campo para la toma de datos es el siguiente:

No. De Muestra	Identific. Parcela	Área Parc (m ²)	Dosis (kg./m ²)	Dosis (kg /parc.)	Peso Fres. (kg)	Peso Seco (kg.)	Tara (kg)	% Mat. Sec.
1, 2, 3	A7,B7,C7							

Al igual que las enmiendas anteriores fueron molidas y depositadas en bolsas pequeñas de papel, entregadas para análisis químico y determinación del porcentaje de N, P, K, Ca y Mg. Con estos datos se creó una matriz que calculó los kg. de cada elemento que aporta el estiércol por hectárea, así como la biomasa verde y seca total que se aporta. Los cálculos se basan en las siguientes fórmulas:

- $\text{kg. de Estiércol Fresco T/ ha} = \text{Dosis (kg./m}^2\text{) x hectárea (m}^2\text{)}$
- $\% \text{ Mat. Sec.} = \text{kg. peso seco muestra / kg. de peso fresco muestra x 100}$
- $\text{Kg. de Materia Seca Total/ ha} = \% \text{ de Mat Sec x Kg. de BVT / 100}$
- $\text{Kg. de nutrimento/ ha} = (\text{Kg. de MST x \% del nutrimento}) / 100$

El porcentaje de nutrimento es el dato proporcionado del análisis químico realizado en el laboratorio. Paralelamente al muestreo se realizó el transporte y aplicación del estiércol a las parcelas.

6.2.5 Mulch proveniente de una área aledaña sin cultivo

La especie utilizada como mulch fue *Erythrina berteroana*. Esta enmienda al igual que las anteriores fue aplicada dos veces (enero y julio de 1996). Utilizando la misma dosis (0.8 kg./m²), se podaron los árboles que fueron necesarios hasta tener la cantidad de 160 kg. (53 kg./parcela), se pesó con una balanza y se distribuyó. Posteriormente se tomaron 4 muestras (2 de hoja y 2 de tallo) en bolsas de papel identificadas y perforadas, se tomó el peso fresco con una balanza pequeña y se llevaron a un horno con temperatura de 60°C por 10 días, para asegurar el secado y así se obtuvo el peso seco. El formulario utilizado en el campo para la toma de datos fue el siguiente:

No. De Muestra	Ident Parc.	Área (m ²)	Dosis (kg/m ²)	Dosis (kg /parc)	Peso Fres (Kg) Hoja	Peso Fres (kg) Tallo	Peso Sec (Kg) Hoja	Peso Sec (kg)Tallo	% MS Hoja	% MS Tallo

Se realizó el análisis químico y se determinó el porcentaje de N, P, K, Ca y Mg. Se creó una matriz de calculo donde se obtuvo la cantidad de cada elemento que

aporta el mulch de *Erythrina* por hectárea, así como la biomasa verde y seca total que se aporta/ha. Los cálculos se basan en las siguientes fórmulas:

- $\text{kg. de Mulch Fresco T/ ha} = \text{Dosis (kg./m}^2\text{)} \times \text{hectárea (m}^2\text{)}$
- $\% \text{ Mat. Sec.} = \text{kg. peso seco muestra} / \text{kg. de peso fresco muestra} \times 100$
- $\% \text{ Mat. Sec. Tot. Hoja} = 100 \% \text{ M.S.} / (\% \text{ M.S.Tallo} + \% \text{ M.S.Hoja}) \times \% \text{ M.S.Hoja}$
- $\% \text{ Mat. Sec. Tot. Tallo} = 100 \% \text{ M.S.} / (\% \text{ M.S.Tallo} + \% \text{ M.S.Hoja}) \times \% \text{ M.S.Tallo}$
- $\text{Kg. BVT Hoja} = \text{kg. de mulch fresco total} / 100\% \times \% \text{ Mat.Sec Tot. Hoja}$
- $\text{Kg. BVT Tallo} = \text{kg. de mulch fresco total} / 100\% \times \% \text{ Mat. Sec. Tot. Tallo}$
- $\text{Kg. de MST Hoja/ ha} = \text{Kg. BVT Hoja} \times \% \text{ M.S. Hoja}/100$ (idem para tallo)
- $\text{Kg. de nutrimento Hoja/ ha} = (\text{Kg. de MST Hoja} \times \% \text{del nutrimento})/100$ (idem tallo)

6.2.6 Población de lombrices

Como parte de la macrofauna del suelo y como indicador visible de actividad biológica se consideró la población de lombrices. Estas fueron evaluadas dos veces en época de estudio. La primera en marzo, realizando un conteo de individuos en una área de 0.019 m^3 por parcela ($0.25 \times 0.25 \times 0.10 \text{ m}$ por submuestra, Anexo 3), tomando 3 submuestras por parcela, para un total de 63 submuestras (Torres, 1995). La segunda evaluación se realizó en julio, usando el mismo método, pero aumentando la profundidad 0.10 m más ($0.25 \times 0.25 \times 0.20$) y el número de submuestras por parcela a 6, para un total de 126 submuestras y así realizar el conteo de individuos en una área total de 0.075 m^3 por parcela (Anexo 4) (Fraile, 1996)¹.

La recolección en el campo se planificó en el tiempo mínimo posible que causara daño a las lombrices, muestreando una repetición por día, ya que el tiempo de trabajo por cada una fue de 4 a 5 horas continuas con 4 personas. El muestreo se inició marcando el área requerida y cortando el suelo con palas pequeñas, de esa manera se extrajo el bloque ($0.25 \times 0.25 \times 0.20$) completo. Con éste en la superficie,

¹ Comunicación personal, Universidad Nacional de Costa Rica -UNA-

se dividió en secciones, sacando y lavando las lombrices en agua, para eliminar residuos de suelo. Luego, se colocaron en frascos de vidrio con tapa, conteniendo agua para evitar que perdieran peso por deshidratación.

Al finalizar los 6 bloques de cada parcela, los frascos (3 ó 4 por c/u) fueron colocados dentro de baldes con agua fría y bajo sombra, que evitaba la muerte y descomposición de las lombrices (altas temperaturas y falta de sustrato) durante el trabajo en el campo. Luego fueron trasladadas al invernadero, donde se lavaron nuevamente y colocaron en una caja Petri para ser contadas y pesadas. Finalmente fueron seleccionadas 10 lombrices por parcela y colocadas en nuevos frascos, conteniendo alcohol al 70% para que se preservaran y fueran utilizadas en la determinación de su especie, a través del apoyo de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional. El formulario utilizado en el campo fue:

Identific. Parcela	Trats.	No. De Lom. en Muestra	Peso (g) de Muestra	Lombrices por M ²	Lombrices por Ha.	Peso (kg) por M ²	Peso (kg) por Ha.
A1, ... A7	1, 2, ...7						

6.2.7 Manejo del Cultivo

Se utilizó el cultivar de frijol "negro huasteco", por ser la más utilizadas por el agricultor de la zona (Monge, 1989). No se realizó ningún tipo de preparación de suelo en forma mecánica.

La siembra del primer ciclo de frijol se realizó en febrero de 1996, y la del segundo ciclo en julio para obtener los últimos resultados de campo en septiembre. Se realizó en forma manual a una distancia de 0.4 x 0.25 m, colocando 3 semillas por postura. Se hizo un raleo a los 15 ó 20 días después de la siembra para mantener una población adecuada (200,000 plantas/ha) (Arriaza, 1995). En los sistemas de cultivo en callejones, la densidad de plantas fue la misma, sembrando el frijol a una distancia de 0.2 m de la hilera de árboles. El manejo cultural (control de malezas, plagas y/o enfermedades) se realizó cuando fue necesario y se utilizó control químico para plagas. No se utilizaron fertilizantes químicos.

6.2.7.1 Evaluación del cultivo

Se realizó cuando alcanzó su madurez fisiológica, por medio de un muestreo en una área de 3 m² /parcela. En la parte alta de la parcela neta se dejó un surco de borde y el área fue definida de la siguiente forma: en el tratamiento en callejones a 4 metros se tomaron 3 posturas o golpes por surco y un total de 10 surcos para hacer 30 posturas en total, en los demás tratamientos se tomaron 2 posturas/surco y un total de 15 surcos, para completar también 30 posturas en total. En el campo se tomó el número de golpes que tenían plantas y el número de plantas en dicha área (Anexo 5).

El material muestreado fue trasladado al invernadero, donde cada planta fue separada en tallo+hoja, vaina y raíz pesando primero, la biomasa verde total de cada una y después, el peso de una submuestra (solo para tallo+hoja y vaina), colocada en bolsas identificadas. Estas submuestras fueron introducidas al horno a 60°C durante 10 días, para luego obtener el peso seco y molerlas para análisis químico en laboratorio. Con éstas se obtuvo el porcentaje de materia seca y el contenido de fósforo utilizado por la planta. El formulario usado fue el siguiente:

Trats	No. de golpes	No. De plantas	Muestra de Raíz			Muestra de Tallo + Hoja			Muestra de Vaina		
			Peso Fresco	Peso Seco	% MS	Peso Fresco	Peso Seco	% MS	Peso Fresco	Peso Seco	% M. S.
A1...C7											

6.2.7.2 Cosecha final del frijol

El área cosechada en la parcela útil fue de 24 m² (Anexo 6), tomando aproximadamente 240 golpes. El número de parcelas cosechadas fue de 18, ya que en 3 parcelas se tuvieron con suelo desnudo. En campo sólo se tomó como dato el número de golpes o posturas que tenían plantas. Luego se contaron las plantas cosechadas en los 24 m² y secaron. Finalmente se tomaron 12 plantas para calcular los componentes del rendimiento. El formulario utilizado para la toma y análisis de los datos es el siguiente:

Cosecha en la parcela útil					Muestra de 12 plantas					
Trats.	Área útil (golpes)	No. De golpes	No. De plantas	Peso parc (kg)	No. de vainas	No. De granos	Peso de grano (kg)	% de humedad	Rend corregido	Rend Kg/Ha
A1,C7	8 x 30									

6.2.7 Determinación del contenido de fósforo en la masa microbiana del suelo

Se realizaron 3 muestreos de suelo. El primero, en la siembra del primer ciclo; el segundo, en la siembra del segundo ciclo; y el tercero, durante la floración del segundo ciclo del frijol. Los muestreos se hicieron a la profundidad de 0-5 cm, para determinar el contenido de fósforo en la masa microbiana y el fósforo total del suelo, así como la relación que existe entre ambos (Brookes *et al.*, 1982; Brookes *et al.*, 1985).

Cada muestra fue dividida en tres porciones de 1.5 g base seca. A la primera porción se le fumiga con cloroformo (CHCl_3) durante 24 horas a 25°C , a la segunda y tercera porción se incuban aeróbicamente a 25°C durante el mismo tiempo. La primera y segunda porción se extrae con bicarbonato de sodio (NaHCO_3) 0.5 M y la tercera porción se extrae con de NaHCO_3 0.5 M + fósforo (P_i) en forma de KH_2PO_4 equivalente a 25 μg de P/g. de suelo secado al horno (Brookes *et al.*, 1982).

De manera que si "A" μg de P_i /g suelo seco, es extraído del suelo no fumigado, "B" es la cantidad extraída del suelo fumigado, y "C" es la cantidad extraída del suelo no fumigado, pero con aplicación de P_i . Entonces, el contenido de fósforo microbiano es dado por la siguiente ecuación (Brookes *et al.*, 1982; Tate, 1984):

$$\text{P en masa microbiana} = \frac{25 (b - a)}{0.4 (c - a)} = \mu\text{g P/g suelo seco}$$

Dada a la importancia que presenta este componente en el suelo, a continuación se da a conocer en forma detallada toda la metodología utilizada en el análisis:

DÍA 1: Muestreo de suelos

Materiales:

- | | |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Barreno metálico y un alambre de metal. 2. Bolsas plásticas de la medida siguiente: 10x16x100 o de 2 kg. | <ol style="list-style-type: none"> 3. Marcador indeleble para identificar bolsas (tratamiento, profundidad, fecha, nombre). 4. Saco, costal o bolsa de polietileno (usada para el traslado de las muestras). |
|--|--|

Método de muestreo de suelos:

1. Se muestreó la parcela útil en cada tratamiento, con dimensiones de 2 x 22 m².
2. En bolsas dobles identificadas, fueron tomadas 25 submuestras con el barreno a una profundidad de 5 cm. Cada una fue extraída del barreno con la ayuda de un alambre, facilitando el trabajo.
3. Las muestras fueron tomadas en zig-zag a lo largo de la parcela hasta completar las 25 en total y depositadas en la bolsa. El distanciamiento entre submuestra fue aproximadamente de 1 m.
4. Al final se obtuvo 21 muestras completas (7 tratamientos por 3 repeticiones).

Preparación de muestras de suelo para análisis de laboratorio

Materiales:

- | | |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Tamiz con diámetro de 2 mm. 2. Recipientes plásticos (palanganas). 3. Bolsas plásticas. 4. Cepillo plástico. 5. Recipiente para botar residuos de suelo o basura. | <ol style="list-style-type: none"> 6. 21 beakers de 400 ml. 7. Desecadoras o incubadoras de cristal. 8. 100 g de sodalime. 9. Cajas de Petri y 3 beakers de 50 ml. 10. Balanza analítica. |
|--|--|

Método:

1. Se identificó cada uno de los recipientes, bolsas y beakers utilizados.
2. Se tamizó cada muestra de suelo y fue depositada en el beaker correspondiente, cubierto con 1 bolsa plástica (Bowman, 1989). El resto de suelo se colocó en los recipientes plásticos para que se secase al aire.
3. El tamiz fue limpiado entre cada muestra para evitar contaminación.

4. Se pesó en cada beaker aproximadamente 100 g. de suelo húmedo tamizado para el análisis² y se colocaron en las incubadoras, que contenían sodalime en cajas petri y beakers de 50 ml (Brookes *et al.*, 1982). Estas fueron cerradas herméticamente.
5. Se dejó en reposo durante 10 días.
6. Al mismo tiempo, en latas identificadas, se pesó una muestra de suelo por tratamiento y se colocó a 125°C por 24 horas, para determinar el % de humedad.

DÍA 2: Determinación del contenido de humedad del suelo

1. Se tomó el peso de las muestras secadas al horno y se determinó el contenido de humedad del suelo por medio de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de humedad} = \left(\frac{\text{Peso Húmedo} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Húmedo}} \right) \times 100$$

2. Se botó el suelo pesado, se limpiaron las latas para evitar contaminación y se guardaron para repetir el proceso en el día 9.

DÍA 8: Rectificación del contenido de humedad y preparación de materiales, equipo y reactivos para el análisis en la masa microbiana del suelo

Materiales:

1. 21 latas para determinar % humedad
2. Tubos de centrifuga sin tapa y 126 con tapa.
3. 45 beakers de 50 ml
4. Balones de 2 lt, 1 de 1 lt y 1 de 500 ml.
5. Beakers de 1 lt, 1 de 600 ml, 1 de 300 ml.
6. Agitadores magnéticos.
7. 3 Espátulas.
8. 2 Embudo grande.
9. Tapones o papel parafilm.
- 10.8 Goteros.
11. Frasco color ámbar para H₂SO₄.
12. Embudo de separación.

Equipo:

1. Cámara de fumigación.
2. Gradillas con capacidad de 40 tubos
3. Un agitador eléctrico.
4. Centrifugas con capacidad de 16 tubos.
5. Balanzas analíticas (0.000 g.)
6. Medidor de pH (de bolsillo).
7. Dispensador de vidrio.
8. Pipeta dosificadora (0-5 ml)
9. Micropipeta dosificadora (0.05 - 0.20 ml)

² Cantidad de suelo necesario para el análisis químico = 2 g. de suelo seco x 3 fracciones a ser evaluadas (CHCL₃, no fumigado y no f

Método:

1. Se preparó la cantidad de 252 tubos necesarios para el análisis, 126 con tapa y 126 sin tapa (7 trats x 3 fracciones x 3 repeticiones de campo x 2 repeticiones de lab) con el fin de evitar contaminación con las otras muestras. La preparación consistió en colocar los tubos en gradillas, luego de sacarlos del HCl o de jabón libre de fósforo, de hacerle lavados cuantitativos con agua de tubo y agua destilada y de secarlos e identificarlos claramente (esto puede realizarse en el día 8).

Los 126 tubos sin tapa se alistaron para recibir las muestras agitadas y centrifugadas.

2. De igual manera de prepararon 42 beakers de 50 ml donde fue colocada la fracción de suelo (2 g.) sometida a la fumigación con cloroformo. Posteriormente fue preparada la cámara de fumigación.

3. Preparación de NaHCO₃, 0.5 M. En el método original de Brookes *et. al*, (1982), se utilizan 200 ml. de NaHCO₃ para una muestra de 10 g. de suelo seco. En este caso, se utilizaron 1.5 g. por lo que la cantidad de NaHCO₃ que se necesitan es de 30 ml/fracción. El cálculo para la cantidad total que se requiere es la siguiente:

$$30 \text{ ml/fracción} \times 3 \text{ fracciones} \times 2 \text{ repeticiones de lab} \times 21 \text{ muestras} =$$

$$3780 \text{ ml de NaHCO}_3 \text{ (se prepararon 4.5 Lts)}$$

Entonces con el peso molecular del NaHCO₃, se obtiene: 84.01 g/2 Lt x 4.5 Lt =

$$189.022 \text{ g de NaHCO}_3 \text{ necesarios para las muestras (Bowman, 1989).}$$

Con una espátula se tomó 84.01 g. de NaHCO₃ para ser disueltos con agua destilada en 1 beaker de 2 Lt. Se usó el agitador magnético, para disolver y facilitar el trabajo, repitiendo el proceso 2 veces. Se corrigió el pH con NaOH y fueron depositados en los balones aforados de 2 lts³, y tapados con papel parafilm (Bowman, 1989; Brookes *et al.*, 1985).

³ Es importante mencionar que los volumétricos fueron lavados con HCl y secados al aire. Nunca hay que ponerlos a secar al horno, ya que habría necesidad de recalibrarlos nuevamente.

4. Preparación de NaOH, 4 N; 0.1 N. Conociendo el PM = 40 peq/lit, se necesitarían 40 g. para preparar 1 Lt de solución a 1N. De manera que se requirió de 160 g para preparar 1 Lt de solución 4 N y 4 g para una solución 0.1 N (Hedley *et al.*, 1982)

Con la balanza analítica y una espátula se pesaron 160 y 4 g. de NaOH, que se disolvieron con agua destilada en beakers plásticos (el vidrio reacciona con el NaOH cuando calienta en la solución) de 500 ml, utilizando el agitador magnético para agilizar el trabajo, luego las soluciones frías se depositaron en balones de 1 Lt

5. Ajuste del pH. Con las dos soluciones anteriores (NaOH 4 N y 0.1 N), se ajusta el pH del NaHCO₃ a 8.5. Se colocó el beaker de 2 lts sobre el agitador magnético, luego se colocó el medidor de pH en la solución y se colocó NaOH hasta que éste indicó un pH de 8.5 (Brookes *et al.*, 1982; Brookes *et al.*, 1985).

6. Preparación del cloroformo libre de etanol a ser utilizado en la fumigación:

- Preparar 500 ml de una solución de H₂SO₄ al 5%, de la siguiente forma:
 - ◆ Observar las especificaciones del frasco. La concentración del cloroformo es del 96.6% y la densidad aparente es de 1.84.
 - ◆ Se calcula lo siguiente:

$$5 \text{ ml } [H_2SO_4]/100 \text{ ml de solución} * 500 \text{ ml de sol.} = 25 \text{ ml de } [H_2SO_4].$$
 Necesita 100 ml del Ácido/96.6 ml [H₂SO₄] x 25 ml [H₂SO₄] = **25.88 ml** de la solución del ácido es la que se debe usar para los 500 ml de solución final.
- Primero se llenó un beaker con 300 ml de agua destilada (de lo contrario la reacción del H₂SO₄ es fuerte)
- Se aplicó el H₂SO₄ con un dispensador de vidrio (4 veces marcando 6 ml y 1 vez marcando 2 ml.
- Se depositó en 1 volumétrico de 500 ml y se aforó al volumen.
- Luego se mezcló en partes iguales el CHCl₃ + H₂SO₄ en un embudo de separación, se agitó y se fue separando el etanol del cloroformo. Se sacó el cloroformo y se lavó el embudo con agua destilada hasta obtener solo cloroformo. Finalmente se guardó en un frasco color ámbar.

7. Preparación de la solución de Pi a base de KH_2PO_4 :

Brookes *et al.* (1982), recomendó la adición de 25 $\mu\text{g/g}$. de suelo seco. El aplicó 250 μg porque uso 10 g de suelo seco en su ensayo. Para este estudio se utilizó 37.5 μg Pi/1.5 g de suelo seco (Brookes *et al.*, 1982; Brookes *et al.*, 1985).

Brookes *et al.* (1982) aplicó 1 ml de KH_2PO_4 conteniendo 250 μg P, en 200 ml de la solución extractante (NaHCO_3). Como esta solución lleva una proporción de 20 ml/g, la cantidad aplicada a cada tubo fue:

1 ml KH_2PO_4 /200 ml de sol. x 30 ml de sol. = **0.15 ml de KH_2PO_4** conteniendo 37.5 μg Pi debe aplicarse a cada tubo al que le corresponde esta fracción.

Sabiendo que el KH_2PO_4 debe tener una masa 0.250 g de P/lit, entonces se calculó la cantidad de sal a pesar, así:

$$0.250 \text{ g de P / Lt} \times \frac{136 \text{ g / mol (KH}_2\text{PO}_4\text{)}}{31 \text{ g / mol (P)}} = 1.0968 \text{ g de sal (KH}_2\text{PO}_4\text{)/lit.}$$

8. Preparación del indicador de cambio de pH. Se pesó 0.4 gr. de P-nitrofenol y se diluyeron en 100 ml de agua destilada. Esta solución se mantuvo bajo refrigeración para evitar su descomposición (Hedley *et al.*, 1982).

9. Se prepararon 2 litros de REACTIVO A de la siguiente forma:

Se pesó en un papel (weighing paper) 12 gramos de molibdato de amonio ($[(\text{NH}_4)_6 \text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$) y fue transferido a un balón de 2 litros y diluido en 200 ml de agua. En seguida, se pesó 0.291 gramos de tartrato de potasio y sodio ($\text{KNa} \cdot \text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$) en un becker de 250 ml y se disolvió en agua. Se trasladó esta última solución para el balón que contenía el molibdato de amonio. A estos 2 reactivos, añadir 1 litro de una solución de H_2SO_4 5 N. Añadir 0,5 litros de agua, mezclar en un agitador magnético. Sacar el imán del balón y completar el volumen de 2 litros con agua destilada (Anderson e Ingran, 1992; Hedley *et al.*, 1982).

10. Preparación del REACTIVO B: Se pesó en un papel (weighing paper) 10,56 gramos de ácido ascórbico y se transfirió a un balón de 2 litros y se añadió 2 litros del Reactivo "A" mezclando bien para disolver el ácido ascórbico⁴ (Hedley *et al.*, 1982).

11. Preparación de H₂SO₄, 2.4 N: Basado en el peso molecular, se preparó 1.5 Lt de solución (1400 ml de agua destilada + 100.5 ml de H₂SO₄). Para la misma se utilizaron 1 volumétrico de 1000 y uno de 500 ml con un poco de agua (evita una reacción muy fuerte con el ácido) y una probeta para medir el ácido.

Día 9: Preparación de las muestras de suelo en las fracciones a ser evaluadas

Método:

1. Se pesó aproximadamente 2 g. de suelo fresco de las incubadoras, en cada beaker (21 muestras x 2 rep de lab.) (Brookes *et al.*, 1982; Brookes *et al.*, 1985).
2. Los 42 beakers fueron colocados dentro de la cámara de fumigación. Además, se colocaron 2 cajas de petri con 15 ml de cloroformo cada una, se cerró y con una bomba de vacío se sacó el todo el aire, que fue sustituido por el cloroformo durante 24 horas (Brookes *et al.*, 1982; Marumoto *et al.*, 1982; Brookes *et al.*, 1985).
3. Se pesó 2 g. de suelo fresco (dependiendo del % de humedad) en cada tubo, dejando 42 tubos vacíos, que corresponden a las muestras fumigadas con cloroformo en la cámara. Estos tubos con suelo fueron incubados por 24 horas a temperatura ambiente (25°C), protegidos con plástico para evitar contaminación.
4. Se realizó una rectificación en el contenido de humedad del suelo, para comparar la variación con el % de humedad obtenido en el día No.1. Para esto, se prepararon nuevamente las 21 latas con peso conocido y se les colocó 20 g. de suelo (de los

⁴ Esta solución tiene que ser preparada solamente en el día que se va ocupar. El restante que queda debe ser guardado en un refrigerador.

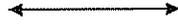
beakers que estaban en las incubadoras), se colocaron a 125°C por 24 horas y se determinó el % de humedad de las muestras, para tomar con precisión la cantidad de suelo seco necesaria para el análisis.

DÍA 10: Determinación del contenido de fósforo en las 189 muestras de suelo

Materiales:

1. Dispensador de vidrio de 10 ml.
2. Gradillas de madera.
3. Papel filtro No. 42 con diam. de 125 mm.
4. 189 Embudos pequeños o proporcionales al tamaño de tubo de centrifuga (50 ml).
5. Goteros plásticos, papel toalla.
6. Alcohol y marcador permanente.
7. 189 volumétricos de 50 ml

Equipo:

1. Agitador eléctrico con movimiento horizontal. 
2. Centrífugas, capacidad de 16 tubos c/u.
3. Pipeta dosificadora (1 - 5 ml).
4. Pipeta dosificadora (0.01 - 0.2 ml)
5. Puntas para pipeta (1 - 5 ml)
6. Puntas para pipeta (0.01 - 0.2 ml)

Método:

1. Se descomprimió la cámara de fumigación y se dejó aproximadamente 1 hora para que saliera todo el cloroformo. Durante ese tiempo se utilizó la bomba de vacío para sacar el cloroformo que aún estaba en el aire y en el suelo.
2. Se sacaron los 42 beakers fumigados y el suelo fue depositado cuidadosamente en sus respectivos tubos con tapa. Con espátulas metálicas se tuvo el cuidado de no dejar nada de suelo en el beaker (Brookes *et al.*, 1982; Brookes *et al.*, 1985).
3. A todos los tubos con suelo se aplicó 30 ml de NaHCO_3 , con pH de 8.5 con un dispensador calibrado a ese volumen. A los tubos que les corresponde la fracción de P_i , se aplicó el NaHCO_3 y con una micropipeta se adicionó 0.15 ml de la solución de KH_2PO_4 , conteniendo 37.5 μg de P, luego se cerraron con la tapa.
4. Se agitaron todos por 1 hora y luego se centrifugaron por 10 minutos, con el fin de dejar el extracto sin partículas de suelo.

5. Con la pipeta dosificadora se tomó una alícuota de 15 ml de cada tubo y fue depositada en cada uno de los 126 tubos sin tapa. En los análisis 1 y 2 (enero y julio) no se tomó la alícuota, sino que se trasvasó el extracto completo a los tubos.
6. Se adicionó 5 ml de H_2SO_4 , 2.4 N, con el fin de que precipitara la materia orgánica del suelo y el extracto tomara un color más claro (amarillo claro). En este paso se tuvo el cuidado de depositar mililitro por mililitro, ya que la reacción del H_2SO_4 es violenta y expulsa espuma si éste se aplica muy rápido. En los análisis 1 y 2 se adicionó 7 ml, ya que la cantidad de extracto fue aproximadamente de 30 ml (Brookes *et al.*, 1982; Hedley *et al.*, 1982; Brookes *et al.*, 1985).
7. Se agitaron por 5 minutos (agitador horizontal) y luego se dejaron en reposo por 10 minutos para que reaccionara el ácido con la materia orgánica de las muestras.
8. Se centrifugaron todas las muestras por 10 minutos. Al mismo tiempo se calibró la pipeta pesando 5 ml de agua (pesaron 5 g.), ya que la densidad del agua es 1. Con esto se comprobó que el volumen tomado fue adecuado (desviación de 0.003).
9. Se tomó una alícuota de 10 ml y se colocó en volumétricos de 50 ml. En los análisis 1 y 2 la alícuota fue de 20 ml, pero el color fue más amarillo, por lo que se consideró otro factor de dilución. (descrito en el paso 5). Dependiendo del tipo de suelo es necesario hacer pruebas con los tratamientos que se considere *a priori* con más contenido de P, para determinar si la alícuota a tomar debe ser mayor o menor y de esa manera obtener una lectura de absorbancia adecuada.
10. Se aplicó a cada volumétrico 2 gotas de P-nitrofenol, que funciona como indicador de cambio de pH, aumentando el tono a un amarillo muy fuerte conforme sube el pH. Es importante mencionar que siempre debe aplicarse antes que el NaOH, de lo contrario el indicador no vira de color y no se sabe cuando cambio el pH.
11. Se corrigió el pH de todas las muestras a un nivel de 5.5 - 6.0, utilizando 3 concentraciones de NaOH (4 N, 0.1 N y 0.1 N diluido). Al inicio cada muestra tuvo

un pH muy ácido (0.98), se le aplicaron en " promedio " 8 gotas de NaOH 4N + 18 gotas de NaOH 0.1 N + 7 gotas de 0.1 N diluido, hasta que se observó un color anaranjado muy pálido. Cuando se observó un color anaranjado fuerte y con precipitados del mismo color, significó que el pH salió del ámbito deseado. En ese caso, se aplicó 1 ó 2 gotas de H₂SO₄ 2.4 N, para bajar el pH y ajustarlo nuevamente con NaOH 0.1 N. Es importante realizar lavados con agua destilada, para que el NaOH se queda en la pared del volumétrico reaccione y cambie de color.

12. Se aplicó 7 ml de reactivo de color (reactivo B), con el propósito de observar la coloración azul en la muestra, que indicó el contenido de fósforo en los tratamientos. Finalmente se les aplicó agua destilada hasta aforarlos, se colocaron tapones, se agitaron manualmente y se dejaron en reposo durante la noche para que reaccionaran.

13. Paralelamente a la preparación de las muestra se prepararon patrones, que son comparadores compuestos con la misma solución matriz y con 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.6 ppm de P, sin suelo. El objetivo fue para comparar las muestras y para elaborar una curva homosedástica y de esa manera calcular por regresión lineal la cantidad de PPM de cada muestra, dependiendo de la lectura en el espectrofotómetro, que debe estar a una longitud de onda de 830 nm.

14. El espectrofotómetro debe encenderse por lo menos 1.5 horas antes de las lecturas, para que las mismas sean más estables. Es importante que después de cada 10 muestras, se realice una lectura con agua destilada, la cual debe dar un valor de 0.000.

6.2.8 Diseño del Experimento

El diseño utilizado fue el de bloques completos al azar con 7 tratamientos, cada uno con 3 repeticiones. Cada bloque depende de la pendiente promedio del área, por lo que el bloque "A" fue establecido en terreno con pendiente de 35%, el bloque "B" con pendiente de 25% y el bloque "C" con pendiente de 15% (Figura 2, pag. 50).

Los tratamientos evaluados ya fueron descritos en forma resumida en el cuadro 2.

Las unidades experimentales estuvieron representadas por parcelas con las dimensiones siguientes: para los tratamientos sin árboles fueron de 3 x 22 m y para los tratamientos con árboles de 7 x 22 m. La parcela útil fue en ambos casos de 2 x 22 m.

6.2.8.2 Modelo y Análisis Estadístico

El análisis estadístico principal se realizó utilizando el modelo correspondiente al diseño de bloques completos al azar, que a continuación se describe:

$$Y_{ij} = \mu + B_j + T_i + e_{ij}$$

donde:

Y_{ij} = Variable aleatoria observable.

μ = Media General.

B_j = Efecto del j-ésimo bloque.

T_i = Efecto del i-ésimo tratamiento.

e_{ij} = Error aleatorio, independiente de T y B (Oñoro, 1995; Steel & Torrie, 1988).

Cuadro 3: ANDEVA utilizado en el ensayo de comparación de la dinámica del fósforo usando cultivo en callejones y coberturas orgánicas en frijol, San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica, 1996.

Fuente de Variación	G. L.	S. C.	C. M.	Fcal
Bloques	b - 1	$(\sum R_j^2/T) - FC$	SCBI/GLBI	CMB/CME
Tratamientos	t - 1	$(\sum T_i^2/R) - FC$	SCTr/GLTr	CMT/CME
Error	(b - 1) (t - 1)	Diferencia	SCE/GLE	
Total	(r x t) - 1	$\sum \sum Y_{ij}^2 - FC$		

r = número de repeticiones.

t = número de tratamientos.

b = número de bloques.

FC = Factor de corrección (Steel & Torrie, 1988).

La comparación de medias se realizó a través de la prueba de amplitud múltiple de Duncan, así como se determinaron correlaciones entre las variables evaluadas, enfatizando principalmente con el contenido de fósforo en la masa microbiana, contribución por parte de las enmiendas al rendimiento de frijol y extracción de nutrimentos del suelo por parte del cultivo.

En la etapa de cálculos iniciales, se realizaron análisis de regresión lineal en la determinación de fósforo en la masa microbiana y total del suelo. Este análisis de regresión provino de los datos de PPM y valores de absorvancia en los patrones evaluados para cada uno de los 3 análisis de fósforo microbial y fósforo total. El valor de absorvancia se obtuvo por medio de la lectura en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 830 nm al final de cada análisis.

Con el modelo de regresión obtenido, se realizó el cálculo de PPM, en hojas electrónicas vinculadas, de las 189 muestras leídas al final de cada análisis. Finalmente, con el uso de estequiometría química se determinó el contenido de P (mg/kg.).

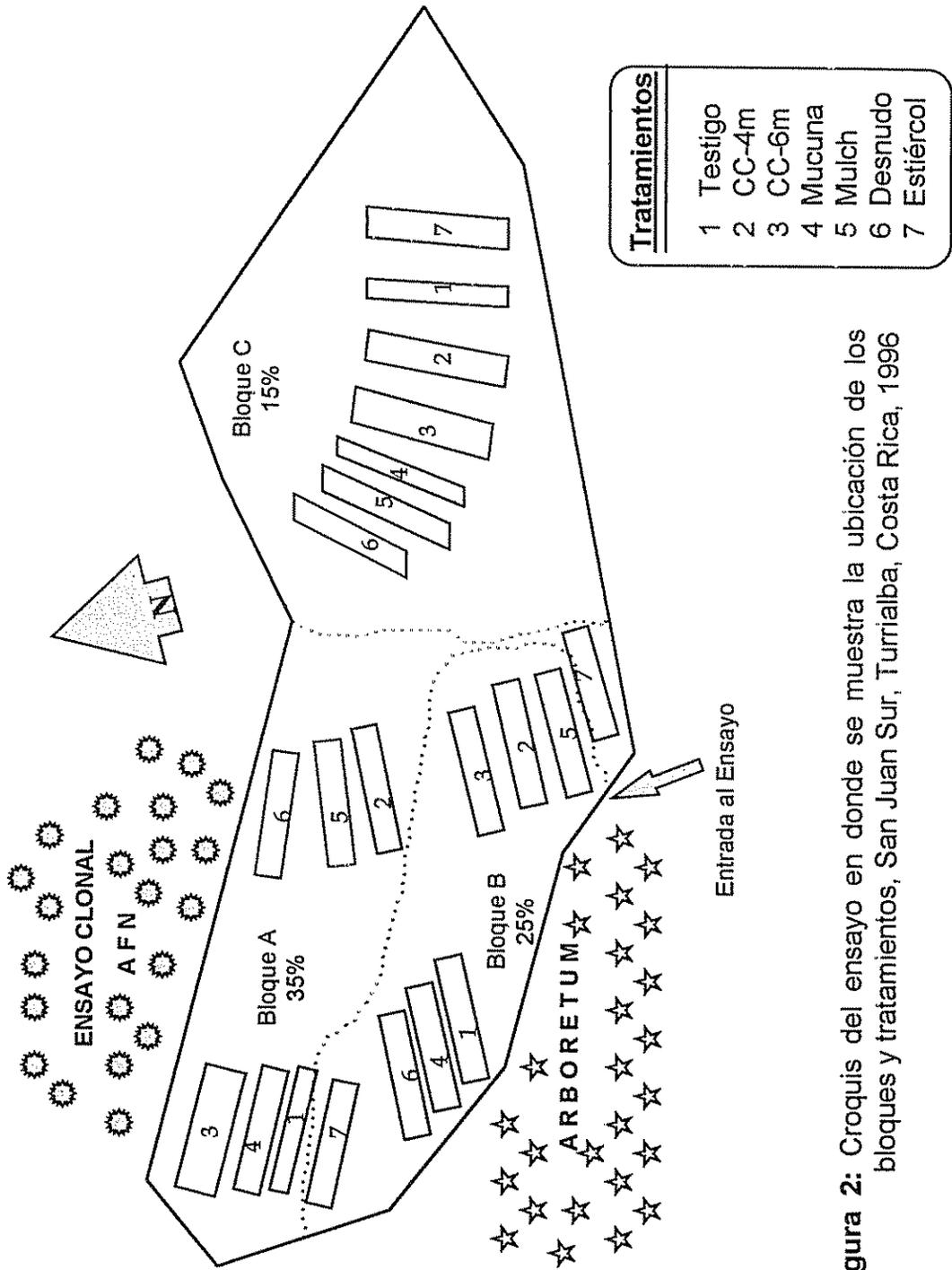


Figura 2: Croquis del ensayo en donde se muestra la ubicación de los bloques y tratamientos, San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica, 1996

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Incorporación de biomasa por las enmiendas orgánicas aplicadas

Por lo visto, desde hace años la especie arbórea ha sido afectada negativamente en su desarrollo, dando como resultado una baja altura total de la planta (1.8 m en promedio), reducido diámetro de la copa a lo ancho y a lo largo (1.5 m y 1.05 m respectivamente) del callejón, pocos rebrotes por árbol (7), y cuando algunos árboles presentaban mayor número de rebrotes, éstos fueron de poca longitud (Anexo 1).

Estas características del crecimiento se reflejaron en una baja producción de biomasa, que fue muy similar en ambas evaluaciones (Anexo 2). Es así, como lo menciona Russo (1983), que podando cada seis meses los árboles de *Erythrina*, no alcanzan su máximo potencial de producción de biomasa. En la figura 3 se muestra la producción de biomasa verde total y la de materia seca en los sistemas de evaluados.

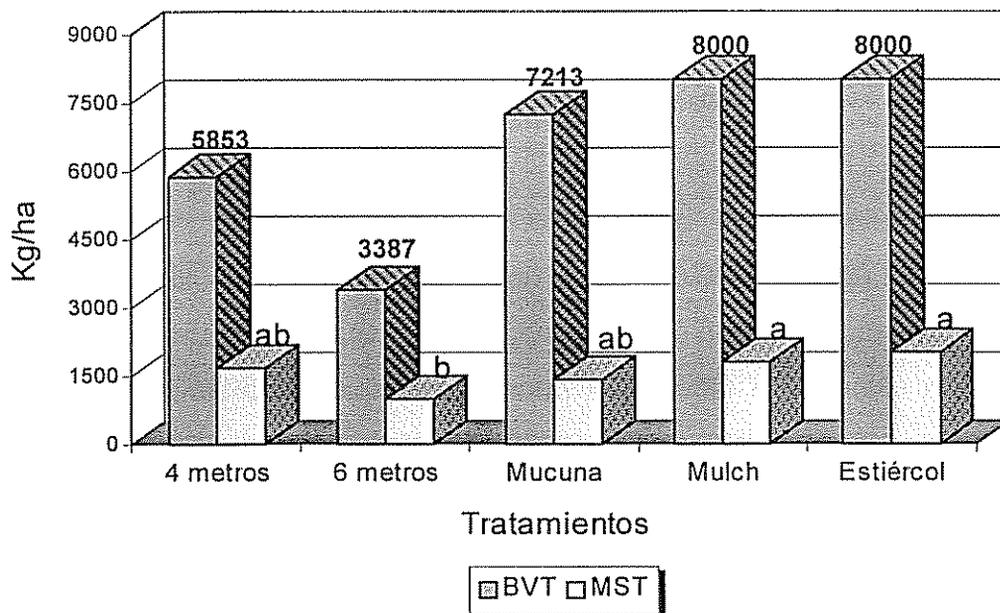


Figura 3: Producción de biomasa verde y materia seca total en los sistemas en callejones y enmiendas aplicadas, San Juan Sur, Costa Rica, 1996. (Valores seguidos con la misma letra no difieren significativamente, prueba Duncan al 5%).

El análisis de varianza presentó diferencias significativas ($p < 0.05$), para el contenido de materia seca total (Anexo 7 y 8). Los tratamientos mucuna y mulch, fueron los que se comportaron más estables en sus promedios de materia seca. Sánchez (1981); Fassbender (1993) y Valdés y Abastida (1993), reportan que las enmiendas conservan la fertilidad en los suelos meteorizados del trópico. Kass (1989), determinó que los abonos verdes son más eficientes que los callejones, ya que existe menor competencia entre nutrimentos.

En el caso del mulch, es una enmienda *ex situ* o sea que su contenido se mantiene fijo en cada aplicación. En un estudio realizado en Centroamérica, Bunch (1994), menciona que la mucuna (enmienda *in situ*) tiene un alto aporte de materia orgánica en el suelo y alta producción de biomasa radicular (Flores, 1994), alimento para microorganismos capaces de producir fosfatasas, nucleidasas y fitasas, haciendo más eficiente esta especie en suelos con problemas de fósforo. El estiércol fue estadísticamente igual, pero técnicamente puede variar en el tiempo, dependiendo de la dieta del ganado o del tratamiento que se le de a la abonera (Valdes y Abastida, 1993).

7.2 Rendimiento del frijol

El análisis de varianza para rendimiento mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0.01$) con un $R^2 = 0.91$ (Anexo 9). Al igual que Arriaza (1995), usando la prueba de Duncan, el análisis mostró que el rendimiento del testigo fue inferior a los cultivos con coberturas, pero no detectó diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) con los tratamientos de cultivo en callejones.

En la figura 4 se muestra que los mejores rendimientos se obtuvieron con mulch (962 kg./ha) y mucuna (868 kg./ha); el testigo con 442 kg./ha, fue superado significativamente ($P < 0.05$) por éstos en un 217% y un 196% respectivamente.

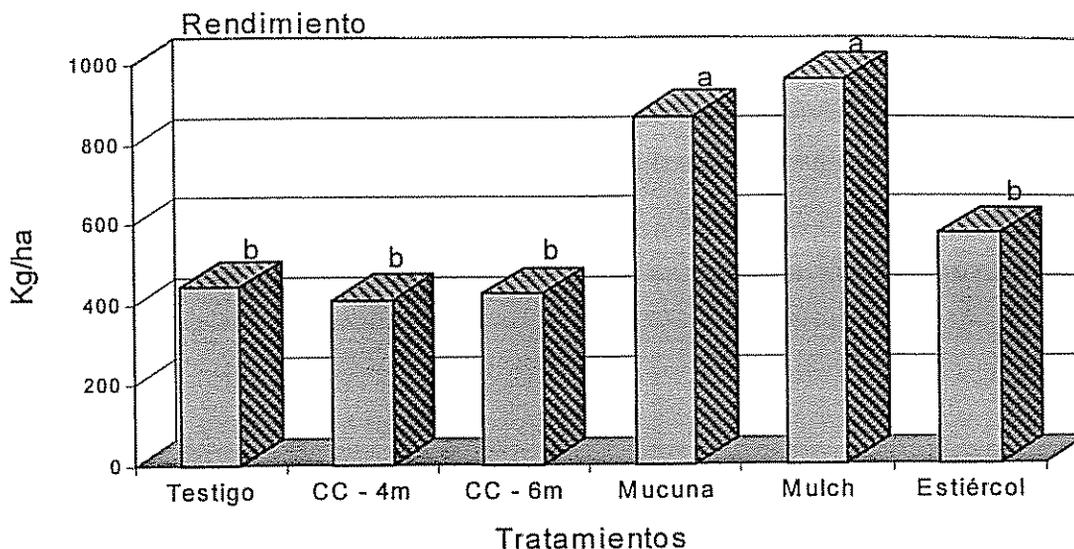


Figura 4: Rendimiento de frijol. San Juan Sur, Costa Rica, 1996. (Medias seguidas con la misma letra no difieren significativamente, por la prueba Duncan al 5%).

En la comparación entre grupos de tratamientos (contraste ortogonales), los sistemas utilizando coberturas mostraron promedios más altos, superando a los sistemas en callejones y testigo. Además, no hubo diferencias significativas ($P > 0.05$) entre el testigo y el resto de los tratamientos. En el cuadro 4 se presentan los valores de componentes de rendimiento evaluados en la cosecha.

Cuadro 4: Muestreo y evaluación de componentes de rendimiento del frijol, San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica, en el periodo febrero - mayo/96.

Cosecha parcela útil (24 m ²)			Muestra 12 plantas			Rendimiento Final kg./ha
Trats.	No.plantas por Ha.	Peso Parc kg	No.Vainas	No.Grano	Peso de grano (kg.)	
Testigo	123,333 a	1.28	72 b	357	0.07	571.57 b
CC-4m	101,666 b	0.88	71 b	361	0.07	407.81 b
CC-6m	95,833 b	0.93	61 b	334	0.06	423.15 b
Mucuna	140,416 a	1.93	90 a	498	0.10	867.67 a
Mulch	122,500 a	2.08	113 a	634	0.14	961.55 a
Estiércol	97,083 b	0.98	62 b	335	0.06	441.80 b

Valores seguidos por la misma letra no difieren significativamente por la prueba de Duncan a $P = 0.05$.

En el cuadro 4 se observa que el rendimiento en los callejones se vio afectado por el número de plantas cosechadas, 75% en relación a los tratamientos con coberturas, así

como por su vigor, que no compensó con mayor producción por planta (6 vainas/planta), 60% en relación con las coberturas (9-10 vainas/planta) (Anexo 6). Kass (1989), determinó que en los callejones existe mayor competencia por los nutrientes disponibles en comparación con los abonos verdes (*mucuna*). El mulch, como se indicó antes es una enmienda que proviene fuera de la parcela, por lo que no compite por nutrientes. Soto *et al.*, (1993), menciona que las enmiendas aumentan el intercambio suelo-planta; el N, P, y S son almacenados en mayor cantidad (Fassbender y Alpizar, 1989).

Los rendimientos superiores que se han mantenido con las coberturas orgánicas se deben a una mejor recirculación (Szott y Kass, 1994), y disponibilidad de nutrientes, regulación de temperatura, humedad y mejoramiento de la actividad microbiana. La regulación de la temperatura es un aspecto importante en regiones tropicales, donde se ha comprobado que en suelos sin cobertura, los rendimientos bajan, debido a daños por las fuertes lluvias y altas temperaturas del día que afectan su productividad .

La media de rendimiento en este periodo fue de 613 kg./ha, que representa un 47% (1324 kg./ha) de lo que reporta Arriaza, (1995); un 41.3% (1484.89 kg./ha) de lo reportado por Tineo (1993) y un 85% de lo que reporta Monge (1989), para la región atlántica de Costa Rica. Esta reducción del rendimiento en el tiempo, utilizando casi siempre los mismos tratamientos, probablemente se deba a la disminución de la fertilidad natural del suelo, a pesar de que Tineo (1993), aplicó fósforo en forma de fertilizante químico, que influyó notablemente a aumentar el rendimiento en ese periodo.

7.3 Dinámica del fósforo

7.3.1 Fósforo en la masa microbiana

El análisis de varianza solo presentó diferencias significativas ($P < 0.05$) para el fósforo de la masa microbiana en la tercera evaluación de los tratamientos (Anexos 10 y 11), donde el sistema en callejones a 6 metros resultó ser el mejor, seguido por el tratamiento con mulch. Los resultados de las 3 evaluaciones realizadas se presentan en el cuadro 5.

Cuadro 5: Contenido de fósforo en la masa microbiana del suelo (ppm), San Juan Sur, 1996. (Valores seguidos con igual letra no difieren significativamente, Duncan a P=0.05).

Tratamientos	Masa Mic-1	Masa Mic-2	Masa Mic-3
• Callejones a 6 metros	65.25 a	71.21 a	68.40 a
• Mulch de <i>Erythrina</i>	54.18 a	67.72 a	61.42 a
• Estiércol bovino	44.40 a	62.73 a	49.65 ab
• <i>Mucuna deeringiana</i>	58.26 a	60.97 a	48.60 ab
• Callejones a 4 metros	56.26 a	54.16 a	61.33 a
• Testigo (solo cultivo)	50.22 a	52.09 a	57.13 ab
• Desnudo (sin cobertura)	33.13 a	42.27 a	30.71 b

El comportamiento en los callejones se debe a que la *Erythrina* deposita constantemente hojas en el suelo, con una alta eficiencia en la descomposición, que libera los nutrientes en forma gradual (Tian, 1992c), favoreciendo continuamente a la actividad microbológica y la producción de enzimas (fosfatasas, fitasas) (Kang, 1994). En el mulch y la mucuna, solo se hacen 2 aplicaciones en un momento dado, con aportes altos de nutrientes, que no se reflejan de inmediato en el aumento de actividad microbial, pero influyen directamente en el desarrollo del cultivo.

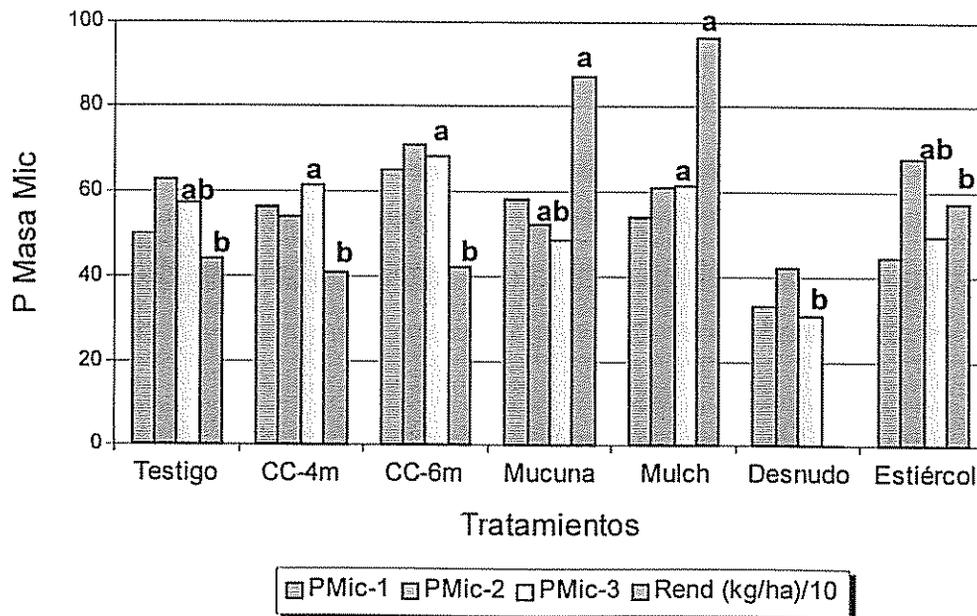


Figura 5: Comportamiento del contenido de fósforo en la masa microbiana; y el rendimiento de frijol, San Juan Sur, Costa Rica, 1996.

7.3.2 Fósforo en el suelo

En relación a esta variable, únicamente se analizó el contenido de fósforo total, con el objetivo de determinar, cual de los tratamientos lo ha mantenido en mayor cantidad que según Hedley *et al.* (1982), varía con el tipo de suelo (efecto de adsorción). Para fósforo total sólo se realizó un análisis, dado a que el contenido no varía significativamente en el tiempo de duración del estudio (cuadro 6).

Cuadro 6: Contenido de fósforo total en los tratamientos evaluados. San Juan Sur, Costa Rica, 1996. (Valores seguidos con la misma letra no difieren significativamente, prueba Duncan $P = 0.05$).

Tratamientos evaluados	mg/kg. (promedios)
1. Mucuna	1394.9 a
2. Mulch de <i>Erythrina</i>	1393.8 a
3. Desnudo	1348.4 a
4. Testigo	1238.1 a
5. Cultivo en callejones a 6 m.	1234.9 a
6. Estiércol	1203.7 a
7. Cultivo en callejones a 4 m.	1181.1 a

Fuente: Resultados de digestión química de suelo en laboratorio.

En base a los trabajos realizados en el lugar, se analizó el fósforo total a una profundidad de 0-5 cm, ya que según Arriaza (1995), Paniagua (1991), y Macêdo (1996), existen diferencias altamente significativas entre profundidades (no entre tratamientos) y ésta es donde se concentra más la cantidad de este elemento.

El análisis de varianza realizado al fósforo total no presentó diferencias significativas ($P > 0.05$, Anexo 12), de manera que el contenido de fósforo en los tratamientos evaluados es similar al tratamiento con suelo desnudo (Cuadro 6).

La razón es que en el suelo desnudo no se observó una salida significativa de fósforo. Paniagua (1991) y Macêdo (1996), determinaron que un 60% del fósforo

forma parte de la fracción de fósforo residual, el cual es difícil hacerlo disponible al cultivo y un problema serio en estos suelos, ya que cualquier fuente de fósforo es rápidamente retenida (Sánchez, 1981; Fassbender, 1993). Sin embargo, en este estudio se observaron valores más altos de fósforo total con el mulch y la mucuna. Fassbender (1993), menciona que en algunos suelos el fósforo total se encuentra casi en un 95% retenido por las arcillas (alófanas).

Se observa que el fósforo total en los sistemas en callejones es menor que en el suelo desnudo, es decir, que los árboles absorben parte de fósforo del suelo para su crecimiento, y reciclaje (Szott y Kass, 1994), a través de la masa microbiana.

Finalmente, se estableció la relación porcentual del fósforo en la masa microbiana del suelo con el fósforo total (Fig. 6), donde se observa que efectivamente el sistema en callejones a 6 metros es el que presenta el mayor porcentaje de fósforo microbial en el fósforo total, mientras que la mucuna presenta el menor porcentaje.

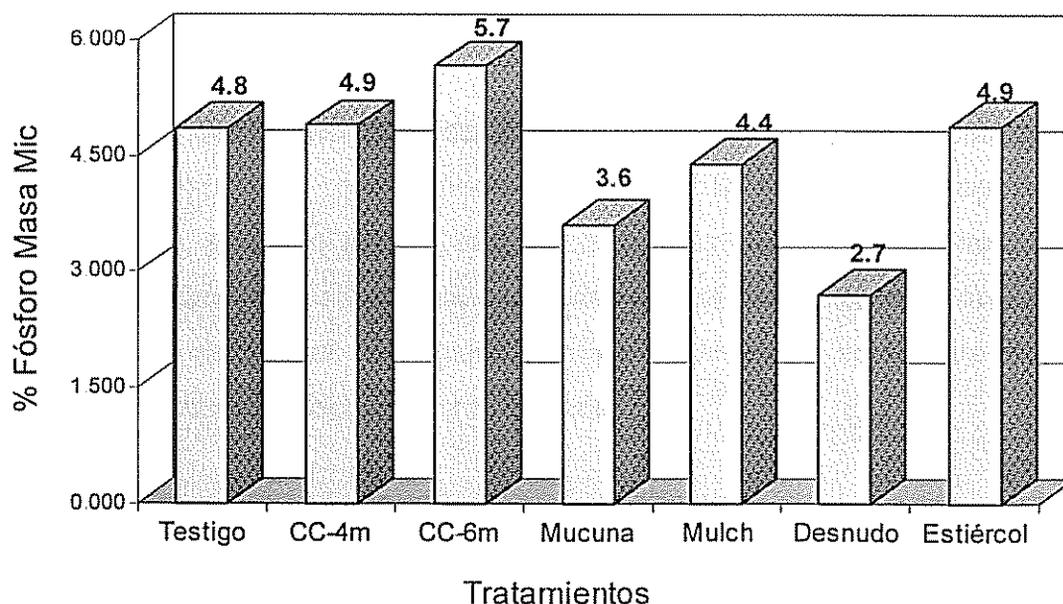


Figura 6: Porcentaje de fósforo microbial con relación al fósforo total en el suelo. San Juan Sur, Costa Rica, 1996.

7.3.3 Fósforo en el cultivo de frijol

El contenido de fósforo extraído por las plantas de frijol y su correlación con el rendimiento obtenido en los tratamientos se presentan en la figura 7.

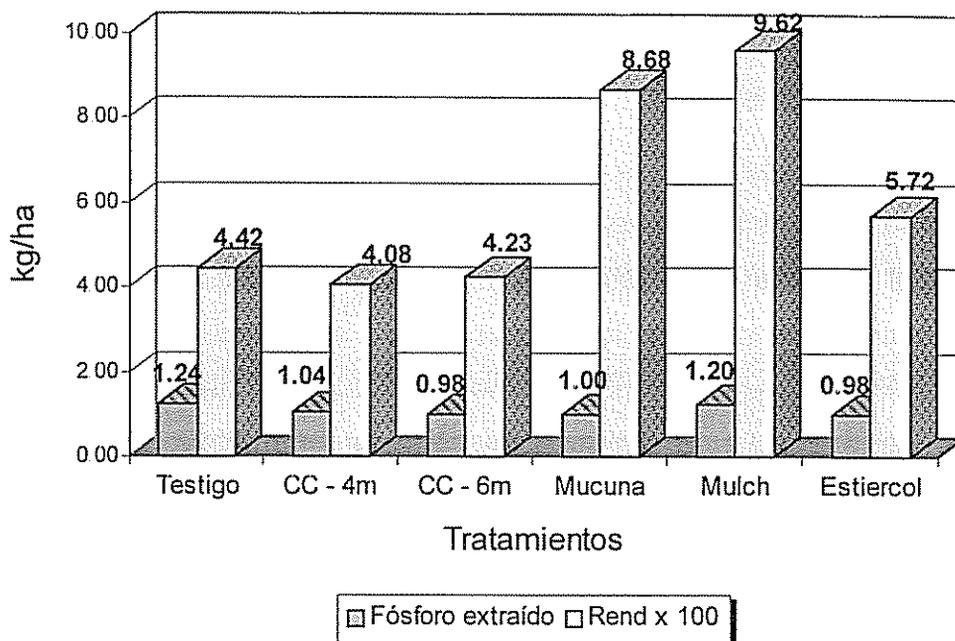


Figura 7: Extracción de fósforo en el cultivo de frijol bajo 6 tratamientos, san Juan Sur, Turrialba, Costa Rica, 1996.

La cantidad de fósforo extraído no presentó diferencias significativas entre tratamientos (Anexo 13). Los promedios de extracción de fósforo oscilaron entre 0.97 y 1.24 kg./ha; siendo el testigo, el que extrajo más. Además, se determinó que no hubo correlación significativa entre el P extraído y el rendimiento, lo que significa que el comportamiento del rendimiento no es influenciado solamente por el P extraído, pero puede ser afectado por otros factores.

Las cantidades de fósforo extraídas han disminuido en el tiempo. Tineo (1993), reporta mayores cantidades de fósforo extraído por el frijol (1.33 - 11.76 kg./ha) en un periodo de 3 años para el mismo lugar, en los cuales éste disminuyó año con año. Fassbender y Bornemisza (1994), menciona que el grano de frijol extrae 3.5 kg.P/ha, pero indica que las cantidades acumuladas en los cultivos es menor de 10

kg./ha, cuando la producción no pasa de 1 Ton/ha, como sucede en este caso (962 kg./ha).

Como se mencionó, la disminución en la extracción de este elemento a través del tiempo, puede deberse a la escasa disponibilidad en el suelo, ya sea por retención o disminución en la fertilidad natural de éste (Fassbender, 1993), así como también a otros desbalances nutricionales.

Según Arriaza (1995), la extracción de fósforo por parte del cultivo representa más del 85% de las salidas totales en los diferentes tratamientos y que otros factores (lixiviación, erosión) no representan un problema serio en este lugar. Esto se comprobó con el análisis foliar a la madurez fisiológica, donde la mayor cantidad de fósforo extraído fue en la vaina (65%) en comparación a la raíz (5%) y hojas+tallos (30%, Anexo 16); asegurando la salida del elemento en el sistema, dado a que en la labor cultural del frijol, esta parte de la planta se extrae. En la figura 8 puede observarse la cantidad de P extraída por los diferentes componentes de la planta.

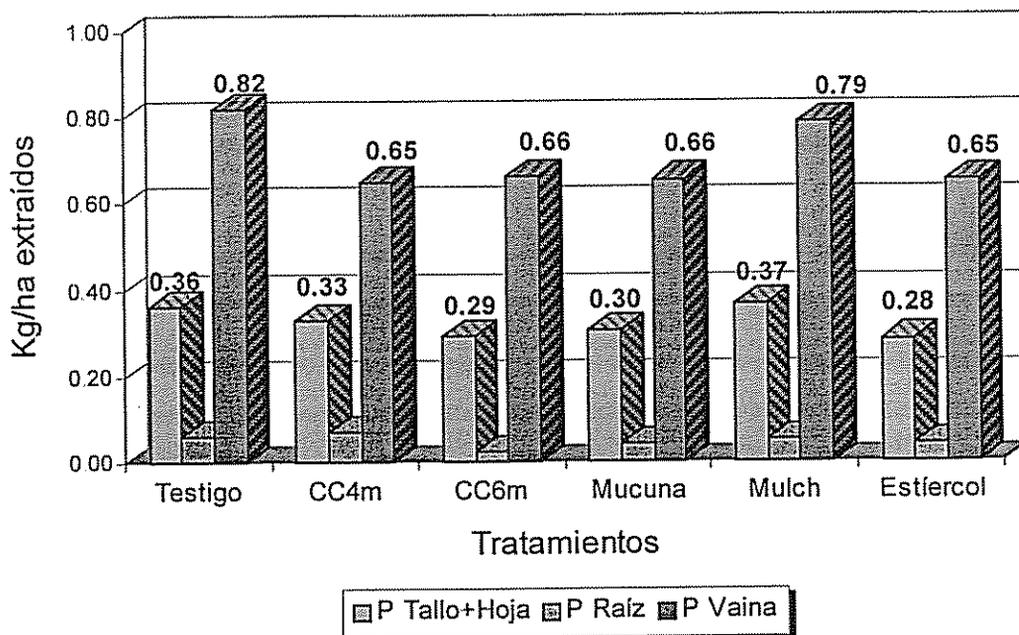


Figura 8: Contenido de fósforo extraído (kg./ha) por tallo+hoja, raíz y vaina de frijol en San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica, 1996.

7.3.4 Fósforo en las enmiendas aplicadas

Dentro de la dinámica del fósforo, la cantidad de éste incorporado por las enmiendas, es uno de los factores más importantes en este estudio. Los resultados obtenidos se presentan en la figura 9, junto con el contenido extraído y el saldo de éste en el suelo.

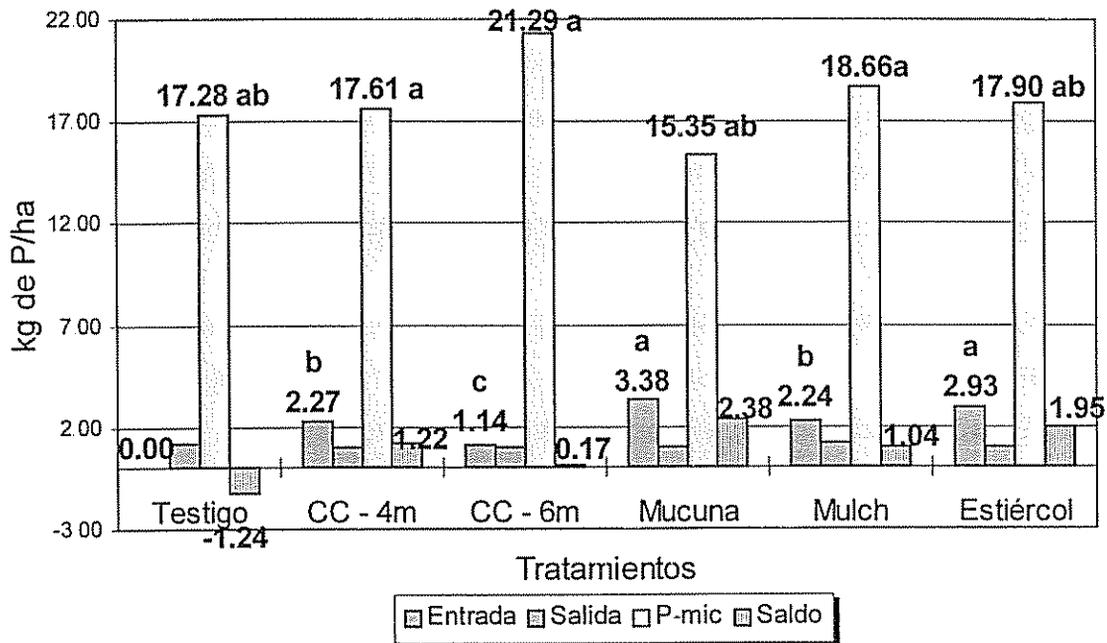


Figura 9: Balance del fósforo para el primer ciclo de frijol en las enmiendas orgánicas aplicadas. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica, 1996. (Valores seguidos por la misma letra no difieren significativamente por la prueba de Duncan 5%).

Al igual que en estudios anteriores, el análisis de varianza para el contenido de fósforo aportado, presentó diferencias altamente significativas entre tratamientos ($P > 0.01$) en ambas evaluaciones (Anexos 14 y 15), donde la mucuna y el mulch de *Erythrina* presentaron los mejores promedios (Fig. 9).

El aporte de fósforo por medio del estiércol fue bueno (Anexo 28), pero muy variable en ambas evaluaciones (2.93 kg./ha en la primera y 28.1 kg./ha en la segunda), por lo que es necesario continuar con este tratamiento para conocer su desempeño a través de tiempo. Comportamiento similares fueron mencionados por Sánchez (1981); Valdés y Abastida, (1993), determinando que la inestabilidad puede variar dependiendo del tipo de animal o dieta. Es importante, recalcar que al igual

que el mulch, son enmiendas orgánicas importadas de otro sistema (*ex situ*), que favorece al cultivo de frijol en estos suelos, porque sí se da una incorporación de fósforo. En el caso de los sistemas en callejones, el testigo y la mucuna, son componentes de un sistema en un mismo suelo, donde la única fuente de fósforo es la capa superficial del suelo, que a través del tiempo ha disminuido (Arriaza, 1995; Tineo, 1993).

Es por eso que con los resultados obtenidos, se considera que el comportamiento de la mucuna es aceptable, ya que presenta un mejor aporte y recirculación (Szott y Kass, 1994) del fósforo en el cultivo, dejando un mayor saldo (Fig. 9) en el suelo para el próximo ciclo, además de otras facultades que ya se mencionaron.

En la figura 9 se nota que el testigo (monocultivo) fue el único tratamiento que dejó un saldo negativo. Se explica por el hecho que no existe una restitución significativa del elemento en el sistema, debido a que las plantas cosechadas por lo general extraen mayor cantidad de fósforo, como se apreció en la figura 8, dejando una mínima cantidad en residuos, que no estabilizan las reservas en el suelo.

Por otro lado, los tratamientos con enmiendas orgánicas evidencian saldos positivos, dentro de los cuales sobresale la mucuna (2.38 kg./ha), que a pesar de aportar una baja cantidad de P/ha, es el que mejor funciona en el sistema, ya que no tiene componente leñoso en su planta, que absorba o retenga fósforo como en el caso de los callejones.

Es importante observar en la figura 9, el rol que jugaría el fósforo microbiano si toda la producción por hectárea (a una profundidad de 0.05 m) de éste, fuera totalmente disponible y aportable a las plantas, las que satisfacerían sus demandas por el nutrimento y mejorarían sus rendimientos.

Sin embargo, hay que tomar en cuenta que el fósforo se mantiene constantemente activo en el ciclo biológico de los microorganismos, por lo que no se puede disponer de toda la producción del elemento. Asimismo, la fracción del fósforo que produce para el sistema, se fija muy rápido en el suelo y solo una pequeña parte es la disponible para el cultivo, la cual es complementada con el

adicionado por las enmiendas orgánicas y en mayor proporción si proviene de los tratamientos *ex situ*.

7.3.5 Población de lombrices y su relación con el fósforo de la masa microbiana

La especie encontrada en los suelos de San Juan Sur, Turrialba, C.R. fue determinada como *Pontoscolex corethrurus* o lombriz de tierra (Fraile, 1996)⁵. En la Estación Experimental "Los Diamantes", Guapiles, C.R., Torres (1995), reportó a la misma especie en un 99%, independiente al tipo de pastura y carga animal utilizada.

La figura 10 muestra los resultados obtenidos de abundancia y biomasa de lombrices en el área bajo estudio (luego de la transformación del número de individuos a la raíz cuadrada y a la raíz cuadrada más 0.5, Anexos 3 y 4). Esto puede considerarse como indicador de la actividad biológica en el suelo y comparador en la dinámica de fósforo y otros nutrientes evaluados.

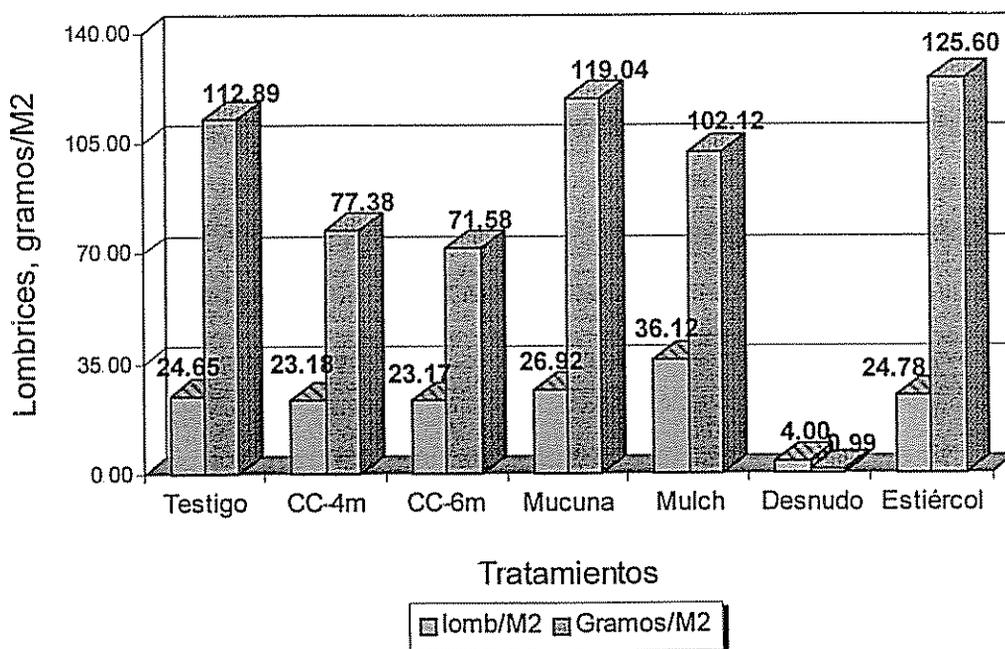


Figura 10: Distribución del número y peso de lombrices en 7 tratamientos evaluados. San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica, 1996.

⁵ Análisis de muestras en el laboratorio de Ciencias, Universidad Nacional de Costa Rica, para la determinación taxonómica de la especie encontrada.

Del análisis de varianza para el número de lombrices, se reportó diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$) en el primer muestreo (Anexo 17) y altamente significativas ($P < 0.01$) en el segundo (Anexo 19), donde las enmiendas orgánicas de mucuna y mulch de *Erythrina* son los mejores, reportando promedios de 30 lombrices/m². El tratamiento con suelo desnudo sólo obtuvo 4 lombrices/m², lo que manifiesta alguna presencia de actividad biológica en el suelo a pesar que este se mantuvo totalmente desnudo.

En relación al peso de lombrices/m², los análisis de varianza no mostraron diferencias significativas entre tratamientos ($P > 0.05$, Anexos 18 y 20), pero es importante mencionar que el mejor tratamiento fue la mucuna (119.04 g/m²). El peso no se relacionó con el número de lombrices, debido a que en algunos tratamientos, como la mucuna, la mayor cantidad de lombrices encontradas fueron juveniles. Esto disminuyó el peso, considerando cifras muy similares a las obtenidas en tratamientos con baja abundancia, pero con lombrices adultas. El estiércol presentó una media aceptable (125.6 g/m²), pero su comportamiento fue variable en ambos muestreos.

Al igual que en el análisis de abundancia, el tratamiento con suelo desnudo ocupó el último lugar, reportando un peso de 1 g/m², lo que comprueba que la especie es de hábito geófago (Fraile, 1989 y Torres, 1995), debido a que este tratamiento se mantuvo completamente desnudo durante todo el estudio.

Se ve que la abundancia da valores inferiores en comparación a los reportados en otros lugares. Fragoso y Lavelle (1992), reportan un número de 68 lombrices/m² en un estudio realizado en bosques del trópico húmedo de América y África; Tian (1992a), reporta hasta 270 lombrices/m² en estudios realizados en Nigeria, donde estimó el efecto de la adición de diferentes tipos de mulch sobre la fauna del suelo, encontrando que en el mejor de los casos, *Leucaena* fue el material que le proporcionó los mejores resultados. Por otro lado, Rose y Wood (1980), reportan entre 93 y 302 lombrices/m² en suelos con cultivo de camote (*Ipomoea batata*).

En Costa Rica, Fraile (1989) encontró promedios de 227 lombrices/m² en vegetación a libre crecimiento, 132 lombrices/m² en pasturas de *Cynodon plectostachyus* solas, 184 lombrices/m² en asocio con *Erythrina poeppigiana* y 161 lombrices/m² con *Cordia alliodora*. Finalmente Torres (1995), reporta una marcada diferencia ($P < 0.027$) entre el número de lombrices en suelos bajo la asociación de *Brachiaria brizantha* + *Arachis pintoii* (370.9 lombrices/m²) y bajo *B. brizantha* sola (194.6 lombrices/m²). Todos éstos superan al número reportada para este estudio, donde la fertilidad del suelo es inferior a la utilizada en los otros estudios. Fraile (1996)⁶, menciona que para el tipo de suelo donde se hizo el estudio, la actividad biológica de lombrices es adecuada, sabiendo que *P. corethrurus* es una especie agresiva, comparada con otras que se alimentan de la materia orgánica superficial.

Esto fue evidente al comprobarse en el análisis de determinación, donde *P. corethrurus* fue la única que se encontró, ya que se adapta a cualquier condición de fertilidad, pH, textura y contenidos de materia orgánica de suelo (Torres, 1995).

Las coberturas con mulch y mucuna presentan mayor cantidad de lombrices/m² en las condiciones de San Juan Sur, debido a que ofrecen condiciones microclimáticas y de calidad nutricional más estables y para la actividad y desarrollo de la lombriz. Condiciones como la humedad, la temperatura, cantidad y calidad de biomasa verde y materia seca total, mayor masa radicular (mucuna) y por supuesto mayor contenido de fósforo aportado (kg./ha), son las que proporcionan dichas enmiendas.

El estiércol mostró ser buena fuente de fósforo, que influyó positivamente en el peso de lombrices, pero que presenta algunas limitantes como: menor área de cobertura, de microclima en puntos específicos y calidad nutricional alta pero dispersa en la parcela. Fraile (1989), reporta que las lombrices responde muy bien en su ciclo biológico con el estiércol, pero al igual que Torres (1995), ha evaluado esta enmienda asociada a pasturas o leguminosas, que juegan un rol importante en la regulación microclimática del suelo.

⁶ Comunicación personal en basada en las condiciones del estudio, tipo de suelo. Universidad Nacional de Costa Rica.

La biomasa producida en la mucuna (119.04 g/m^2), no presentó diferencia con los resultados obtenidos por Torres (1995), en pasturas asociadas y gramíneas solas (115 y 61.6 g/m^2), pero superan a los reportados por Fraile (1989) en pasturas sin árboles (45.5 g/m^2) y pasturas con *Erythrina poeppigiana* (68.1 g/m^2), así como a los reportados por Fragoso y Lavelle (1992) en bosque lluviosos de América y África (12.9 g/m^2).

El contenido de fósforo en la masa microbiana presentó correlación negativa ($r=-0.7810$) con el número de lombrices en el sistema de callejones a 6 metros ($P<0.07$), es decir, que con el aumento de individuos en el suelo, menor es la disponibilidad del fósforo microbiano. Según Lee (1985), las lombrices ingieren microorganismos edáficos junto con el mantillo y suelo inorgánico; esto puede tomarse desde un punto de vista de conservación de fósforo en la biomasa de las lombrices, para permitir que éste no sea fijado rápidamente por el suelo. En el estudio de Torres (1995), se reporta una correlación positiva entre el nitrógeno microbiano y el número de lombrices ($r = 0.5100$) y se afirma que hay garantía en asegurar un eficaz reciclaje de nutrientes y una inmovilización temporal de los mismos, a través de la biomasa de los microorganismos.

En el sistema en callejones a 6 metros se determinó una correlación directa (0.9996) entre el peso de lombrices con el contenido de fósforo ($r = 0.9952$, $P<0.07$) extraído por el cultivo. Esto indica que al aumentar la biomasa de lombrices en el suelo, aumenta la extracción por parte del frijol, debido a que hay más disponibilidad de nutrientes y mejor desarrollo del cultivo. Lamentablemente la biomasa de lombrices no aumenta, debido a la baja producción de biomasa.

La mucuna, mulch y estiércol no presentaron correlaciones significativas entre el número y peso de lombrices con el contenido de fósforo en el sistema. Sin embargo, Fraile (1989), en una estimación del contenido de fósforo aportado o reciclado al año por las lombrices, reportó cantidades de 3.8 kg. de P/ha en pasturas sin árboles, 6.0 kg. de P/ha en pasturas con *E. poeppigiana* y de 5.8 kg. de P/ha para pastura con *C. alliodora*, tomando en cuenta el fósforo en las excretas, tejido muerto, mucus y biomasa seca total. Estos resultados de producción de P

representan aproximadamente de un 20-25% del fósforo total producido por la masa microbiana, si esta se fumiga totalmente y se le extrae todo (Fig. 9). De manera, que tomando en cuenta el P que se mantiene circulando en el sistema, el contenido de fósforo aportado por las lombrices puede complementarse con el que aporta la masa microbiana, teniendo como fuente coberturas como mulch, mucuna y estiércol.

7.4 Balance de nutrimentos en los tratamientos

En el presente acápite se presentan los balances nutricionales para N, P, K, Ca y Mg en el cultivo de frijol, sometido a 5 enmiendas de origen orgánico más el testigo o sistema tradicional (Cuadro 7).

Cuadro 7: Balance general de nutrimentos en los tratamientos evaluados para el primer ciclo. San Juan Sur, Costa Rica, 1996. (Filas con la misma letra no difieren significativamente por la prueba Duncan $P = 0.05$).

Trats.		Testigo	CC - 4m	CC - 6m	Mucuna	Mulch	Estiércol
Nutrimento							
Nitrógeno kg./ha	Entrada	0.00	36.15 b	19.41 c	68.91 a	39.94 b	14.98 c
	Salida	24.91 a	23.80 a	23.05 a	26.30 a	26.88 a	18.86 a
	Saldo	-24.91	12.36	-3.64	42.60	13.06	-3.88
Fósforo kg./ha	Entrada	0.00	2.27 b	1.14 c	3.38 a	2.24 b	2.93 a
	Salida	1.24 a	1.04 a	0.98 a	1.00 a	1.20 a	0.98 a
	Saldo	-1.24	1.22	0.17	2.38	1.04	1.95
Potasio kg./ha	Entrada	0.00	9.13 b	4.69 c	10.73 b	22.92 a	9.13 b
	Salida	10.60 a	11.02 a	7.84 a	8.20 a	13.63 a	8.81 a
	Saldo	-10.60	-1.89	-3.14	2.53	9.29	0.31
Calcio kg./ha	Entrada	0.00	7.79 b	3.99 c	11.25 a	3.50 c	3.41 c
	Salida	12.69 a	10.10 a	10.32 a	10.87 a	10.34 a	7.06 a
	Saldo	-12.69	-2.31	-6.32	0.38	-6.84	-3.65
Magnesio kg./ha	Entrada	0.00	1.77 a	1.76 a	1.55 a	3.22 a	3.06 a
	Salida	1.63 a	2.19 a	1.86 a	1.63 a	1.53 a	2.67 a
	Saldo	-1.63	-0.41	-0.09	-0.09	1.69	0.40
Mat. Seca kg./ha	Entrada	0.00	1685.12 a	896.56 bc	1691.89 a	1407.4 ab	696.59 c
	Salida	1155.41 a	1053.34 a	1073.65 a	1121.08 a	1294.3 a	917.30 a
	Saldo	-1155.41	631.78	-177.09	570.81	113.08	-220.71

Fuente: Información proveniente de mediciones en el campo y análisis químico en laboratorio.

Estos datos representan resultados consolidados de los análisis fraccionados, que fueron considerados como aportes desglosados provenientes de la hoja, el tallo tierno, tallo leñoso y las flores de los árboles de *Erythrina berteroana* en los callejones; aportes provenientes de la hoja y tallo del mulch de *Erythrina*; provenientes de la mucuna (tallo+hoja) y del estiércol bovino aplicado (Anexo 27 y 28). Asimismo, se consideró la salida de nutrimentos en forma desglosada en hojas, tallos, raíces y vainas (Anexo 16).

Es evidente que el testigo fue el único que presentó saldos negativos en todos los nutrimentos evaluados, ya que no se consideró el aporte de ninguna enmienda, ni tampoco se tomó en cuenta los residuos de cosecha (rastrojo), porque queda poca cantidad de nutrimentos (casi todo se transloca a la semilla) y además, porque la cosecha de frijol se saca del sistema. Asimismo, no se consideró la entrada de nutrimentos al sistema por medio de la lluvia, ya que Arriaza (1995), consideró que no fueron significativos en relación a lo que anualmente extrae el cultivo.

Es necesario aclarar que el balance de nutrimentos, no incluyó el suelo desnudo, ya que este permaneció limpio (sin cultivo ni cobertura) durante todo el estudio.

7.4.1 Nitrógeno

El análisis de varianza determinó que existen diferencias estadísticas altamente significativas ($P < 0.01$) entre los tratamientos evaluados (Anexo 21); la prueba de Duncan (cuadro 7), determinó que el tratamiento que aportó la mayor cantidad de nitrógeno (kg./ha) fue la mucuna, seguido por el tratamiento con mulch de *Erythrina* con aportes totales de 68.91 y 39.94 kg./ha, respectivamente durante el primer ciclo (Cuadro 7). Es importante mencionar que en la segunda aplicación de enmiendas, el tratamiento con estiércol fue el que aportó la mayor cantidad de nitrógeno (76.93 kg./ha), seguido por la mucuna y mulch (Anexo 28).

En el anexo 25 (primer muestreo) se determinó que el mayor porcentaje de nitrógeno se obtuvo de las flores en los callejones, mientras que en el segundo muestreo (Anexo 26) el mayor porcentaje se obtuvo en hoja de mucuna y mulch.

Además, se determinó que los menores porcentajes de nitrógeno en ambas podas provenían del tallo leñoso, tanto de los callejones como del mulch. Dado a que se presenta una estrecha relación con el contenido de biomasa producida, al final la cantidad que aportaron las flores fue mínima. Mientras que el porcentaje de nitrógeno en la hoja fue menor que en las flores y la cantidad de biomasa producida fue mayor, aportando mayor cantidad de nitrógeno (Anexos 27 y 28).

En relación a las salidas de nitrógeno en la cosecha del frijol (Cuadro 7) no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P>0.05$) en ninguno de los tratamientos evaluados, lo que indica que la extracción por parte del cultivo es en promedio de 24 kg. N /ha.

7.4.2 Fósforo

El análisis de varianza determinó que existen diferencias estadísticas altamente significativas ($P<0.01$) entre los tratamientos evaluados (Anexos 14 y 15), determinándose que el tratamiento que aportó la mayor cantidad de fósforo durante el primer ciclo fue la mucuna (3.38 kg./ha), seguido por el estiércol bovino (2.93 kg./ha) (Cuadro 7). Es importante mencionar que en la segunda aplicación de enmiendas, el estiércol sobrepasó a los demás produciendo 28.09 kg. P/ha, seguido por el mulch (Anexo 28).

En el anexo 25 (primer muestreo) se determinó que el mayor porcentaje de fósforo se obtuvo del estiércol bovino y de las flores de *Erythrina* en los callejones; en el segundo muestreo (Anexo 26), nuevamente el mayor porcentaje se obtuvo del estiércol y la hoja de mucuna. También, se determinó que los menores porcentajes de fósforo en ambos análisis provenían del componente "tallo leñoso" de los callejones y del mulch. Al final la cantidad total que aportaron las flores y tallos fue baja, mientras que el porcentaje de fósforo en la hoja de mucuna fue menor, pero la alta cantidad de biomasa producida, resulta en una mayor cantidad aportada (Anexo 27).

El análisis de varianza para la salidas de fósforo en la cosecha del frijol no presentó diferencias significativas ($P>0.05$) entre tratamientos (Anexo 13), indicando que la extracción por parte del cultivo es en promedio de 1.07 kg. P /ha.

7.5.3 Potasio

El análisis de varianza (Anexo 22), determinó que existen diferencias altamente significativas ($P<0.01$) entre los tratamientos, donde el mulch fue el que aportó la mayor cantidad de potasio durante el primer ciclo (22.96 kg./ha), seguido por la mucuna (10.73 kg./ha) (Cuadro 7). Es importante mencionar que en la segunda aplicación de enmiendas, el tratamiento con estiércol fue el que aportó la mayor cantidad de potasio (51.54 kg./ha), seguido por el mulch (21.78 kg./ha) y la mucuna (Anexo 28).

En el anexo 25 (primer muestreo) se observa que el mayor porcentaje de potasio se obtuvo de las hojas de mulch y las flores de los árboles de *Erythrina*, mientras que en el segundo muestreo (Anexo 26) el mayor porcentaje se obtuvo del estiércol y la hoja de mulch. También se determinó que los menores porcentajes de potasio en ambos análisis se presentaron en los tallos de los árboles de *Erythrina*.

La cantidad de K extraído en la cosecha de frijol no presentó diferencias estadísticamente significativas ($P>0.05$) entre tratamientos, lo que indica que la salida de este nutrimento en el cultivo oscila en un ámbito de 7.84 - 13.66 kg. de K /ha.

7.5.4 Calcio

El análisis de varianza (Anexo 23), determinó que existen diferencias altamente significativas ($P<0.01$) entre tratamientos, aportando la mayor cantidad de calcio la mucuna y los árboles en los callejones a 4 metros (11.25 y 7.79 kg./ha, respectivamente) durante el primer ciclo. En la segunda aplicación de enmiendas, el estiércol fue el que aportó la mayor cantidad de calcio (51.64 kg./ha), seguido por la mucuna (20.02 kg./ha) (Anexo 28).

En el anexo 25 (primer muestreo), el mayor porcentaje de calcio se obtuvo de la mucuna y del tallo tierno de los árboles de *Erythrina*, mientras que en el segundo muestreo (Anexo 26), se obtuvo con la mucuna, el estiércol y hoja de mulch. Además, se determinó que en ambos muestreos los menores porcentajes provenían de las flores de *Erythrina* y del tallo leñoso del mulch de esa misma especie. En la mucuna, el porcentaje de calcio en la hoja fue proporcional a la cantidad de biomasa, o sea que el mejor tratamiento fue el que tuvo mayor porcentaje de calcio.

La cantidad de calcio extraído en la cosecha de frijol no presentó diferencias estadísticamente significativas ($P>0.05$) entre tratamientos, lo que indica que la extracción promedio de este nutrimento es de 11 kg. Ca/ha.

7.5.5 Magnesio

El análisis de varianza (Anexo 24) en la primera evaluación determinó que no existen diferencias significativas ($P>0.05$) entre tratamientos; el mulch y estiércol obtuvieron los mayores promedios (3.22 y 3.07 kg. de Mg/ha, respectivamente). En la segunda evaluación, el análisis de varianza sí detectó diferencias altamente significativas entre tratamientos ($P<0.01$, Anexo 24) y al aplicar la prueba de Duncan, se determinó que el mayor aporte de magnesio se obtuvo a través del estiércol (20.24 kg./ha).

En ambas evaluaciones el mayor porcentaje de magnesio a nivel de laboratorio se obtuvo del estiércol y de la hoja de mulch; asimismo, los menores porcentajes provenían del tallo tierno y leñoso de los árboles de *Erythrina*. El porcentaje de magnesio en el estiércol y mulch fue proporcional a la cantidad de biomasa, es decir, que los mejores tratamientos tuvieron mayor porcentaje de magnesio. De igual forma, sucedió para los tratamientos con bajo porcentaje.

El contenido de magnesio extraído en la cosecha del frijol no presentó diferencias significativas ($P>0.05$) entre tratamientos, lo que indica que la extracción por parte del cultivo es aproximadamente de 2.5 kg./ha (Cuadro 7).

Con el análisis realizado anteriormente a los nutrimentos evaluados, no se pretende establecer parámetros absolutos de entradas y salidas de los mismos en el sistema, simplemente se consideran como parámetros indicativos de lo que en un momento dado se presentó en el suelo. Además, las sustancias que el suelo contiene y que utiliza la planta para su desarrollo, no se almacenan en el suelo en forma estática. En ese sentido, se considera que el suelo es un sistema que está en continua actividad y que en él se presentan muchos factores que intervienen en la utilización de nutrimentos por parte de la planta.

Según Von Uexküll (1990), los suelos tropicales ácidos no pueden sostener la producción de cultivos durante más de unos pocos años sin un aporte continuo de fertilizantes. Para mantener la productividad en estos suelos, las cantidades de nutrimentos aportados debe superar la remoción de éstos en los cultivos sucesivos.

Lo anterior responde a la interrogante de porqué año con año los valores obtenidos en los balances son menores, hasta el punto de dejar saldos negativos en algunos nutrimentos (magnesio, potasio, calcio) de los tratamientos evaluados.

En el caso de los cultivos en callejones, como se mencionó anteriormente, la disminución en los rendimientos del frijol se debe esencialmente a la disminución en las reservas del suelo y a la producción, cada vez menor, de biomasa en el componente arbóreo. En el caso de las coberturas, se atribuye a la cantidad de material aplicado (8 t/ha), la cual según Bunch (1994) y Flores (1994)⁴, puede ser mayor de 10 t/ha.

7.6 Correlaciones entre variables evaluadas

7.6.1 Interacción del rendimiento con los nutrimentos evaluados.

El rendimiento en los sistemas en callejones presentó una alta correlación ($r = 0.9998$, $P < 0.01$) con el contenido de magnesio que se extrae del suelo, es decir, que la producción del cultivo estuvo en función de una fuerte demanda de magnesio, que incrementó el saldo negativo en el balance y desgastó las reservas del suelo.

Para los otros nutrientes no se presentaron correlaciones significativas, probablemente porque las reservas de éstos en el suelo fueron mayores.

Finalmente se determinó que el rendimiento del frijol con la mucuna, mulch y estiércol mantienen una correlación negativa ($r = -0.8975$, $P < 0.05$) con los contenidos de nutrientes que extrae del sistema, es decir, que los rendimientos de frijol utilizan los nutrientes aportados por la enmienda aplicada y no desgasta las reservas en el suelo, manteniendo el balance positivo. Bellows (1994), reporta que el rendimiento se correlacionó positivamente con el fósforo que extrae del suelo cuando utiliza coberturas orgánicas.

7.6.2 Interacción del fósforo microbial con los nutrientes evaluados

Estadísticamente el contenido de fósforo microbial no mantuvo ninguna correlación con el rendimiento. Sin embargo, presenta correlación positiva ($P < 0.05$) con el contenido de calcio ($r = 0.8298$), magnesio ($r = 0.7994$), potasio ($r = 0.8209$) nitrógeno ($r = 0.9126$) que ingresa por parte de los árboles de *Erythrina*. De manera que, si el contenido de nutrientes recirculado y aportado por los callejones fuera superior, como el aumento en el fósforo y el nitrógeno orgánico reportado por Sánchez (1987), el contenido disponible de fósforo y nitrógeno microbial aumentaría, que influiría en el rendimiento final. Algunos autores (Salas, 1987; Montagnini, 1992; Kang, 1994; Szott y Kass, 1994) mencionan que el reciclaje de nutrientes por medio de la materia orgánica y producción de tejido leñoso rico en Ca y Mg mejora la actividad microbial en el suelo.

En cuanto al estiércol y mulch, se da una situación similar a los sistemas en callejones, pero además presentan una correlación negativa ($r = -0.9998$) con el contenido de fósforo extraído por las plantas de frijol cosechadas, es decir que a mayor contenido extraído menor es la cantidad de fósforo microbial. Brookes *et al.* (1982); Brookes *et al.* (1985), reportan que al aumentar el fósforo en la masa microbiana, hay mayor contenido de fósforo inorgánico disponible para las plantas,

mejorando el balance de fósforo, ya que no se disminuye la fracción disponible de fósforo inorgánico en las reservas del suelo.

La mucuna sólo presentó correlación significativa entre el fósforo microbioal con el nitrógeno ($r = 0.8754$) y fósforo ($r = -0.783$) aportados, es decir, que éste aumenta al aumentar los aportes de N y P. Varios autores (Bunch, 1994; Flores, 1994; Melara y del Río, 1994), mencionan que con el uso de frijol terciopelo como cobertura contribuye a mejorar la fertilidad, aportando hasta 100 kg N/ha/año y aumentar la actividad microbiológica del suelo, ya que al producir mejor biomasa radicular, provee una fuente continua de alimento para microorganismos, lombrices y gusanos.

7.6.3 Interacción del fósforo aportado con los nutrientes evaluados

El comportamiento del fósforo proveniente de las enmiendas aplicadas se relacionó con más de un nutriente. En el cuadro 8 se presentan las correlaciones existentes entre el P aportado y los nutrientes adicionados por los tratamientos evaluados.

Cuadro 8: Coeficientes de correlación de Pearson (r) entre el fósforo aportado por las enmiendas y las variables evaluadas en los tratamientos, San Juan Sur, Costa Rica, 1996. (Valores de r con $P < 0.05$).

Variable Tratamiento	Contenido que entra al sistema						que sale en la cosecha		
	N	K	Ca	Mg	MST	P-Mic	P	MST	Ca
Callejones 4m	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0.999	-0.999	-0.9982
Callejones 6m	0.9994	ns	0.9968	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Mucuna	0.8754	ns	ns	ns	ns	-0.783	ns	ns	ns
Mulch	0.9992	0.9634	0.9998	0.9958	0.9970	-0.893	ns	ns	ns
Estiércol	0.9990	0.9626	0.9999	0.9928	0.9951	-0.849	ns	ns	ns

ns = valores de correlación no significativos al 5%.

Los callejones a 6 metros también presentaron correlación con el rendimiento ($r=0.9999$). Esto significa que con el aumento del fósforo aportado, se aumenta el contenido N y Ca que influye en aumento del rendimiento. Todo está en función de la producción del componente arbóreo, ya que si esta aumenta, también aumenta la disponibilidad de los nutrimentos para el desarrollo del frijol.

Para los callejones a 4 metros significa que el fósforo aportado, disminuye la salida o pérdida de fósforo, calcio y MST en la cosecha de frijol, es decir que el cultivo toma directamente el contenido disponible por la enmienda.

Por otro lado, al aumentar la cantidad de mulch y/o de estiércol aplicados, se incorpora más fósforo y por consiguiente más N, K, Ca y Mg. Asimismo, se reduce la pérdida de P en la masa microbiana, ya que el aportado satisface la demanda del cultivo, debido que toma el fósforo inorgánico disponible. La pérdida del fósforo en la masa microbiana se reduce, ya que es inmovilizado en otros organismos del suelo que aumentan sus poblaciones en estos tratamientos.

El fósforo aportado con mucuna solo presentó correlación significativa ($P>0.05$) con el nitrógeno aportado y el fósforo microbial (cuadro 8). Esta correlación fue descrita en el acápite anterior.

7.6.4 Población de lombrices y su relación con otros nutrimentos

Así como el fósforo, el nitrógeno, potasio, magnesio y calcio de las enmiendas y el suelo contribuyen a favorecer el desarrollo de lombrices (abundancia y biomasa), éstas por su parte mejoran las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo (Fraile, 1989 y Torres, 1995), que al final favorecen al desarrollo de los cultivos.

El cuadro 9 presenta las correlaciones al utilizar la abundancia y biomasa como comparador en la producción de fósforo microbial, en la contribución de N, P, K, Ca y Mg por parte de las enmiendas y en la cantidad de N extraído por el cultivo de frijol en la cosecha.

Cuadro 9: Coeficientes de correlación de Pearson (r) entre la biomasa y abundancia de lombrices vrs. los nutrientes correlacionados que aportan los tratamientos, San Juan Sur, C. R., 1996. (Valores de r con $P < 0.05$).

Tratamientos	Variables	Contenido que entra al sistema					sale
		N	P	K	Mg	Ca	N
Callejones 6 m	Biomasa	0.8326	ns	0.7940	ns	0.9782	0.9951
Mucuna	Abundancia	ns	ns	ns	0.9643	ns	ns
Estiércol	Abundancia	0.7658	0.7730	0.7787	0.7826	0.7738	ns

Los coeficiente para los callejones a 6 metros muestran un comportamiento normal, ya que *Pontoscolex corethrus*, es una especie con un amplio ámbito de alimentación, que aprovecha al máximo las cantidades de nutrientes contenidos en la biomasa vegetal y con ellos un positivo aumento de peso. Además, se considera que al aumentar de peso, aumentan sus productos y desechos, que se liberan al suelo y aprovecha el cultivo (como el nitrógeno).

Fraile (1989), determinó que el aumento en la biomasa de las lombrices es proporcional al aumento de las excretas y material digerido por ellas, lo que facilita la disponibilidad de nitrógeno hacia el cultivo. Estos resultados sobre nitrógeno coinciden con los obtenidos por Torres (1995), que reporta correlaciones positivas con el N microbiano ($r = 0.51$) y la proporción de éste en el N total del suelo ($r = 0.55$). Sin embargo, las estimaciones de Fraile (1989), indican una cantidad alta de nitrógeno total aportado por la lombrices en pasturas con árboles (502 - 927 kg/ha/año); cantidades que son difíciles de obtener en los sistemas agrícolas.

La correlación entre la biomasa de lombrices y el calcio, se esperaba que fuera positiva: primero, porque en los suelos de San Juan Sur fue aplicada una corrección con cal (Tineo, 1993) y segundo, que *Pontoscolex corethrus* es una especie con glándulas calcíferas, que las hace tener un papel muy activo en la recirculación de este elemento (Fraile, 1989). En los callejones a 4 metros, no se presentó ninguna correlación significativa con los nutrientes evaluados.

En cuanto a la mucuna, la relación entre el número de lombrices/m² y el contenido de magnesio aportado (Cuadro 9), podría favorecer la reproducción de lombrices y es posible que por esta razón la mucuna sea el tratamiento con mayor abundancia, pero con biomasa similar a los demás tratamientos.

El estiércol presentó una correlación lógica, ya que al aumentar el contenido de éste en el suelo, se aumentan los contenidos de nutrimentos y contribuye al aumento en la abundancia de lombrices. No hay que olvidar que en este estudio el estiércol fue la única cobertura aplicada al suelo. Finalmente con el mulch de *Erythrina* no se obtuvo correlación estadísticamente significativa.

VIII. CONCLUSIONES

1. Se determinó que las enmiendas orgánicas de *Mucuna deeringiana* y mulch de *Erythrina* tienen un efecto positivo sobre las características biológicas y propiedades químicas del suelo, manteniendo la productividad de los cultivos y la reserva de nutrientes en comparación con el sistema tradicional de cultivo.
2. El rendimiento de grano de frijol fue superior en los tratamientos con enmiendas orgánicas de mulch de *Erythrina berteroana* y *Mucuna deeringiana*, superando al testigo en un 100%. El rendimiento obtenido por el testigo fue el menor de todos los tratamientos y estadísticamente igual al obtenido por los sistemas en callejones.
3. El contenido de fósforo en la masa microbiana fue superior en el sistema en callejones a 6 metros, seguido por el mulch de *Erythrina*. Además, presentó una estrecha relación con los contenidos de nutrientes aportados (N, P, K, Ca y Mg) por la biomasa aplicada, de manera que el P-microbiano es superior en los tratamientos con mayor producción de materia seca (Mulch). En el suelo desnudo se presentó el menor contenido de fósforo en la masa microbiana, que evidencia la presencia de alguna actividad microbiana en el suelo, tomando en cuenta que físicamente no tuvo nada (cultivo y enmienda).
4. El fósforo total en el suelo fue similar en todos los tratamientos evaluados, ya que el contenido del suelo desnudo y los tratamientos con enmiendas no varían significativamente. Esto significa, que la mayor cantidad del fósforo está retenido por el suelo. Sin embargo, los tratamientos con *Mucuna deeringiana* y con mulch de *Erythrina berteroana* son los que presentan los mayores promedios, lo que indica que la fracción disponible para el cultivo proviene en un buen porcentaje de estas enmiendas, evitando pérdidas en las reservas de suelo.
5. Basado en el uso de una sola variedad de frijol, la extracción de fósforo por medio del cultivo fue similar en todos los tratamientos. Sin embargo, el testigo presentó mayor extracción de fósforo que con mucuna. La cantidad de fósforo extraído por el cultivo en este periodo, fue menor a la extraída en años anteriores.

6. En relación al aporte de fósforo por las enmiendas, se determinó que los tratamientos con mucuna y mulch fueron los que aportaron mayores cantidades en toda la evaluación. Sin embargo, el comportamiento de mucuna es mejor, tomando en cuenta que presenta una eficiente recirculación de nutrimentos al ser fuente *in situ* de fósforo. Por otro lado, el mulch y estiércol sí realizan un aporte al sistema, por ser fuentes *ex situ* de fósforo, donde el mulch fue más estable en el periodo de estudio. Esto puede estar influenciado a los factores mencionados por Sánchez (1981); Valdés y Abastida (1993) como: la clase de animal, la dieta, la edad y el manejo de los animales.
7. Se determinó a *Pontoscolex corethrus*, como la única especie de lombriz en todos los tratamientos. La abundancia de lombrices fue mayor en los tratamientos con mucuna y mulch. El suelo desnudo presentó el menor número de lombrices/m², lo que también verifica la presencia de actividad biológica en estos suelos. En cuanto a la biomasa de lombrices no se determinó diferencias significativas entre tratamientos, pero la mucuna fue la que presentó la media más alta. Todo esto indica que la mucuna es una enmienda que brinda a las lombrices mejores condiciones (de humedad, temperatura, cantidad y calidad de biomasa radicular), así como una mejor correlación con los nutrimentos adicionados.
8. El mayor aporte de nitrógeno y potasio se obtuvo con la mucuna y el mulch. Sin embargo, el estiércol fue una buena fuente externa de nitrógeno y potasio, pero su comportamiento fue muy variable en el periodo de estudio, variando considerablemente la producción de materia seca en las dos evaluaciones.
9. En relación al calcio, se determinó que los mejores tratamientos fueron la mucuna y el material proveniente de los callejones a 4 metros, pero el balance solo fue positivo para la mucuna. Al igual que en los otros nutrimentos, el estiércol fue una buena fuente externa de calcio, pero su composición varió entre la primera y la segunda aplicación.
10. Con el magnesio se determinó que los mejores tratamientos fueron el estiércol bovino y el mulch de *Erythrina*. Este nutrimento, fue el único en el cual el estiércol se comportó de manera estable en su contenido. Sin embargo, fue evidente notar que se presentó deficiencias de magnesio en casi todos los tratamientos.

IX. RECOMENDACIONES

1. Es recomendable mantener la superficie del suelo siempre protegida con alguna cobertura vegetal de preferencia una leguminosa (mucuna o mulch de *Erythrina*), con el fin de mejorar o mantener estables las condiciones químicas (nutrimentos) y biológicas (macro y microfauna) del suelo, que podrían mejorar la productividad de los cultivos.
2. Desde el punto de vista biofísico se recomienda el uso de *Mucuna deeringiana* (*in situ*) y mulch de *Erythrina* (*ex situ*), como enmiendas orgánicas para el suelo, debido a que mantienen estables los balances nutricionales (N, P, K, Ca, Mg y contenido de materia seca) e incrementan la actividad biológica (mejora la abundancia, biomasa de lombrices y aumenta el fósforo en la masa microbiana). Sería aconsejable incrementar la cantidad de biomasa por unidad de área, y determinar si es proporcional al aumento en el contenido de nutrimentos aportados.
3. Paralelamente al uso de las enmiendas orgánicas de mucuna y mulch, usar fertilizantes a base de magnesio y calcio en pocas cantidades, con el fin de corregir las deficiencias y mantener el sistema con saldos positivos. De esa forma, el sistema funciona en forma sostenible durante más tiempo, dado a que el uso de insumos externos es mínimo.
4. Con el fin de obtener resultados más consistentes en relación a la actividad microbiológica, se recomienda para futuras investigaciones ampliar el tiempo de estudio o realizarlo por lo menos 2 años más, ya que podría variar con el aumento de la cantidad de biomasa o con el uso de otras coberturas.
5. Debido a que en este estudio se presentó mucha variación en el contenido de nutrimentos del estiércol y obviamente en su relación con otras variables, es recomendable continuar con evaluaciones sobre el mismo para conocer más detalladamente sus variaciones y poder determinar su estabilidad en el contenido de nutrimentos

6. Es recomendable, que cada vez que se utilice el método para la determinación de fósforo en la masa microbiana, se calibre con el tipo de suelo que se utilizará, ya que puede variar la cantidad de alicuotas a tomar u otro proceso específico en el análisis químico a realizar. Además, es imprescindible realizar una calibración en los equipos de laboratorio que se utilicen, así como de las matrices, ya que los resultados pueden variar dependiendo de las condiciones que presente cada laboratorio (clima del lugar, infraestructura), así como las condiciones mismas del equipo.

X. BIBLIOGRAFIA

- ABAWI, G.S.; THURSTON, H.D.** 1994. Efecto de las coberturas y enmiendas orgánicas al suelo y de los cultivos de cobertura sobre los patógenos del suelo y las enfermedades radicales: una revisión. *In* Taller sobre sistemas de siembra con coberturas: sistemas sostenibles (1992, Turrialba, Costa Rica). Tapado; los sistemas de siembra con cobertura. Eds. Thurston, D.; Smith, M.; Abawi, G.; Kearn, S. Ithaca, N.Y., (EUA), CATIE-CIFAD. pp. 97-108.
- ALDUNATE D., J.** 1984. Establecimiento y manejo de frijol terciopelo (*Mucuna sp* L.) como cobertura viva para el combate de malezas en Maíz (*Zea mays* L.). Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE-UCR. pp. 20-30.
- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J.S.I. (Eds.)** 1992. Tropical soil biology an fertility: A handbook of methods. 2a. Ed. CAB International, Wallingford, England. pp 87-88.
- ARRIAZA V., N.A.** 1995. Comparación de tres prácticas agronómicas para el manejo y conservación de suelos en ladera, bajo el sistema frijol-maíz en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 3 - 52.
- BEER, J.W.** 1988. Litter production and nutrient cycling in coffe (*Coffea arabiga*) or cacao (*Theobroma cacao*) plantations with shade trees. *Agroforestry Systems* 7 (2). pp. 103-114.
- BELLOWS, B.C.** 1994. Frijol tapado, frijol a espeque y labranza cero: una comparación socioeconómica y agroecológica de los métodos de producción de frijol en Costa Rica. *In* Taller sobre sistemas de siembra con coberturas: sistemas sostenibles (1992, Turrialba, Costa Rica). Tapado; los sistemas de siembra con cobertura. Eds. Thurston, D.; Smith, M.; Abawi, G.; Kearn, S. Ithaca, N.Y., (EUA), CATIE-CIFAD. pp. 123-136.
- BOWMAN, R.A.** 1989. A sequential extraction procedure with concentrated sulphuric acid and dilute base for soil organic phosphorus. *Soil Science Society of America Journal* (EE.UU.) 53:362-366.
- BROOKES, P.C.; POWLOSON, D.S.; JENKINSON, D.S.** 1982. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. *Soil Biology and Biochemistry* (G.B.) 14: 319-329.
- _____ ; **LANDMAN, A.; PRUDEN, G.; JENKINSON, D.S.** 1985. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biology and Biochemistry* (G.B) 17: 837-842.

- BUNCH, R.** 1994. El potencial de coberturas muertas en el alivio de la pobreza y degradación ambiental. *In* Taller sobre sistemas de siembra con coberturas: sistemas sostenibles (1992, Turrialba, Costa Rica). Tapado; los sistemas de siembra con cobertura. Eds. Thurston, D.; Smith, M.; Abawi, G.; Kearl, S. Ithaca, N.Y., (EUA), CATIE-CIFAD. p. 5-10.
- CAMPOS, W.A.** 1987. Manipulación del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*, L.) para superar diversos mecanismos de retención de fósforo en suelos de Centroamérica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 173 p.
- CURRY, J.P.** 1986. Effects of management on soil decomposers and decomposition processes in grassland. *In* Microflora and faunal interactions in natural and agroecosystems. Eds. M. J. Mitchell; J. P. Nakas. Dordrecht, Netherlands. M. Nijhoff/Dr. W. Junk Publisher. pp. 349-398.
- DELGADO C., E.** 1971. El nivel crítico del fósforo en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis Ing. Agr. San José, Costa Rica, Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. 58 p.
- DENSLOW, J.S.; VITOUSER, P.M.; SCHULTZ, J.C.** 1987. Bioassay of nutrient limitation in a tropical rain forest soil. *Oecología* 74: 370-376.
- EDWARDS, C.A.; LOFTY, J.R.** 1980. Effects of earthworms inoculations on the root growth of direct drilled cereals. *Journal of Applied Ecology* (G.B.) 17:533-544.
- FASSBENDER, H.W.** 1967. Formas de los fosfatos en algunos suelos de la zona oriental de la meseta central y de las llanuras Atlánticas de Costa Rica. *Fitotecnia Latinoamericana* 3(1-2): 187-202.
- _____. 1989. Ciclo de los elementos nutritivos en sistemas agroforestales de café con árboles de sombra en el "experimento central" del CATIE. *In* Seminario avances en la investigación agroforestal. (1985/Turrialba, C. R.). Beer, J. W.; Fassbender, H. W.; Heuvelodp, J. (Eds). Turrialba, Costa Rica, CATIE-GTZ. pp. 176-186.
- _____; **ALPIZAR, L.** 1989. Criterios para la evaluación de materia orgánica y del ciclo de nutrimentos en sistemas agroforestales. *In* Seminario avances en la investigación agroforestal. (1985/Turrialba, C. R.). Beer, J. W.; Fassbender, H. W.; Heuvelodp, J. (Eds). Turrialba, Costa Rica, CATIE-GTZ. pp. 105-118.
- _____. 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. 2da. edición. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 395 - 422. (Serie de materiales de enseñanza No. 29)
- _____; **BORNEMISZA, E.** 1994. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Hans W. Fassbender y Elemer Bornemisza (eds). 2a. De. San José, Costa Rica: IICA. pp. 255-306.

- FLORES B., M.** 1994. Utilización de leguminosas de cobertura en sistemas agrícolas tradicionales de Centroamérica. *In* Taller sobre sistemas de siembra con coberturas: sistemas sostenibles (1992, Turrialba, Costa Rica). Tapado; los sistemas de siembra con cobertura. Eds. Thurston, D.; Smith, M.; Abawi, G.; Kears, S. Ithaca, N.Y., (EUA), CATIE-CIFAD. pp. 157-166.
- FRAGOSO, C.; LAVELLE, P.** 1992. Earthworm communities of tropical rain forest. *Soil Biology and Biochemistry* (G.B.) 24(12):1397-1408.
- FRAILE MERINO, J.** 1989. Población de lombrices de tierra (*Oligochaeta: Annelidae*) en una pastura de *Cynodon plestostachyus* asociada con árboles de *Erythrina poeppigiana*, en una pastura asociada con árboles de *Cordia alliodora*, una pastura sin árboles y vegetación a libre crecimiento, en el CATIE, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C. R., UCR/CATIE. 235 p.
- GRISI, B.M.** 1984. Metodología da determinação de biomassa microbiana de solo. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo* (Brasil) 8:167-172.
- GUTTERIDGE, R.C.; SHELTON, H.M.** 1994. El campo y el potencial de las leguminosas arbóreas en la agroforestería. *In* Krishnamurthy, L.; Leos-Rodríguez, J. A. (Eds.). *Agroforestería en desarrollo: educación, investigación y extensión*. 1a. edición en español. Chapingo, México, Universidad Autónoma de Chapingo. pp. 17-44.
- HAGGAR, J.** 1990. Nitrogen and phosphorus dynamics of systems integrating trees and annual crops in the tropics. Ph. D. thesis. Cambridge, England. University of Cambridge. 162 p.
- HARWOOD, R.R.** 1987. Agroforestry and mixed farming systems. *In* *Ecological development in the humid tropics. Guidelines for planners*. (A. Lugo, J. R. Clark and R. D. Child, Eds.). Winrock International development. Morrilton, Arkansas. 271-301 p.
- HEDLEY, M.J.; STEAWART J.W.B.; CHAUHAN, B.S.** 1982. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Science Society of America Journal* (EE.UU.) 46:970-976.
- HENRIQUEZ, C.; BERTSCH, F.; CABALCETA, G.** 1990. Efecto de la variación del potasio disponible en el suelo sobre la absorción de Ca, Mg y K y sus interacciones foliares. *Agronomía Costarricense* (C.R.) 14(2):223-230.
- HOLDRIDGE, L.R.** 1987. *Ecología basada en las zonas de vida*. IICA, Costa Rica. 216 p.
- HOLT- GIMENEZ, E.; PASOS, R.** 1994. "Campesino a campesino": el potencial campesino de generación y transferencia del río San Juan, Nicaragua. *In* Taller sobre sistemas de siembra con coberturas: sistemas sostenibles (1992, Turrialba, Costa Rica). Tapado; los sistemas de siembra con cobertura. Eds. Thurston, D.; Smith, M.; Abawi, G.; Kears, S. Ithaca, N.Y., (EUA), CATIE-CIFAD. p. 81-89.

- HOLTER, P.** 1983. Effect of earthworms on the disappearance rate of cattle droppings. *In* Earthworm Ecology from Darwin to vermiculture. Ed. J.E. Satchell. Chapman, London. P. 49-57.
- ICRAF.** 1994. Creciendo juntos la agroforestería y el ICRAF. Nairobi, Kenia. 24 p.
- JENKINSON, D.S.; LADD, J.N.** 1981. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. *In* Paul, E. A.; Ladd, J. N. (Eds.). Soil Biochemistry (Dekker, New York) 5:415-471.
- KANG, B.T.; WILSON, G.F.** 1981. Alley cropping maize (*Zea mays*) and leucaena (*Leucaena leucocephala* Lam.) in Southern Nigeria. Plant and Soil (Holanda) 63:165-179.
- _____. 1994. Cultivo en callejones: logros y perspectivas. *In* Krishnamurthy, L; Leos-Rodríguez, J. A. (Eds.). Agroforestería en desarrollo: educación, investigación y extensión. 1a. edición en español. Chapingo, México, Universidad Autónoma de Chapingo. pp. 61-82
- KASS, L. D.; BARRANTES, A.; BERMUDEZ, W.; CAMPOS, W.; JIMENEZ, M.; SANCHEZ, J.** 1989. Resultados de seis años de investigación de cultivo en callejones (alley cropping) en la "La Montaña", Turrialba, Costa Rica. El Chasqui (C. R.) 19: 5-24.
- _____. 1989. Cultivo en callejones de cultivos alimenticios con leguminosas leñosas en Costa Rica. *In* Seminario avances en la investigación agroforestal. (1985/Turrialba, C. R.). Beer, J. W.; Fassbender, H. W.; Heuveldop, J. (Eds). Turrialba, Costa Rica, CATIE-GTZ. pp. 222-236.
- _____, **BELLOWS, B.C.; ARAYA S., J.F.** 1994. Comparación entre los sistemas frijol tapado y cultivo en callejones. *In* Taller sobre sistemas de siembra con coberturas: sistemas sostenibles (1992, Turrialba, Costa Rica). Tapado; los sistemas de siembra con cobertura. Eds. Thurston, D.; Smith, M.; Abawi, G.; Kearl, S. Ithaca, N.Y., (EUA), CATIE-CIFAD. p. 19-28.
- _____. 1995. Importancia de los suelos en Agroforestería. Material del curso Manejo sostenible de suelos. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 9 p.
- LAVELLE, P.; SWIFT, M.J.** 1994. Origin and regulation of nutrient supply to plants in humidtropical grassland. *In* International Grassland Congress (17, 1993, Palmerston North, New Zeland/Queensland Australia). Proceedings. Palmerston North, New Zeland Grassland Asociations/ Tropical grassland Society of Australian/ New Zeland Society of Animal Production/ Australian Society of Animal Production/ New Zeland Institute of Agricultural Science. pp. 1535-1540.
- LEE, K.E.** 1985. Earthworms their ecology and relationship with soils and land use. Orlando (Fla.), Academic Press. 416 p.

- MARUMOTO, T.; ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H.** 1982. Mineralization of nutrients from soil microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry* (G. B.) 14:469-475.
- MACêDO, J.L.V.** 1996. Efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas de origen animal y vegetal sobre las formas y disponibilidad de fósforo en el suelo en un sistema de cultivo en callejones. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 54 p.
- MELARA, W.; DEL RIO, L.** 1994. Uso de labranza mínima y leguminosas de cobertura en Honduras. *In* Taller sobre sistemas de siembra con coberturas: sistemas sostenibles (1992, Turrialba, Costa Rica). Tapado; los sistemas de siembra con cobertura. Eds. Thurston, D.; Smith, M.; Abawi, G.; Kearl, S. Ithaca, N.Y., (EUA), CATIE-CIFAD. p. 57-64.
- MONGE V., L.A.** 1989. Cultivo del frijol. 2 ed. San José, Costa Rica, EUNED. p. 135-192.
- MONTAGNINI, F.** 1992. Sistemas agroforestales: Principios y aplicaciones en los trópicos. 2 ed. rev. y aum. San José, C.R. Organización para estudios tropicales. p. 17, 59-88.
- MORENO, R.A.; SANCHEZ, J.F.** 1994. Efecto del uso de mantillos en la práctica del intercultivo. *In* Taller sobre sistemas de siembra con coberturas: sistemas sostenibles (1992, Turrialba, Costa Rica). Tapado; los sistemas de siembra con cobertura. Eds. Thurston, D.; Smith, M.; Abawi, G.; Kearl, S. Ithaca, N.Y., (EUA), CATIE-CIFAD. pp. 201-216.
- OÑORO, P.** Diseño y análisis de experimentos: contenido del curso. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 31 - 52.
- PALM, C.A.; McKERROW, A.J.; GLASENER, K. M.; SZOTT, L.T.** 1989. Agroforestry systems in low land tropics: is phosphorus important?. *In* Regional Workshop (3er., 1989, Maracay, Venezuela). 1989. Phosphorus cycles in terrestrial and aquatic ecosystems. Eds. Tiessen, Holm; López-Hernández, Danilo; Salcedo, Y. Maracay, Venezuela, SCOPE - UNEP. pp. 134-141.
- PANIAGUA V., A.M.** 1991. Metodología de fraccionamiento de fósforo del suelo en un sistema de cultivo en callejones, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 92 p.
- PEREZ, E.** 1990. Evaluación del ensayo clonal de *Erythrina spp.* en San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 10 - 50.
- RAMIREZ, C.A.; BORNEMISZA E.** 1990. Efectos de residuos orgánicos y abonamiento mineral sobre las propiedades químicas de un Typic Humitropept en Turrialba, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* (Costa Rica) 14(2):237-240.
- REYNEL R., C; LEON G., J.** 1990. Árboles y arbustos andinos para agroforestería y conservación de suelos: Especies forestales útiles para el productor agropecuario. Tomo I. Lima, Perú. Proyecto FAO Holanda/ DGFF. 102 p.

- ROSE, C.J.; WOOD, A.W.** 1980. Some environmental factors affecting earthworm populations and sweet potato productions in the tari basin, Papua New Guinea highlands. *Papua New Guinea Agricultural Journal (Papua New Guinea)* 31(1-4):1-13.
- RUSSO A., R.O.** 1983. Efecto de la poda de *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O. F. Cook (poró), sobre la nodulación, producción de biomada y contenido de nitrógeno en el suelo en un sistema agroforestal "Café-poró". Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 108 p.
- SALAS, G. DE LAS.** 1987. Suelos y ecosistemas forestales; con énfasis en América tropical. San José, Costa Rica. IICA. 447 p.
- SANCHEZ, P.A.** 1981. Suelos del trópico, características y manejo. Trad. E. Camacho. San José, Costa Rica, IICA. 634 p.
- _____. 1987. Soil productivity and sustainability of agroforestry systems. *In* Steppler, H. A.; Nair, P.K.R. *Agroforestry, a decade of development*. Nairobi, Kenia, ICRAF. 335 p.
- STEEL, R & H. TORRIE.** 1988. Bioestadística: principios y procedimientos. Mc Graw-Hill/Interamericana. México. 622 p.
- SOTO-PINTO, L.; KASS, D.L.; SZOTT, L.; FERREIRA, P.** 1993. Dinámica de la eficiencia de uso y balance de nutrimentos en sistemas agroforestales y cultivo con enmiendas orgánicas en la montaña, Turrialba, Costa Rica. *In* Memorias de la Semana Científica (1, 1993, Turrialba, Costa Rica). 1993. Programa Agricultura Tropical Sostenible. Eds. Salazar, R. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 1:33-34.
- SZOTT, L. T.; KASS, D.C.L.** 1994. Los fertilizantes en los sistemas agroforestales. *In* Krishnamurthy, L; Leos-Rodríguez, J. A. (Eds.). *Agroforestería en desarrollo: educación, investigación y extensión*. 1a. edición en español. Chapingo, México, Universidad Autonoma de Chapingo. pp. 83-109.
- TATE, K.R.** 1984. The biological transformation of P in soil. *Plant and Soil (Holanda)* 76:245-256.
- TIAN, G.** 1992a. Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions on plant and soil under humid tropical conditions. Ph. D. Thesis. Wageningen, The Netherlands. Wageningen Agricultural University. 114 p.
- _____. 1992b. Earthworm - and millipede-enhanced degradation of plant residues in relation to their chemical compositions, incubation temperature and soils moisture. *In* _____ Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions on plant and soil under humid tropical conditions. Wageningen, The Netherlands, Wageningen Agricultural University. pp. 69-87.

- _____. 1992c. Mulching effects of plant residues with chemically contrasting compositions on crop performance. In _____. Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions on plant and soil under humid tropical conditions. Wageningen, The Netherlands. Wageningen Agricultural University. pp. 87-107.
- TIESSEN, H.** 1992. The study of phosphorus cycles in ecosystems. In Anderson, J. M.; Ingram, J. S. I. (Eds.) Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods. 2a. Ed. CAB International, Wallingford, England. pp 179-188.
- TINEO B., A.L.** 1993. Erosión hídrica y análisis de transferencia de N, P, K, Ca y Mg, en una rotación frijol - maíz con prácticas agronómicas de conservación de suelos, en tierras de ladera, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 1 - 60.
- TORRES M., M.I.** 1995. Características físicas, químicas y biológicas en suelos bajo pasturas de *Brachiaria brizantha* sola y en asocio con *Arachis pintoii* después de cuatro años de pastoreo en el trópico húmedo de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 98 p.
- THURSTON, H.D.** 1994. Sistemas de corte y cobertura: los olvidados agroecosistemas sostenibles del trópico. In Taller sobre sistemas de siembra con coberturas: sistemas sostenibles (1992, Turrialba, Costa Rica). Tapado; los sistemas de siembra con cobertura. Eds. Thurston, D.; Smith, M.; Abawi, G.; Kearl, S. Ithaca, N.Y., (EUA), CATIE-CIFAD. pp. 29-44.
- VALDES, M.C.; ABASTIDA, I.** 1993. Agroforestería y conservación de suelos. Siguatepeque, Honduras, Cooperación Hondureña de Desarrollo Forestal: fortalecimiento del sistema social forestal. 126 p. (Serie Manuales Técnicos No.5).
- VILAS B., O.** 1990. Descomposición de hojarasca y mineralización del nitrógeno de la materia orgánica del suelo bajo cuatro sistemas agroforestales en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. P.81-100.
- VON UEXKÜLL, H.R.** 1990. El uso eficaz de los fertilizantes en los suelos ácidos de las tierras altas de los trópicos húmedos. Boletín FAO: Fertilizantes y nutrición vegetal No.10. FAO, Roma. 64 p.
- YOUNG, A.** 1989. Agroforestry for soil conservation. CAB/ICRAF. p. 81 - 130.

XI. ANEXOS

Anexo 1: Mediciones de árboles en los sistemas de callejones de *Erythrina berteroana*.

Sistemas en Callejones de 4 y 6 metros	No. Brotes	Diámetro Basal (m)	Altura Total (m)	Altura del Tocón (m)	Diam copa Ancho (m)	Diam copa Largo (m)
Bloque A (poda 1)	8.0	0.2	1.3	1.0	1.1	0.8
Bloque B (poda 1)	11.1	0.2	1.6	1.0	1.2	0.7
Bloque C (poda 1)	12.5	0.2	2.1	1.0	1.3	1.1
Promedios	10.5	0.2	1.7	1.0	1.2	0.8
Bloque A (poda 2)	7.9	0.2	1.4	1.0	1.3	0.9
Bloque B (poda 2)	9.4	0.2	1.5	1.0	1.1	0.8
Bloque C (poda 2)	14.6	0.2	2.5	1.0	2.4	1.6
Promedios	10.6	0.2	1.8	1.0	1.6	1.1
Callejones 4 metros	10.6	0.2	1.7	1.0	1.4	1.0
Bloque A (poda 1)	6.9	0.2	1.9	1.0	1.3	0.8
Bloque B (poda 1)	11.5	0.2	1.8	0.9	1.3	1.0
Bloque C (poda 1)	15.8	0.2	2.2	1.0	1.6	1.1
Promedios	11.4	0.2	2.0	0.9	1.4	1.0
Bloque A (poda 2)	8.8	0.2	1.7	1.0	1.7	1.2
Bloque B (poda 2)	10.4	0.3	1.5	0.9	1.4	1.0
Bloque C (poda 2)	17.0	0.2	2.2	1.0	2.4	1.4
Promedios	12.0	0.2	1.8	1.0	1.8	1.2
Callejones 6 metros	11.7	0.2	1.9	1.0	1.6	1.1

Anexo 2: Cálculo de BVT y MST (kg/ha) de los sistemas en callejones. (El cálculo se realizó por medio de hojas electrónicas sincronizadas, donde se calculó el contenido en cada componente de la enmienda evaluada). Callejones a 6 m, bloque A.

Trat.	Árbol	Peso fresco en la muestra de:				Total muestra	Porcentaje (%) de:			
		Hoja	Tallo Tierno	Tallo Leñoso	Flor		Hoja	Tallo Tierno	Tallo Leñoso	Flor
CC-6m	1	0.300	0.050	0.900	0.021	1.27	0.24	0.04	0.71	0.02
CC-6m	2	0.250	0.100	0.750	0.011	1.11	0.23	0.09	0.68	0.01
CC-6m	3	0.200	0.034	1.050	0.070	1.35	0.15	0.03	0.78	0.05
CC-6m	4	0.080	0.028	0.500	0.070	0.68	0.12	0.04	0.74	0.10
CC-6m	5	0.550	0.150	1.100	0.024	1.82	0.30	0.08	0.60	0.01
cCC-6m	6	0.250	0.050	1.000	0.012	1.31	0.19	0.04	0.76	0.01
CC-6m	7	0.500	39.000	1.350	0.004	40.85	0.01	0.95	0.03	0.00
CC-6m	8	0.380	80.000	1.400	0.001	81.78	0.00	0.98	0.02	0.00
PROMEDIO							0.15	0.28	0.54	0.03

... /continuación anexo 2.

Consideraciones en los sistemas en callejones:

Cultivo en callejones a 6 metros	Cultivo en callejones a 4 metros
Espaciamiento de los árboles: 6.0 m x 0.5 m = <u>3m²/árbol</u>	Espaciamiento de los árboles: 4.0 m x 0.5 m = <u>2 m²/árbol</u>
Entonces: Nº de árboles/ha = 10000 m ² /3 m ² = = <u>3333 árboles/ha.</u>	Entonces: Nº de árboles/ha = 10000 m ² /2 m ² = = <u>5000 árboles/ha.</u>

- Datos del bloque A, CC-6m. Estos se utilizan para cálculos posteriores.

Comp.	% MS	No. de árboles/ha
Hoja	0.242	
Tallo Tierno	0.265	3333
Tallo Leñoso	0.326	
Flor	0.156	

- Se determina la biomasa verde total/árbol:

$$\text{Para este ejemplo} = (2.95 + 1.95 + 1.40 + 1.45)/8\text{árboles} = \underline{0.96875 \text{ kg/árbol.}}$$

- Se determina la biomasa por componente del árbol =

Promedio de biomasa total/árbol x promedio % de hoja (ver cuadro)

0.96875 kg/árbol	x	0.15543	=	0.150574245 kg de hoja/árbol.	
0.96875	"	x	0.28112	=	0.272333139 Kg de tallo tierno/árbol.
0.96875	"	x	0.53894	=	0.522100939 kg de tallo leñoso/árbol.
0.96875	"	x	0.02547	=	0.024676641 kg de flor/árbol.

- Se determina el contenido de BVT = 3333 árboles/ha x kg de cada componente del árbol.

3333 árboles/ha	x	0.150574245 kg de hoja/árbol	=	498.748 kg de hoja/ha.
3333 árboles/ha	x	0.272333139 Kg de tallo tierno/árbol	=	907.686 kg tallo tierno/ha.
3333 árboles/ha	x	0.522100939 kg de tallo leñoso/árbol	=	740.162 kg tallo leñoso/ha
3333 árboles/ha	x	0.024676641 kg de flor/árbol	=	82.247 kg de flor/ha.

- Se determina el contenido de MST = Kg de cada componente x %M.S. de cada uno.

498.748 kg de hoja/ha	x	0.242 =	120.75 kg MS-hoja/ha.
907.686 kg tallo tierno/ha	x	0.265 =	240.455 kg MS-tallo tierno/ha.
740.162 kg tallo leñoso/ha	x	0.326 =	566.562 kg MS-tallo leñoso/ha.
82.247 kg de flor/ha	x	0.156 =	12.828 kg MS-flor/ha.

- Se calcula el contenido de nutrimentos por cada componente del árbol:

kg MS-de cada componente	x	el porcentaje del nutrimento (N, P, K, Ca y Mg) determinado en el laboratorio
--------------------------	---	---

Anexo 3: Primer conteo de lombrices por método de marco (25x25x10 cm) 13/03/96.

Identific	Tratams.	No. de Lombriz	Peso (g) Lombriz	Lombriz por M2	Lombriz por Ha	Peso (kg) por M2	Peso (kg) por Ha	No lombrices Transformado
A1	Testigo	5	15.001	13	125077.8	0.0800	800.1	2.35
A2	CC-4m	8	2.314	16	155492.1	0.0123	123.4	2.92
A3	CC-6m	3	11.808	10	99777.5	0.0630	629.8	1.87
A4	Mucuna	13	38.050	20	195959.2	0.2029	2029.3	3.67
A5	Mulch	31	8.395	30	299332.6	0.0448	447.7	5.61
A6	Desnudo	1	0.383	7	65319.7	0.0020	20.4	1.22
A7	Estiércol	9	1.791	16	164384.4	0.0096	95.5	3.08
B1	Testigo	14	42.004	20	203087.3	0.2240	2240.2	3.81
B2	CC-4m	15	4.420	21	209973.5	0.0236	235.7	3.94
B3	CC-6m	15	5.922	21	209973.5	0.0316	315.8	3.94
B4	Mucuna	10	29.265	17	172819.8	0.1561	1560.8	3.24
B5	Mulch	27	7.570	28	279682.4	0.0404	403.7	5.24
B6	Desnudo	0	0.000	4	37712.4	0.0000	0.0	0.71
B7	Estiércol	26	59.679	27	274550.1	0.3183	3182.9	5.15
C1	Testigo	40	13.332	34	339411.3	0.0711	711.0	6.36
C2	CC-4m	5	1.502	13	125077.8	0.0080	80.1	2.35
C3	CC-6m	37	9.400	33	326598.6	0.0501	501.3	6.12
C4	Mucuna	41	14.010	34	343576.0	0.0747	747.2	6.44
C5	Mulch	75	24.144	46	463417.3	0.1288	1287.7	8.69
C6	Desnudo	0	0.000	4	37712.4	0.0000	0.0	0.71
C7	Estiércol	9	3.921	16	164384.4	0.0209	209.1	3.08

Anexo 4: Segundo conteo de lombrices por método de marco (25x25x20 cm) 20/07/96.

Identific	Tratams.	No. de Lombriz	Peso (g) Lombriz	Lombriz por M2	Lombriz por Ha	Peso (kg) por M2	Peso (kg) por Ha	Raiz (Número)
								No. lombrices Transformado
A1	Testigo	80	27.340	24	238514	0.0729	729.1	8.94
A2	CC-4m	92	47.360	26	255778	0.1263	1262.9	9.59
A3	CC-6m	65	29.480	21	214994	0.0786	786.1	8.06
A4	Mucuna	87	26.470	25	248730	0.0706	705.9	9.33
A5	Mulch	155	66.320	33	331997	0.1769	1768.5	12.45
A6	Desnudo	1	0.249	3	26667	0.0007	6.6	1.00
A7	Estiércol	112	45.450	28	282213	0.1212	1212.0	10.58
B1	Testigo	106	42.000	27	274550	0.1120	1120.0	10.30
B2	CC-4m	111	40.000	28	280951	0.1067	1066.7	10.54
B3	CC-6m	84	23.727	24	244404	0.0633	632.7	9.17
B4	Mucuna	120	30.710	29	292119	0.0819	818.9	10.95
B5	Mulch	173	37.280	35	350745	0.0994	994.1	13.15
B6	Desnudo	1	0.222	3	26667	0.0006	5.9	1.00
B7	Estiércol	124	49.930	30	296947	0.1331	1331.5	11.14
C1	Testigo	125	43.979	30	298142	0.1173	1172.8	11.18
C2	CC-4m	186	70.283	36	363685	0.1874	1874.2	13.64
C3	CC-6m	122	53.592	29	294543	0.1429	1429.1	11.05
C4	Mucuna	184	48.002	36	361724	0.1280	1280.1	13.56
C5	Mulch	275	45.963	44	442217	0.1226	1225.7	16.58
C6	Desnudo	3	0.997	5	46188	0.0027	26.6	1.73
C7	Estiércol	130	56.442	30	304047	0.1505	1505.1	11.40

Anexo 5: Madurez fisiológica del frijol en el primer ciclo de cultivo. 24/04/96.

Trats.	No. de Golpes	No. de Plantas	Muestra de Raiz			Muestra de Tallo + Hoja			Muestra de Vaina			Peso de bolsa
			P Fresco	P Seco	% M. S.	P Fresco	P Seco	% M. S.	P Fresco	P Seco	% M. S.	
A1	28	47	70	43	38.87	214	74	25.60	266	92	27.55	25.83
A2	28	53	80	50	44.65	204	68	23.68	258	88	26.79	25.80
A3	30	54	122	50	25.23	250	76	22.43	270	90	26.32	25.70
A4	28	49	90	42	25.23	228	70	21.86	210	78	28.34	25.80
A5	28	49	114	53	30.84	206	62	20.09	266	80	22.56	25.80
A7	23	36	64	37	29.74	198	66	23.45	252	74	21.39	25.57
B1	25	46	42	34	50.31	192	59	19.93	262	84	24.61	25.90
B2	25	46	61	42	46.78	202	62	20.77	190	59	20.46	25.30
B3	26	45	48	35	40.83	164	57	22.45	192	63	22.28	26.03
B4	22	36	86	49	38.61	322	98	24.39	286	94	26.23	25.73
B5	29	46	70	49	52.02	214	72	24.38	220	68	21.56	26.23
B7	30	46	66	47	52.58	242	78	24.10	192	66	24.13	25.93
C1	29	57	94	60	49.68	306	92	23.45	308	96	24.71	26.43
C2	30	51	70	45	43.44	270	82	23.01	242	78	24.14	25.80
C3	29	57	98	50	33.77	276	80	21.75	276	90	25.74	25.53
C4	26	50	86	51	41.50	214	74	25.46	280	94	26.72	26.17
C5	25	42	80	56	55.78	266	84	24.25	242	76	23.24	25.73
C7	28	52	68	47	49.92	192	57	18.64	240	74	22.40	26.07

Anexo 6: Muestreo de la primer cosecha de frijol para determinar rendimiento. 13/05/96.

Cosecha Parcela Util			Muestra de 12 plantas			% Humedad	Rend. Corr	Rend. final	
Trats.	No. golpes	No plantas Parc kg	No. Vainas	No. Grano	Peso de grano (kg)				
Testigo	195	296	1.28	72	357	0.07	11.49	1.37	571.57
CC-4m	161	244	0.88	71	361	0.07	10.22	0.98	407.81
CC-6m	164	230	0.93	61	334	0.06	10.40	1.02	423.15
Mucuna	197	337	1.93	90	498	0.10	10.72	2.08	867.67
Mulch	206	294	2.08	113	634	0.14	9.81	2.31	961.55
Estiércol	143	233	0.98	62	335	0.06	11.00	1.06	441.80

Area útil = 8 golpes x 30 golpes = (8 x 0.25m x (30 x 0.4m) = 24 m².

= 12 golpes x 20 golpes = (12 x 0.25m) x (30 x 0.4m) = 24 m². (Para estiércol)

Anexo 7: Análisis de varianza para la materia seca total en las enmiendas aplicadas (poda 1).

Fuente de Variación	g. l.	S. C.	C. M.	Fc
Bloque	2	203080	101540	1.00 ns
Tratamiento	4	2511333	627833	6.19 **
Error	8	811584	101448	
Total	14	3525999		

* Significativo (P>0.05) ;
R² = 77 % ;

** Significativo (P>0.01)
C. V. = 25 %.

Anexo 8: Análisis de varianza para materia seca total en las enmiendas aplicadas (poda 2).

Fuente de Variación	g. l.	S. C.	C. M.	Fc
Bloque	2	1601788	800894	2.17 ns
Tratamiento	4	10262668	2565667	6.97 *
Error	8	2945930	368241	
Total	14	14810386		

* Significativo (P>0.05) ;
R² = 80 % ;

** Significativo (P>0.01)
C. V. = 32 %.

Anexo 9: Análisis de varianza para el rendimiento de frijol en el primer ciclo.

Fuente de Variación	g. l.	S. C.	C. M.	Fc
Bloque	2	312902	156451	12.70 **
Tratamiento	5	886525	177305	14.40 **
Error	10	123151	12315	
Total	17	1322579		

* Significativo ($P > 0.05$); $R^2 = 91\%$;** Significativo ($P > 0.01$)

C. V. = 18 %.

Anexo 10: Análisis de varianza para P microbial en los tratamientos (segunda evaluación).

Fuente de Variación	g. l.	S. C.	C. M.	Fc
Bloque	2	95	47	0.14 ns
Tratamiento	6	1780	296	0.85 ns
Error	12	4176	348	
Total	20	6052		

* Significativo ($P > 0.05$); $R^2 = 31\%$;** Significativo ($P > 0.01$)

C. V. = 31% .

Anexo 11: Análisis de varianza para P microbial en los tratamientos (tercera evaluación).

Fuente de Variación	g. l.	S. C.	C. M.	Fc
Bloque	2	646	323	1.68 ns
Tratamiento	6	2748	458	2.38 *
Error	12	2310	192	
Total	20	5705		

* Significativo ($P > 0.05$); $R^2 = 60\%$;** Significativo ($P > 0.01$)

C. V. = 25% .

Anexo 12: Análisis de varianza para fósforo total en los tratamientos evaluados

Fuente de Variación	g. l.	S. C.	C. M.	Fc
Bloque	2	29125	14562	0.67 ns
Tratamiento	6	150125	25020	1.15 ns
Error	12	261767	21813	
Total	20	441017		

* Significativo (P>0.05) ;
R² = 41% ;

** Significativo (P>0.01)
C. V. = 11 %.

Anexo 13: Análisis de varianza para la extracción de fósforo por parte del frijol (primer ciclo).

Fuente de Variación	g. l.	S. C.	C. M.	Fc
Bloque	2	0.415877	0.207938	1.23 ns
Tratamiento	5	0.216094	0.043218	0.26 ns
Error	10	1.687055	0.168705	
Total	17	2.319027		

* Significativo (P>0.05) ;
R² = 28 % ;

** Significativo (P>0.01)
C. V. = 38 %.

Anexo 14: ANDEVA para el contenido de fósforo aportado por las enmiendas (poda 1).

Fuente de Variación	g. l.	S. C.	C. M.	Fc
Bloque	2	0.205507	0.102753	0.86 ns
Tratamiento	4	8.586907	2.146726	17.96 **
Error	8	0.956196	0.119524	
Total	14	9.748611		

* Significativo (P>0.05) ;
R² = 90 % ;

** Significativo (P>0.01)
C. V. = 14 %.

Anexo 15: ANDEVA para el contenido de fósforo aportado por las enmiendas (poda 2).

Fuente de Variación	g. l.	S. C.	C. M.	Fc
Bloque	2	14.2214	7.11	0.99 ns
Tratamiento	4	1515.95	378.98	52.83 **
Error	8	57.3889	7.1736	
Total	14	1587.5605		

* Significativo (P>0.05) ;
R² = 96 % ;

** Significativo (P>0.01)
C. V. = 33 %.

Anexo 16: Contenido de nutrimentos extraídos en el tejido vegetal del frijol (1er. ciclo).

Promedios de Extracción en el TALLO + HOJA					
	Kg Ca /ha	Kg Mg /ha	Kg K /ha	Kg P /ha	Kg N /ha
Testigo	10.43	0.78	4.81	0.36	9.96
Callejones a 4 metros	8.32	1.28	5.31	0.33	9.94
Callejones a 6 metros	8.26	0.95	3.16	0.29	8.58
Mucuna	8.71	0.69	3.34	0.30	9.59
Mulch de Erythrina	8.26	0.62	6.50	0.37	11.24
Estiercol bovino	5.33	0.92	3.96	0.28	7.71
Promedios de Extracción en la RAIZ					
	Kg Ca /ha	Kg Mg /ha	Kg K /ha	Kg P /ha	Kg N /ha
Testigo	0.77	0.39	0.75	0.06	1.91
Callejones a 4 metros	0.69	0.40	1.01	0.07	1.93
Callejones a 6 metros	0.72	0.43	0.69	0.02	1.85
Mucuna	0.81	0.44	0.70	0.04	2.07
Mulch de Erythrina	0.61	0.34	1.14	0.05	2.29
Estiercol bovino	0.84	0.67	0.92	0.04	1.79
Promedios de Extracción en la VAINA					
	Kg Ca /ha	Kg Mg /ha	Kg K /ha	Kg P /ha	Kg N /ha
Testigo	1.50	0.46	5.04	0.82	13.04
Callejones a 4 metros	1.08	0.51	4.70	0.65	11.92
Callejones a 6 metros	1.34	0.48	3.98	0.66	12.62
Mucuna	1.34	0.50	4.16	0.66	14.64
Mulch de Erythrina	1.47	0.57	5.99	0.79	13.34
Estiercol bovino	0.89	1.08	3.94	0.65	9.37

Anexo 17: Análisis de varianza para número de lombrices/ha (primer muestreo 13/03/96).

Fuente de Variación	g. l.	S. C.	C. M.	Fc
Bloque	2	3.4887x10 ¹⁰	1.7443x10 ¹⁰	3.26 ns
Tratamiento	6	1.4530x10 ¹¹	2.4217x10 ¹⁰	4.53 *
Error	12	6.4196x10 ¹⁰	5.3497x10 ⁹	
Total	20	2.4439x10 ¹¹		

* Significativo (P>0.05) ;
R² = 73% ;

** Significativo (P>0.01)
C. V. = 35%.

Anexo 18: Análisis de varianza para biomasa de lombrices/ha (primer muestreo 13/03/96).

Fuente de Variación	g. l.	S. C.	C. M.	Fc
Bloque	2	1625803	812901	1.32 ns
Tratamiento	6	5682302	947050	1.54 ns
Error	12			
Total	20			

* Significativo ($P > 0.05$);
 $R^2 = 49\%$;

** Significativo ($P > 0.01$)
 C. V. = 90%.

Anexo 19: Análisis de varianza para número de lombrices/ha (segundo muestreo 20/07/96).

Fuente de Variación	g. l.	S. C.	C. M.	Fc
Bloque	2	1.9424×10^{10}	9.7211×10^9	19.68 **
Tratamiento	6	2.0794×10^{11}	3.4657×10^{10}	70.17 **
Error	12	5.9271×10^9	4.9393×10^8	
Total	20	2.3331×10^{11}		

* Significativo ($P > 0.05$);
 $R^2 = 97\%$;

** Significativo ($P > 0.01$)
 C. V. = 8%.

Anexo 20: Análisis de varianza para biomasa de lombrices/ha (segundo muestreo 20/07/96).

Fuente de Variación	g. l.	S. C.	C. M.	Fc
Bloque	2	518715	259357	3.64 ns
Tratamiento	6	4117842	686307	9.63 **
Error	12	855375	71281	
Total	20	5491933		

* Significativo ($P > 0.05$);
 $R^2 = 84\%$;

** Significativo ($P > 0.01$)
 C. V. = 26%.

Anexo 21: Análisis de varianza para el contenido de nitrógeno de las enmiendas en ambas evaluaciones (enero y julio/96).

Fuente de Variación	g. l.	S. C.	C. M.	Fc
Bloque	2	99.2350	49.6175	0.70 ns
Tratamiento	4	5445.38	1361.34	19.12 **
Error	8	569.702	71.2128	
Total	14	6114.32		

* Significativo ($P > 0.05$);
 $R^2 = 90\%$;

** Significativo ($P > 0.01$)
 C. V. = 23%.

Fuente de Variación	g. l.	S. C.	C. M.	Fc
Bloque	2	731.036	365.518	1.30 ns
Tratamiento	4	4263.10	1065.77	3.80 *
Error	8			
Total	14			

* Significativo ($P > 0.05$);
 $R^2 = 69\%$;

** Significativo ($P > 0.01$)
 C. V. = 34%.

Anexo 22: Análisis de varianza para el contenido de potasio de las enmiendas en ambas evaluaciones (enero y julio/96).

Fuente de Variación	g. l.	S. C.	C. M.	Fc
Bloque	2	6.9106	3.4553	1.31 ns
Tratamiento	4	565.45	141.36	53.54 **
Error	8	21.120	2.6401	
Total	14	593.48		

* Significativo ($P > 0.05$);
 $R^2 = 96\%$;

** Significativo ($P > 0.01$)
 C. V. = 14%.

Fuente de Variación	g. l.	S. C.	C. M.	Fc
Bloque	2	82.4223	41.2111	1.87 ns
Tratamiento	4	3888.07	972.019	44.10 **
Error	8	176.311	22.0389	
Total	14	4146.81		

* Significativo ($P > 0.05$);
 $R^2 = 95\%$;

** Significativo ($P > 0.01$)
 C. V. = 22%.

Anexo 23: Análisis de varianza para el contenido de calcio de las enmiendas en ambas evaluaciones (enero y julio/96).

Fuente de Variación	g. l.	S. C.	C. M.	Fc
Bloque	2	6.7628	3.3814	1.77 ns
Tratamiento	4	143.106	35.776	18.72 **
Error	8	15.2893	1.9111	
Total	14	165.158		

* Significativo (P>0.05);
R² = 90 %;

** Significativo (P>0.01)
C. V. = 23%.

Fuente de Variación	g. l.	S. C.	C. M.	Fc
Bloque	2	160.714	80.3570	1.42 ns
Tratamiento	4	3456.86	864.215	15.26 **
Error	8	425.955	56.6194	
Total	14	4070.53		

* Significativo (P>0.05);
R² = 89%;

** Significativo (P>0.01)
C. V. = 34%.

Anexo 24: Análisis de varianza para el contenido de magnesio de las enmiendas en ambas evaluaciones (enero y julio/96).

Fuente de Variación	g. l.	S. C.	C. M.	Fc
Bloque	2	1.8010	0.9005	1.02 ns
Tratamiento	4	7.6812	1.9203	2.18 ns
Error	8	7.0328	0.8791	
Total	14	16.515		

* Significativo (P>0.05);
R² = 57%;

** Significativo (P>0.01)
C. V. = 41%.

Fuente de Variación	g. l.	S. C.	C. M.	Fc
Bloque	2	12.9668	6.4834	1.89 ns
Tratamiento	4	732.861	183.21	53.28 **
Error	8			
Total	14			

* Significativo (P>0.05);
R² = 96%;

** Significativo (P>0.01)
C. V. = 28%.

Anexo 25: Promedios de análisis químico de tejido vegetal en laboratorio (%), en el primer muestreo foliar (31/01/96).

Tratamientos	% Calcio	% Magnesio	% Potasio	% Fosforo	% Nitrogeno
CC4-Hoja	0.57	0.11	1.03	0.17	3.80
CC4-Tallo tierno	0.63	0.11	0.39	0.11	2.41
CC4-Tallo Leñoso	0.41	0.09	0.45	0.12	1.50
CC6-Hoja	0.59	0.09	1.10	0.17	3.58
CC6-Tallo Tierno	0.65	0.09	0.43	0.13	2.18
CC6-Tallo Leñoso	0.37	0.07	0.34	0.12	1.68
Mulch-Hoja	0.26	0.24	2.90	0.25	4.37
Mulch-Tallo	0.24	0.22	0.66	0.09	1.67
Mucuna (tallo + hoja)	0.67	0.09	0.63	0.20	4.07
Estiércol	0.49	0.44	1.31	0.44	2.17
CC4-Flor	0.17	0.18	2.32	0.43	4.58
CC6-Flor	0.17	0.14	1.99	0.41	4.93

Anexo 26: Promedios del segundo análisis químico de tejido vegetal en laboratorio (%), en el segundo muestreo foliar (3/7/96).

Tratamientos	% Calcio	% Magnesio	% Potasio	% Fosforo	% Nitrogeno
CC-4 Hoja	0.84	0.25	1.13	0.22	4.05
CC-4 Tallo Tierno	0.87	0.13	0.52	0.11	2.10
CC-4 Tallo Leñoso	0.62	0.08	0.42	0.09	1.74
CC-6 Hoja	0.80	0.18	0.80	0.17	2.92
CC-6 Tallo Tierno	0.94	0.10	0.39	0.09	2.07
CC-6 Tallo Leñoso	0.94	0.17	0.46	0.11	2.36
Mucuna (tallo + hoja)	1.67	0.15	1.12	0.26	3.58
Hoja Mulch	0.97	0.25	1.26	0.20	3.74
Tallo Mulch	0.44	0.26	0.72	0.11	1.35
Estiercol	1.53	0.61	1.56	0.83	2.27

En este muestreo no hubo presencia de flor en el componente arbóreo de los sistemas en callejones.

Anexo 27: Contenido de nutrimentos aportados por las fracciones de enmiendas (1er. Ciclo).

Enmiendas	Componente	BVT	BST	Ca	Mg	K	P	N
		Kg /ha	Kg /ha	Kg /ha	Kg /ha	Kg /ha	Kg /ha	Kg /ha
Callejones 6m	Hoja	631.41	160.44	0.93	0.18	1.81	0.27	5.94
	Tallo Tierno	517.33	143.36	0.86	0.14	0.62	0.18	3.13
	Tallo Leñoso	1884.10	581.38	2.19	1.43	2.03	0.65	9.77
	Flor	102.39	11.38	0.02	0.02	0.23	0.05	0.57
Callejones 4m	Hoja	1093.41	284.10	1.59	0.33	2.41	0.48	10.92
	Tallo Tierno	976.07	289.60	1.85	0.34	1.09	0.32	7.08
	Tallo Leñoso	3532.95	1061.91	4.26	1.02	4.52	1.25	16.10
	Flor	446.84	49.51	0.08	0.09	1.12	0.21	2.05
Mucuna	Tallo + hoja	9260.00	1691.89	11.25	1.55	10.73	3.38	68.91
Mulch	Hoja	3728.94	608.76	1.58	1.46	17.65	1.52	26.60
	Tallo	4271.06	798.63	1.92	1.76	5.27	0.72	13.34
Estiércol	Mezcla	8000.00	696.59	3.41	3.06	9.13	2.93	14.98

Anexo 28: Contenido de nutrimentos aportados por las fracciones de enmiendas (2do. Ciclo).

Enmienda	Componente	BVT	BST	Ca	Mg	K	P	N
		kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
Callejones 6m	Hoja	1619.93	454.56	3.11	0.69	2.80	0.57	10.05
	Tallo Tierno	563.85	177.83	1.70	0.21	0.72	0.17	3.55
	Tallo Leñoso	1454.74	441.50	4.71	0.99	2.39	1.30	12.34
Callejones 4m	Hoja	2695.42	724.16	7.69	2.28	7.65	1.55	29.51
	Tallo Tierno	670.84	208.53	1.77	0.30	1.25	0.23	4.08
	Tallo Leñoso	2290.00	717.49	4.05	0.61	3.24	1.59	10.66
Mucuna	Tallo + hoja	5165.56	1203.16	20.02	1.77	13.49	3.13	42.88
Mulch	Hoja	3993.37	1097.61	10.65	2.74	13.83	2.20	41.05
	Tallo	4006.63	1104.92	4.86	2.87	7.96	1.22	14.92
Estiércol	Mezcla	8000.00	3348.79	51.64	20.24	51.54	28.09	76.93