

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN AGROECOLOGÍA

MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL



**EFFECTO DEL COMPONENTE ARBÓREO DE SISTEMAS
SILVOPASTORILES SOBRE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE
NUTRIENTES, BIOMASA MICROBIAL Y DENSIDAD DE
LOMBRICES EN UN SUELO BAJO PASTOREO**

Tesis

Para optar al Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA

MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL

DIDEROT EULOGIO BAILON

Tingo María – Perú

2018



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
ESCUELA DE POSGRADO
DIRECCION



Av. Universitaria s/n .Telefax (062) 561070-Email: posgrado@unas.edu.pe

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

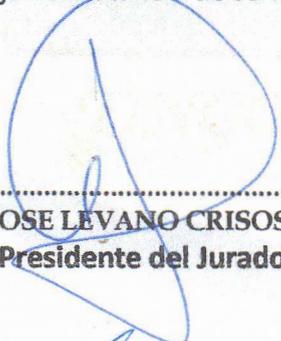
En la ciudad universitaria, siendo las 10:00 a.m., del día miércoles 01 de febrero del 2017, reunidos en la Sala de Grados de la UNAS, se instaló el Jurado Calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada:

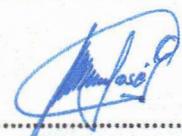
"EFECTO DEL COMPONENTE ARBOREO DE SISTEMAS SILVOPASTORILES SOBRE LA DISTRIBUCION ESPACIAL DE NUTRIENTES, BIOMASA MICROBIAL Y DENSIDAD DE LOMBRICES EN EL SUELO BAJO PASTOREO"

A cargo del candidato al Grado de Maestro en Ciencias en Agroecología, mención Gestión Ambiental, **DIDEROT EULOGIO BAILON**.

Luego de la exposición y absueltas las preguntas de rigor, el Jurado Calificador procedió a emitir su fallo declarando **APROBADO** con el calificativo de **MUY BUENO**.

Acto seguido, a horas 11:20 a.m., el Presidente dio por culminada la sustentación; procediéndose a la suscripción de la presente acta por parte de los miembros del jurado, quienes dejan constancia de su firma en señal de conformidad.


.....
MSc. JOSE LEVANO CRISOSTOMO
Presidente del Jurado


.....
MSc. JOSE KALION GUERRA LU
Miembro del Jurado


.....
MSc. WILFREDO ALVA VALDIVIESO
Miembro del Jurado


.....
MSc. RAFAEL ROBLES RODRIGUEZ
Miembro del Jurado - Asesor

DEDICATORIA

A Dios por la fortaleza de siempre,
permitiéndome llegar a este momento
tan especial en mi vida. Por los triunfos
y momentos difíciles que me han
enseñado a valorar cada día más.

A mis padres Emerson y Bertha por la
fortaleza que siempre me dieron, por
apoyarme en los momentos más
difíciles en mi vida, a mis hermanas
Ruth Angélica, Liz Yamina , Yuliana del
Pilar por su apoyo incondicional y
momentos difíciles que me han
enseñado a valorar cada día más.

A mi novia Imelda por su gran apoyo en
este logro muy importante en mi vida
profesional, gracias por estar junto a mi
lado mi amor, por tu apoyo en este
trabajo de investigación.

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a Escuela de Posgrado que contribuyó en mi formación profesional.

- A los miembros integrantes del jurado de tesis: Ing. M.Sc. José Lévano Crisóstomo; Ing. M.Sc. José Guerra Lu; Ing. M.Sc. Wilfredo Alva Valdiviezo; Ing. M.Sc. Ladislao Ruiz Rengifo.

- Al Ing. M.Sc. Rafael Robles Rodríguez, docente de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, asesor de la presente investigación, por su labor como formador, su amistad, su apoyo desinteresado y supervisión de la presente tesis.

- A mis amigos, quienes me apoyaron desinteresadamente en el transcurso de mi carrera profesional.

- A todas aquellas personas que en forma directa o indirecta colaboraron en la realización del presente trabajo.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Sistema silvopastoriles	4
2.2. Dinámica de nutrientes en sistemas silvopastoriles	4
2.2.1. Materia orgánica.....	5
2.2.2. Nitrógeno	5
2.2.3. Fósforo.....	7
2.2.4. Otros nutrientes.....	7
2.3. Factores que afectan la dinámica de nutrientes	8
2.3.1. Biomasa microbiana (carbono y nitrógeno microbiano).....	9
2.3.3. Propiedades físico-químicas de la materia.....	12
2.3.4. Influencia de las condiciones ambientales	13
2.3.5. Acumulación de materia orgánica.....	13
2.3.6. Efecto del animal.....	14
2.4. Capirona (<i>Calycophyllum spruceanum</i> (Bentham) Hooker f. ex Schumann).....	15
2.4.1. Descripción taxonómica	15
2.5. Guaba (<i>Inga edulis</i> . Mart)	16
2.5.1. Descripción taxonómica	17
2.5.2. Descripción y usos	17
2.5.3. El fruto y semillas	18

2.5.4.	Las hojas	19
2.5.5.	La raíz.....	19
2.5.6.	Suelo.....	19
2.6.	Investigaciones realizadas.....	20
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1.	Lugar de ejecución.....	24
3.1.1.	Ubicación política	24
3.2.	Características generales de la zona	25
3.2.1.	Precipitación	25
3.2.2.	Humedad y temperatura	25
3.2.3.	Características ecológicas	25
3.2.4.	Topografía	25
3.2.5.	Fisiografía.....	26
3.2.6.	Suelos.....	26
3.2.7.	Hidrografía.....	26
3.3.	Características de la parcelas en estudio	27
3.3.1.	Ubicación geográfica.....	27
3.4.	Materiales, insumos y equipos	27
3.4.1.	Materiales de campo.....	27
3.4.2.	Equipos de campo.....	28
3.4.3.	Materiales y equipos de laboratorio.....	28
3.4.4.	Reactivos.....	28
3.5.	Metodología	28
3.5.1.	Trabajo de precampo	28

3.5.2.	Actividades de trabajo de campo.....	30
3.5.3.	Determinación de propiedades químicas y biológicas	32
3.6.	Tipo de investigación	33
3.7.	Variables independientes	33
3.8.	Variables dependientes	33
IV.	RESULTADOS.....	34
4.1.	Efecto del componente arbóreo de sistemas silvopastoriles sobre la distribución espacial de nutrientes, biomasa microbiana y densidad de lombrices del suelo	34
4.1.1.	Distribución espacial de los niveles medios de pH o reacción del suelo	34
4.1.2.	Distribución espacial de los niveles medios de materia orgánica y nitrógeno en el suelo	36
4.1.3.	Distribución espacial de los niveles medios de fósforo y potasio.....	38
4.1.4.	Distribución espacial de los niveles medios de la capacidad de intercambio catiónico del suelo	41
4.1.5.	Distribución espacial de los niveles medios de carbono y nitrógeno microbiano en el suelo	43
4.1.6.	Distribución espacial de los niveles medios de lombrices jóvenes y adultas en el suelo	45
4.2.	Comportamiento de las propiedades químicas, biomasa microbiana y densidad de lombrices, entre sistemas silvopastoriles y un estrato herbáceo de <i>Brachiaria brizantha</i> , en función de la presencia de árboles leguminosos	48

V. DISCUSIÓN	51
5.1. Efecto del componente arbóreo de sistemas silvopastoriles sobre la distribución espacial de nutrientes, biomasa microbiana y densidad de lombrices del suelo	51
5.2. Comportamiento de las propiedades químicas, biomasa microbiana y densidad de lombrices, entre sistemas silvopastoriles y un estrato herbáceo de <i>Brachiaria brizantha</i> en función de la presencia de árboles leguminosos	57
VI. CONCLUSIONES	60
VII. RECOMENDACIONES.....	62
VIII. ABSTRACT.....	63
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
ANEXO.....	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
1. Coordenadas UTM de las parcelas en estudio.	27
2. Métodos para determinar los indicadores químicos del suelo	32
3. Niveles medios de pH o reacción del suelo de los sistemas silvopastoriles (SSP) con seis intervalos de distanciamiento desde el eje del árbol.....	35
4. Niveles medios de materia orgánica (M.O) y nitrógeno (N) en los suelos de los sistemas silvopastoriles evaluados con seis intervalos de distanciamiento desde el eje del árbol.....	37
5. Niveles medios de fósforo (P) y potasio (K) en los suelos de los sistemas silvopastoriles con seis intervalos de distanciamiento desde el eje del árbol.....	39
6. Niveles medios de la capacidad de intercambio catiónico en los suelos de los sistemas silvopastoriles con intervalos de distanciamiento.....	42
7. Niveles medios de carbono y nitrógeno microbiano en los suelos de los sistemas silvopastoriles con seis intervalos de distanciamiento desde el eje del árbol.....	43
8. Promedio de lombrices jóvenes y adultas (individuos) en los suelos de los sistemas silvopastoriles con seis intervalos de distanciamiento desde el eje del árbol.....	46
9. Comportamiento de las propiedades químicas, biomasa microbiana y densidad de lombrices entre las unidades en estudio.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
1. Rejillas regulares (Guía para muestreo de suelos, MINAM 2014)	30
2. Distribución espacial de los niveles medios de pH en los suelos con sistemas silvopastoriles respecto al eje del árbol.	36
3. Distribución espacial de los niveles medios de materia orgánica (A), nitrógeno (B) en los suelos de los sistemas silvopastoriles de <i>Brachiaria brizantha</i> asociado con <i>Inga edulis</i> y <i>Brachiaria brizantha</i> asociado con <i>Calycophyllum spruceanum</i> (Bentham) Hooker f. ex Schumann.....	38
4. Distribución espacial de los niveles medios de fósforo (A), potasio (B) en los suelos de los sistemas silvopastoriles de <i>Brachiaria brizantha</i> asociado con <i>Inga edulis</i> y <i>Brachiaria brizantha</i> asociado con <i>Calycophyllum spruceanum</i> (Bentham) Hooker f. ex Schumann.....	40
5. Distribución espacial de los niveles medios de CIC en los suelos con sistemas silvopastoriles respecto al eje del árbol.	42
6. Distribución espacial de los niveles medios de carbono microbiano (A) y nitrógeno microbiano (B) en los suelos de los sistemas silvopastoriles de <i>Brachiaria brizantha</i> asociado con <i>Inga edulis</i> y <i>Brachiaria brizantha</i> asociado con <i>Calycophyllum spruceanum</i> (Bentham) Hooker f. ex Schumann.....	44
7. Distribución espacial de los niveles medios de lombrices jóvenes (A) lombrices adultas (B) en los suelos de los sistemas silvopastoriles de <i>Brachiaria brizantha</i> asociado con <i>Inga edulis</i> y <i>Brachiaria brizantha</i> asociado con <i>Calycophyllum spruceanum</i> (Bentham) Hooker f. ex Schumann.	47

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue determinar la distribución de los nutrientes, biomasa microbial y densidad de lombrices en el suelo de sistemas silvopastoriles manejado bajo pastoreo, con respecto al componente leñoso. Situados políticamente en el sector Venenillo, específicamente sobre ganaderías extensivas de *Brachiaria brizantha* asociado *Inga edulis* y *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann. Para la determinación de la biomasa microbiana y densidad de oligoqueto se utilizó la metodología empleada por ANDERSON e INGRAM (1993). Se realizó un muestreo aleatorio simple. En cada parcela silvopastoril se tomaron muestras de suelo a 0.5, 1.0, 1.5, y 2.5 metros respecto al eje de los árboles, a una profundidad de muestreo de 30 cm).

De los resultados, se determinó que existe efecto de la cobertura sobre la distribución espacial de los nutrientes en los suelos del sistema *Brachiaria brizantha* asociado con *Inga edulis*., más que todo en la materia orgánica (M.O), nitrógeno (N), potasio (K_2O) y capacidad de intercambio catiónico (CIC), observándose una tendencia cuadrática entre 1 y 1.5 metros de distancia con respecto a la hilera de árboles. Sin embargo, para el nitrógeno microbiano (NM) es inversamente proporcional. Además se observó que la cantidad de fósforo (P) tiende a incrementarse (tendencia lineal), mientras que el carbono microbiano y número de lombrices jóvenes no se ajustan a ninguna tendencia. Finalmente el número de lombrices adultos disminuye a medida que se alejan de la hilera de los árboles. Consecuentemente la distribución espacial de los nutrientes en los suelos de *Brachiaria brizantha* asociado a *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann muestran un comportamiento cuadrático solo para las cantidad de M.O; N; P y número de lombrices adultas; mientras que los rangos de pH presentaron

tendencia cúbica; finalmente las cantidades de K_2O ; Carbono Microbiano y Nitrógeno Microbiano tienden a descender a medida que se aleja de la hilera de los árboles.

Finalmente se concluye que existe efecto de la cobertura arbórea sobre los niveles de los nutrientes del suelo, entre los tres sistemas pastoriles en estudio, siendo mayores en la parcela de *Brachiaria brizantha* asociado a *Inga edulis* respecto a las parcelas de instalación de *Brachiaria brizantha* asociado a *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann y los suelos con estrato herbáceo de *Brachiaria brizantha* (sin cobertura).

Palabras claves: Biomasa Microbial, Densidad de Lombrices, Sistema Silvopastoril, Carbono Microbiano, Cobertura Arborea.

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas silvopastoriles (SSP) como práctica agroforestal, están específicamente diseñados y administrados para producir árboles, forraje y ganado (NAIR, 1989) interactuando sus componentes en forma dinámica en una misma unidad de superficie (MEAD, 2009), y diseñados para favorecer las interacciones ecológicas beneficiosas que se manifiestan en un incremento de la producción, en la eficiencia en el uso de los recursos y en aspectos del medio ambiente (PERI, 2009). El establecimiento de un SSP puede resultar más favorable que otras modalidades de uso de la tierra (KNOWLES, 1988) si logra un adecuado balance entre productividad, estabilidad, diversidad y autorregulación del ambiente y del suelo.

La disminución en la productividad de las pasturas, obedece a las malas prácticas utilizada por los productores, entre las que se encuentran: Pastoreo en zonas de alta pendiente, sobrepastoreo y la no incorporación de pastos mejorados (URCUYO, 1997).

La utilización de sistemas silvopastoriles, utilizados adecuadamente, contribuyen a solucionar este tipo de problemas debido a las funciones biológicas y socioeconómicas que pueden cumplir. Desde el punto de vista de recuperación de pasturas, los sistemas silvopastoriles tienen dos ventajas importantes: La capacidad de mantener la materia orgánica del suelo y de favorecer el ciclaje de nutrientes, especialmente cuando los árboles son podados periódicamente (KASS *et al.*, 1985; MAZZARINO *et al.*, 1992).

El área de pastizales ocupa una superficie de 1 179 982,14 ha, ubicada en terrenos planos, ondulados, colinosos y montañosos. A nivel departamental Huánuco, con 78094.93 ha (6.62%% del total nacional de la superficie de pastos) (MINAG, 2010), esta situación causa la pérdida de la cobertura del suelo, lo que a su vez genera cambios químicos y físicos que redundan en la pérdida de la fertilidad del suelo por el lavado de nutrientes (RUIZ, 1983).

FASSBENDER (1993) menciona que en los sistemas silvopastoriles, el retorno de materia orgánica y elementos nutritivos de los animales depende de su distribución y movilidad en el pastizal y de la composición química de las excreciones (heces y orina), así como de las raíces de pastos, malezas y ramas y hojarascas de los propios árboles). Asimismo los estudios regionales o nacionales de los sistemas silvopastoriles son escasos y se encuentran en su base de instrumentación. La literatura, en término de ciclaje de nutrientes, globaliza la información dentro de los sistemas agroforestales, habiendo un gran bagaje de conocimiento en sistemas agrisilvoculturales (cultivo en callejones, barbechos mejorados, etc.) y poca información específica en sistemas silvopastoriles. Comprender la dinámica de nutrientes en un sistema silvopastoril para maximizar y hacer un uso más eficiente de las pasturas es lo que se pretende realizar con una serie de investigaciones entre las cuales se encuentra este trabajo. Debido a la problemática mencionada, se plantea por lo tanto los siguientes objetivos:

Objetivo general:

- Determinar la distribución de los nutrientes, biomasa microbial y densidad de lombrices en el suelo de sistemas silvopastoriles manejado bajo pastoreo, con respecto al componente leñoso.

Objetivos específicos:

- Evaluar el efecto del componente arbóreo de sistemas silvopastoriles (*Inga edulis* y *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann asociado a pastura de *Brachiaria brizantha*) sobre la distribución espacial de nutrientes, biomasa microbiana y densidad de lombrices del suelo.
- Evaluar el comportamiento de las propiedades químicas, biomasa microbiana y densidad de lombrices, entre sistemas silvopastoriles (*Inga edulis* y *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann asociado a pastura de *Brachiaria brizantha*) y un estrato herbáceo de *Brachiaria brizantha*, en función de la presencia de árboles leguminosos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Sistema silvopastoriles

FASSBENDER (1993) menciona que desde el punto de vista funcional, define un sistema agroforestal como un ecosistema artificial en el cual, por alguna circunstancia, se alteran las condiciones naturales con una naturaleza antropogénica, al servicio del hombre. En estos sistemas, debido a los cambios realizados por el hombre, se observan diferencias en el comportamiento normal de la materia orgánica y en el ciclaje de nutrientes, tanto a nivel dinámico como estático. Por otro lado, desde el punto de vista estructural, se define como una asociación (espacial o temporal) de dos o más especies diferentes, donde por lo menos una de ellas debe de ser leñosa y tener algún tipo de manejo (poda, fertilización, deshierba, etc.). En lo referente a la actividad ganadera, los sistemas silvopastoriles se definen como aquella actividad donde en un mismo espacio, interactúan dos especies, una leñosa y otra herbácea o leñosa, complementadas con un animal (por lo general ganado vacuno) (SOMARRIBA, 1992).

2.2. Dinámica de nutrientes en sistemas silvopastoriles

CHARLEY y RICHARDS (1983) establecen que la circulación de los minerales en los ecosistemas se produce siguiendo tres vías:

1. Bioquímica: Se desarrolla a nivel de la planta, translocación de nutrientes ordenados por su mismo metabolismo.

2. Geoquímico: Se desarrolla entre los componentes abióticos del sistema, comprende procesos como la mineralización, precipitación, equilibrio químico entre fases, absorción, etc.
3. Biogeoquímica: Relación entre componentes bióticos y abióticos (descomposición de la materia orgánica por parte de los microorganismos del suelo).

2.2.1. Materia orgánica

En los sistemas silvopastoriles, el retomo de materia orgánica y elementos nutritivos de los animales depende de su distribución y movilidad en el pastizal y de la composición química de las excreciones (heces y orina), así como de las raíces de pastos, malezas y ramas y hojarascas de los propios árboles) (FASSBENDER, 1993).

Por otro lado, una proporción significativa de los nutrientes que son absorbidos por la planta son devueltos al suelo a través de la descomposición de los residuos vegetales. PEZO *et al.* (1992), señalan que en vacas lecheras, alrededor de un 75% de los elementos minerales consumidos son retornados vía excretas y hasta un 90% en animales en crecimiento.

2.2.2. Nitrógeno

Existe una relación directa entre la velocidad de degradación de la materia orgánica con el incremento de los nutrientes en el suelo. NYAMAI (1992) en su experimento de *Leucaena* presentó una mayor tasa de liberación N (70%) en el suelo que la *Cassia* (36%), la cual tuvo la menor tasa de degradación.

BROSS *et al.* (1995); PALM y SÁNCHEZ (1990) mencionan que los resultados demuestran esta misma relación; sin embargo, mencionan que una rápida liberación, al inicio del proceso de degradación, puede resultar en una pérdida de nutrientes, sobre todo de N, por lavada durante las lluvias. Con relaciones Carbono: Nitrógeno mayores de 15:1 prácticamente no existe mineralización, ya que el poco N presente es utilizado por los microorganismos (SPRENT, 1983).

Una posible recomendación, cuando se podan árboles, es utilizar especies con diferentes velocidades de degradación para asegurar un flujo continuo de nutrientes en el tiempo. Sin embargo, la limitación del nitrógeno en sistemas agroforestales no está definida primordialmente por los factores que afectan la descomposición de las hojas, sino más bien por la cantidad del material depositado (hojarasca) en el suelo y por su distribución en el tiempo (GLOVER y BEER, 1986; IMBACH, 1987).

Por otra parte, en un pastizal, a pesar que existe nitrógeno proveniente de la excreción del animal (principalmente la orina), la mayor contribución es por parte de la descomposición de los residuos vegetales (AYARZA *et al.*, 1994).

La cantidad de nitrógeno que es reciclado depende de la cantidad de residuos producido en la pastura y su velocidad en descomposición. La cantidad de residuos es una función del manejo que se le da al sistema, entre mayor el nivel de utilización por parte del animal menor será el nivel de reciclaje del nitrógeno a través del residuo. La liberación de nitrógeno de los residuos depende de la calidad del material, tal y como se vio anteriormente. En general se puede decir que la eficiencia de reciclaje de nitrógeno a través de las excreciones es variable, y en muchos casos la literatura indica que es ineficiente debido a la falta de dispersión uniforme y a la susceptibilidad de pérdidas por lixiviación (AYARZA *et al.*, 1994).

2.2.3. Fósforo

COOPERBAND (1992), trabajando en el trópico húmedo de Costa Rica en sistemas silvopastoriles con *Erythrina berteroana*, determinó que la utilización de Poró, incrementa significativamente el P en el suelo, tanto espacialmente como temporalmente, además observó un efecto sinérgico positivo con el pastoreo. Este punto se puede explicar con las tasas de liberación de fósforo, ya que tanto la del paró como la de la pastura, disminuyeron exponencialmente, en los puntos donde el animal hacia las deposiciones (excreta). En estos puntos, la tasa de liberación del P de la excreta era 4 a 5 veces mayor que la del paró o el pasto. En este momento hay, probablemente, un cambio de equilibrio entre la biomasa microbial y su substrato, resultando en un exceso temporal de mineralización de P y un aumento en la cantidad de P en la solución del suelo.

PALM y SÁNCHEZ (1990) determinaron que la tasa de pérdida del fósforo en hojas de poró se relacionó con el nitrógeno en la primera fase de la descomposición. Una alta tasa de descomposición en el inicio, producto de una concentración inicial de N alta, produjo un aumento en la actividad microbial, haciendo más rápida la pérdida de fósforo. Sin embargo, estudios mencionan que algunas leguminosas tienen la capacidad de producir grandes cantidades de fosfatasa, enzima capaz de solubilizar el fósforo orgánico del suelo y de los residuos, aunque todavía es prematuro determinar la eficiencia de uso del fósforo de esta forma por parte de los pastos (AYARZA *et al.*, 1994).

2.2.4. Otros nutrientes

PALM y SÁNCHEZ (1990) en un estudio haciendo una comparación de los patrones de liberación de nutrientes en *Inga edulis*, *Cajanus cajan* y *Erythrina sp*,

determinaron que la tasa de pérdida de los nutrientes en las hojas en descomposición tuvo el siguiente comportamiento: Potasio>fósforo, nitrógeno y magnesio>calcio; a excepción de la *Erythrina sp*, donde fue mayor el nitrógeno que el potasio. La tasa de pérdida del potasio fue la más alta, incluso mayor que la descomposición de las hojas. Esto sugiere que la lixiviación es el principal proceso que influye en la pérdida del potasio (FASSBENDER, 1993).

La inmovilización y la tasa de pérdida de calcio inicial, durante la descomposición, se debe a la acumulación de oxalatos de calcio en los hongos que colonizan los tejidos de las hojas en descomposición, existe entonces una especie de saturación por parte de los hongos (PALM y SÁNCHEZ, 1990)

2.3. Factores que afectan la dinámica de nutrientes

La descomposición de la materia orgánica es el paso inicial para la consiguiente entrada de nutrientes al sistema; además que desempeña dos papeles fundamentales: La mineralización de los elementos esenciales contenidos en la fitomasa; ayudar a la formación del suelo (agregados, con la formación de ácidos húmicos que sirven como material dura).

La descomposición se define como desintegración paulatina de materia orgánica muerta y es producto de la interacción de dos fuerzas: La reducción mecánica del tamaño de las partículas y la mineralización del material, o sea la conversión de los elementos de su forma orgánica a su forma inorgánica. Este proceso de descomposición se regula con el efecto combinado que ejercen el tipo de sustrato y el ambiente sobre las poblaciones de organismos descomponedores (SWIFT *et al.*, 1981).

2.3.1. Biomasa microbiana (carbono y nitrógeno microbiano)

Aunque en el proceso de desintegración de la materia orgánica puede intervenir la meteorización, el proceso de descomposición se debe fundamentalmente a actividad de diversos organismos heterótrofos que utilizan las sustancias contenidas en el sustrato como fuente de energía y elementos para la síntesis de su protoplasma (ALEXANDER, 1977).

Los organismos en mención son la microflora desintegradora, formada por bacterias y hongos, y los invertebrados detritívoros. Ambos tipos de microorganismos muestran una interacción positiva entre sí. Un aumento en la actividad de los detritívoros al consumir una parte importante del detrito y desmenuzar el resto, aumenta la aireación y expone una mayor área de superficie del detrito, fomentando un aumento en la microflora desintegradora (ULRICH *et al.*, 1981). Esto crea una sucesión de organismos en los diferentes estratos del suelo según el grado de descomposición de la materia (ETHERINGTON, 1982).

Las bacterias y hongos son los microorganismos que atacan con mayor rapidez los residuos orgánicos existentes en el suelo, liberando en el proceso CO₂ a la atmósfera y produciendo variaciones en el nitrógeno total del suelo (ALEXANDER, 1977; DUXBURY *et al.*, 1986). Este ataque se da debido a que la materia orgánica caída al suelo suple las necesidades metabólicas, citoplasmáticas y favorece el crecimiento poblacional de esta fracción; la proporción del ataque de la biomasa microbiana es determinado directamente por la disponibilidad de carbono orgánico y por el estado nutricional del suelo (VAN VEEN *et al.*, 1989). La quema, como una práctica de manejo para el control de los desechos de cosecha o control de malezas, tiende a disminuir la cantidad de biomasa microbiana (SWIFT *et al.*, 1981).

El manejo del suelo, la cobertura vegetal, la fertilización de los cultivos, el origen de los suelos y las fluctuaciones climáticas afectan el desarrollo de la actividad microbiana (MAZZARINO *et al.*, 1993). Asimismo, los efectos anteriores son más evidentes en las capas superiores del suelo, donde se da una mayor fluctuación de humedad y temperatura (LADD *et al.*, 1994). En sistemas con pasturas, se observa un aumento en la densidad del suelo producto de la compactación a la que están sometidas algunas pasturas. Este aumento en la densidad del suelo afecta la actividad microbiana al dificultar su movilidad para actuar sobre el sustrato (VAN VEEN y ELSAS, 1986).

CASTILLA (1992) en un ensayo con *B. humidicola* y *D. ovalifolium*, determinó que la biomasa microbiana fue afectada mayormente por el microclima que por el efecto de la carga animal. En una comparación semejante; pero con una pastura asociada de *Braquiraria brizantha* y *Arachis pintoi*. TORRES (1995) reportó mayor cantidad de nitrógeno microbiano que en una pastura con solo *B. brizantha*.

En una comparación entre un suelo de bosque, otro con *B. brizantha* y *Arachis pintoi* (BA) y otro suelo de *B. brizantha* con *Erythrina berteroana* (BP) realizada en el Atlántico húmedo de Costa Rica, UMAÑA (1996) reporta los mayores niveles de carbono y nitrógeno microbiano para el bosque primario (1032.8 mgC/kg). Por otro lado, no encontró diferencia estadística entre los sistemas BA y BP, teniendo 730.6 y 840.3 mgC/kg respectivamente.

En términos generales, aquellos sistemas que mantienen una buena cobertura, y por ende una humedad estable del suelo, tienen valores de biomasa microbiana altas (MAZZARINO *et al.*, 1993; LADD *et al.*, 1994). Por otro lado, gracias a su actividad física, las lombrices juegan un papel importante en la ecología del suelo (ROAS y CAIMS, 1982).

2.3.2. Lombrices de tierra

LAVELLE y PASHANAKI (1989) indican que las lombrices promueven ciclos de nutrientes rápidos y cortos, a la vez que contribuyen con el desarrollo del suelo al construir galerías que mejoran las propiedades físicas del suelo. También se ha observado una mejora en las propiedades químicas y biológicas de la materia orgánica, al ingerir y mezclar el suelo con los desechos tanto de animales como de vegetales (LAVELLE y SWIFT, 1994).

Las variables ambientales puedan afectar grandemente la actividad y número de lombrices en el suelo (TIAN, 1997). Por lo cual es importante tomar en cuenta la biomasa de lombrices como un indicador más de calidad de suelo. Son varios los factores que afectan la abundancia de lombrices. FRAGOSO y LAVELLE (1992) jerarquizaron estos factores de la siguiente forma: la temperatura como punto superior jerárquico, luego factores edáficos (nutrientes en el suelo) y por último factores estacionales (lluvias, sequías).

En una asociación de *Braquiaria brizantha* con *Arachis pintoï*, TORRES (1995) encontró una relación positiva entre el número de lombrices.m⁻², y el N microbiano y la proporción de este en término del N total del suelo. Además, menciona que la densidad de biomasa de lombrices fue superior en pasturas asociadas con *A. pintoï* que en pasturas con gramíneas solas. Por otro lado, en pasturas mejoradas, bajo condiciones de sombra hubo mayor número de lombrices que a pleno sol, esto evidentemente por que la humedad del suelo le mantiene bajo condiciones de sombra.

Bajo condiciones del trópico húmedo de Costa Rica, UMAÑA (1996) determinó que ecosistemas de bosque primario, pastura con *B. brizantha* y suelo desnudo tenían mayores cantidades de lombrices, mientras que en los sistemas con

leguminosas (*B. brizantha*+*A. pinto* y *B. brizantha*+*E. berleroana*) el número y peso fue sensiblemente menor. La razón es que las lombrices de tierra pueden ser afectadas por los altos niveles de N_2 en el suelo (CURRY, 1986).

2.3.3. Propiedades físico-químicas de la materia

La constitución química y propiedades físicas del sustrato son uno de los factores que afectan la actividad de organismos descomponedores de la materia orgánica, la disponibilidad del N es un factor limitante en la descomposición de materia orgánica. Su baja concentración en tejidos vegetales tiene una relación directamente proporcional con la velocidad de descomposición. Por lo general, materiales con mayor concentración de N presentan mayor velocidad de descomposición. Se suele utilizar la relación C: N como un criterio útil para aclarar la importancia de la disponibilidad del N en la descomposición (BABBAR, 1983).

BROSS *et al.* (1995), mencionan que el efecto de la lignina (L) en la pérdida de peso de una hoja durante la descomposición, influencia indirectamente a otros componentes. CONSTANTINIDES y FOWNES (1993) mencionan que la relación Lignina: Nitrógeno explica mejor la velocidad de descomposición al dar una idea de la composición del carbono, existiendo una relación inversa entre la proporción Lignina: Nitrógeno y la tasa de descomposición de la materia orgánica.

Algunos compuestos secundarios, importantes como defensa contra los herbívoros, juegan un papel importante, ya que a menudo tienden a fijar el N soluble por lo que disminuye la disponibilidad de N para los organismos descomponedores. Asimismo, tuvieron resultados interesantes al tratar de predecir la tasa de descomposición de algunas especies leguminosas por medio de la relación C: N y la cantidad de lignina. Comparando las tasas de descomposición de *Erythrina sp.* Y

Cajanus sp., con niveles similares de lignina y nitrógeno, notaron que el patrón fue distinto para ambas especies. La explicación se debió a la concentración de polifenoles en las plantas, compuesto que forma complejos nitrogenados muy resistentes, por lo que disminuye la descomposición y la liberación de N descomponedores.

La *Erythrina* tuvo una mayor tasa de descomposición, con un menor contenido de polifenoles. Al inicio, la fracción soluble de nitrógeno es lavada o mineralizada, mientras que en la segunda fase pudiera ser que el nitrógeno se fije a la lignina o polifenoles en las hojas (PALM y SÁNCHEZ, 1990).

2.3.4. Influencia de las condiciones ambientales

La humedad y la temperatura son los factores reguladores más importante de la descomposición al afectar la distribución de los organismos descomponedores a lo largo de una gradiente latitudinal, logrando afectar sensiblemente la dinámica de nutrientes en el suelo. Así, existen mayor número de detritívoros en los trópicos que en los polos; y aún más en sitios más húmedos. Estos dos factores afectan indirectamente la tasa de descomposición y en sí la mineralización de nutrientes. A su vez, estos factores reguladores están influenciados por el microclima, y siendo éste, el factor más importante para definir las temperaturas y humedades en las cuales se desarrollarán los microorganismos (JORDAN, 1985; MEENTEMEYER, 1978). Las variables que definen el microclima interactúan simultáneamente entre sí y los microorganismos y las plantas, de manera que no se puede conocer el efecto de una determinada variable sin definir el estado de las demás (JONES, 1985).

2.3.5. Acumulación de materia orgánica

La acumulación de materia orgánica a través del proceso de fotosíntesis y de la absorción de elementos nutritivos, se refleja en la biomasa de los sistemas de producción agroforestales (FASSBENDER, 1993). El patrón mensual de aporte de residuos al suelo en sistemas agroforestales, depende de las características fisiológicas de las especies involucradas en el sistema y las condiciones climáticas reinantes (FASSBENDER, 1993; COLE y RAPP, 1981), pero puede ser modificada por el manejo de podas. En sistemas silvopastoriles se estimula el ciclo de renovación orgánica y fertilización al retornar al suelo hojas, frutos, ramas, rastrojos, heces y orina. Asimismo, el componente arbóreo permite extraer nutrientes que normalmente quedan fuera del alcance del sistema radical de los pastos. Cuando se utilizan árboles leguminosos, estos contribuyen con nitrógeno al suelo, ya sea por fijación de nitrógeno atmosférico como por sus hojas y ramas que caen naturalmente o son podadas (RUIZ, 1983).

2.3.6. Efecto del animal

El hecho que un animal se traslade de un lado a otro, ramoneando y pastoreando las diferentes especies y dejando excreciones a través del pastizal, afecta definitivamente los nutrientes del suelo. El pastoreo afecta la biomasa aérea y de las raíces del pasto, así como la velocidad y eficiencia del ciclaje de nutrientes en el sistema.' La defoliación puede estimular, o afectar negativamente, el crecimiento de la planta y la absorción de nutrientes; también puede modificar la proporción de los nutrientes reciclados a través de las plantas o los animales (AYARZA *et al.*, 1994).

En un sistema silvopastoril los animales tienen un rol importante en la dinámica de nutrientes ya que por medio de las excretas, depositan nutrientes en pequeñas áreas distribuidas irregularmente en la pastura. Estos factores incrementan

el riesgo de pérdidas por volatilización y lavado de nutrientes, reduciendo la eficiencia del reciclaje. Una proporción significativa de los nutrientes que son absorbidos por la planta son devueltos al suelo a través de la descomposición de los residuos vegetales.

PEZO *et al.* (1992) señalan que, en vacas lecheras, alrededor de un 75% de los elementos minerales consumidos son retornados vía excreta, y hasta un 90% en animales en crecimiento. El sistema de pastoreo, así como la carga animal también pueden influenciar la cantidad y distribución de los nutrientes reciclados. La rotación de pastos mejora la distribución de las excretas (CIAT, 1990) y altas cargas animales incrementan la proporción y disponibilidad de nutrientes reciclados en la pastura.

2.4. Capirona (*Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann)

2.4.1. Descripción taxonómica

División : Magnoliophyta

Clase : Magnoliopsida

Orden : Gentianales

Familia : Rubiaceae

Género : *Calycophyllum*

Especie : *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann)

Alcanza 35 metros de altura total y 0,60 a 1,20 metros de diámetro a la altura del pecho. Presenta tronco de fuste recto, cilíndrico y la copa globosa en el último tercio. La corteza interna es homogénea y delgada, de color crema verdusco, la corteza externa es tersa y lustrosa de color marrón verdoso, provisto de ritidoma papiráceo rojizo que al desprenderse en placas coriáceas expone el tronco blanco grisáceo, por ello también se le conoce como “Palo Mulato”.

En el bosque esta especie es inconfundible por su corteza y aspecto gigante. El valor obtenido de extractivos AB (alcohol-benceno) de la Capirona es bajo, si lo comparamos con otras maderas como el Cachimbo, la Quinilla o el Estoraque. Los valores de sílice para la Capirona son muy bajos. Generalmente se considera que una madera puede ser abrasiva cuando sus valores de sílice superan el 0,5% (caso de la Manchinga o el Cachimbo). Presenta poder calorífico muy alto, arde muy fresca, por ello es apreciada como leña. Se encuentra en zonas de altura e inundables, cerca y lejos de los cuerpos de agua, en chacras nuevas, purma cerrada, purma joven, áreas de pastoreo, pradera degradada, con alta intensidad de luz y bajo sombra.

Es resistente a la inundación; es de clima tropical húmedo, con temperatura media anual de 22 a 26°C y precipitación pluvial entre 1 100 a 3 400 mm anual. Se desarrolla en suelos arenosos y arcillosos que presenten un contenido medio o alto de materia orgánica; prefiere suelos con pH de 7 y saturación de aluminio menor de 30%. No prospera en suelos extremadamente ácidos, con pH de 4 a 4,5 (FUNES, 2005).

2.5. Guaba (*Inga edulis*. Mart)

SOUSA (1993) refiere que la clasificación taxonómica de la *Inga edulis* es la siguiente:

2.5.1. Descripción taxonómica

División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida
Orden	: Fabales
Familia	: Fabácea
Género	: <i>Inga edulis</i> . Mart

2.5.2. Descripción y usos

El pacay, guaba o *Inga edulis* es una fruta en forma de vaina de color verde oscuro en cuyo interior se encuentra el fruto; la guaba tiene origen en la costa del Perú y las riveras de Bolivia. Es un árbol mimosáceo también conocido como guamo es nativo de América Central y América del Sur por su clima cálido.

El pacay es un árbol pequeño de 8 a 3 m. de altura el cual tiene un fuste de 15 a 40 cm. de DAP, es un árbol muy ramificado casi desde la base y corteza externa lisa de color pardo grisáceo, sus hojas son compuestas, alternas paripinnadas, con estípulas deciduas y raquis alado pardo tomentoso.

Los foliolos son sus sésiles y están compuestos de 4 a 6 pares, con glándulas entre los foliolos; sus láminas cactáceas abacialmente pardo purulento, elípticas a oblongo-elípticas de 3 a 15 cm de largo y 1,5 a 8 cm. de ancho, los foliolos terminales tienen mayor tamaño que los basales, sus márgenes enteros o ligeramente

ondulados con una ápice generalmente acuminado y base redondeada o truncada, la haz y envés usualmente pubescentes, tiene un haz verde oscuro con una nerviación densamente pubescente, mientras que el envés verde claro con nerviación prominente muy pubescente; el peciolo pardo-tomentoso. La Inflorescencia en espigas axilares o espigas paniculares terminales de hasta 7 cm. de longitud con un cáliz tubular, verdoso, pentadentado y una corola tubular verdosa pentadentada, y estambres numerosos.

Esta planta contiene saponinas, fitolacina o ácido fitoláctico, ácido fórmico, glucósidos, triterpenos, oxalato de calcio y materias pépticas. Es un eficaz antiinflamatorio, antiséptico y cicatrizante. No debe usarse por vía oral, ya que puede causar graves intoxicaciones. Es de bajo valor calórico, tiene un escaso aporte de hidratos de carbono, proteínas y grasas. Su follaje y fruto tienen valor alimenticio para el ganado. Las hojas que se caen sirven como abono verde y el fruto sirve para alimento humano.

2.5.3. El fruto y semillas

El fruto es una vaina cilíndrica indehiscente, con surcos longitudinales múltiples de 40 a 120 cm. de largo y 3,5 a 3,7 cm. de diámetro, verde oscuro pardo-tomentoso. Semillas en número de 10 a 20 por fruto y oblongas de color negro a negro violáceo y cubiertas por un arilo blanco, algodonoso y dulce.

La *Inga edulis* (guaba), perteneciente a la familia de las fabáceas (Fabaceae) o leguminosas (Leguminosae), este árbol presentan una gran variedad de hábitos de decrecimiento, pudiendo ser desde árboles, arbustos o hierbas, hasta enredaderas herbáceas o lianas. Las hierbas, a su vez, pueden ser anuales, bienales o perennes, sin que sufra agregaciones de hojas basales o terminales. Son plantas

erguidas, epífitas o enredaderas, que en este último caso se sostienen mediante los tallos que se retuercen sobre el soporte o bien por medio de zarcillos foliares o caulinares; y estas pueden ser heliofíticas, mesofíticas o xerofíticas.

2.5.4. Las hojas

Las hojas en su mayoría son alternas y con estípulas, persistentes o caedizas generalmente compuestas, estas hojas pueden ser pinnadas o bipinnadas, y a su vez digitadas o trifoliadas como también aparentemente simples, es decir, unifoliadas o ausentes, en ese caso los tallos se hallan transformados en filodios o pinnadas y con zarcillos en el ápice. A menudo las hojas se hallan reducidas o son precozmente caducas o nulas en las especies áfilas o subáfilas; mientras que el pecíolo y muchas veces los peciolos tienen la base engrosada, "ganglionar", lo cual permite que movimientos los denominados posiciones de "sueño" y de "vigilia".

2.5.5. La raíz

Las raíces presentan un predominio del sistema primario, es decir, de aquel que proviene de la radícula del embrión. Las raíces de las leguminosas son a menudo profundas y casi siempre exhiben nódulos poblados de bacterias del género *Rhizobium* que asimilan el nitrógeno atmosférico.

2.5.6. Suelo

Le van bien los suelos ligeros y profundos, que se encuentran provistos de materia orgánica, por ende, son bien drenados y que permitan una buena aireación

de las raíces; el frutal vegeta muy difícilmente en suelos duros, compactos, arcillosos e impermeables.

El pH óptimo está comprendido entre 6,5 y 7,5 y con contenidos en caliza total inferiores al 7%, aunque se han dado casos de deficiencias de calcio.

La planta se adapta a todos los tipos de suelos existentes en la amazonia, desde los más fértiles entisoles, inceptisoles, histosoles y alfisoles, hasta los más ácidos e infértiles oxisoles, ultisoles e inclusive los espodosoles arenosos. Desarrolla bien en terrenos no inundables. Tolera hidromorfismo y período seco prolongados.

2.6. Investigaciones realizadas

ROMERO (2010) investigó que si la presencia de árboles en sistemas silvopastoriles afecta las características del suelo superficial comparado con la pastura abierta; para cada árbol se tomó de forma apareada (bajo la copa y en la pastura abierta) y en cada posición, una muestra compuesta de 10 submuestras de los primeros 10 cm del suelo. Encontró que la presencia del árbol aumenta el contenido de carbono orgánico y potasio en los suelos por debajo de los árboles, y de nitrógeno por debajo de dos de las cuatro especies. También aumenta ligeramente el pH por debajo de tres especies de árboles y lo reduce ligeramente por debajo de *Tabebuia rosea*, se argumenta que las diferencias en carbono orgánico y nitrógeno observadas probablemente se deben a diferencias en la calidad de la hojarasca y posibles diferencias en los procesos de descomposición dentro y fuera de la copa. El mayor contenido de potasio por debajo de las copas probablemente se debe a un mayor contenido de éste en la hojarasca arbórea y a la presencia de lavado de potasio de la

copa de los árboles. El contenido de fósforo podría estar influenciado por la preferencia del ganado a descansar por debajo de árboles.

LAL (1996) determinó los efectos de la deforestación, la labranza de "post desmonte" y sistemas de cultivos sobre las propiedades del suelo, durante 1978 a 1987 en sur oeste nigeriano. Los resultados mostraron que la deforestación y los cambios en el uso del suelo causan cambios drásticos en las propiedades físicas e hidrológicas del suelo, los cuales habían sido extremadamente favorables bajo el sistema boscoso antes de la tala. La densidad aparente y la resistencia a la penetración como indicadores de la compactación se incrementaron significativamente y con ello la infiltración se vio reducida debido al pisoteo del ganado (3 cabezas por hectárea).

PINZÓN y REYNEL (1991) midieron los cambios de las propiedades del suelo, como resultado de su compactación por el pisoteo de animales en pasturas del piedemonte de Caquetá (Colombia). Los resultados de esta investigación revelaron que los animales en pastoreo modifican substancialmente las propiedades físicas de los suelos del piedemonte amazónico. Sin embargo, la intensidad de estos cambios depende de la zona y la especie cultivada, siendo más drástico en suelos con guaduilla (*Homolepis aturensis*) que pasturas de *B. decumbens* y más en áreas de lomerío (altura pequeña en el terreno) y de terrazas que en las vegas.

La compactación fue mayor en los primeros 15 cm, ocasionando una severa disminución en la porosidad y cambios desfavorables en la relación suelo-agua-aire que afectan el desarrollo de las raíces de las plantas y su productividad. Con relación a la estructura, se encontró una pérdida de esta característica por pisoteo.

El pisoteo, la defoliación y el retorno de nutrientes por los animales pueden considerarse en términos generales como los principales efectos causados en el ecosistema de pastizales por el pastoreo. En cuanto al reciclaje de nutrientes se refiere, son evidentes los efectos en la transferencia de nutrientes vegetales en los potreros debido a los productos excretados por los animales en potreros.

La mayor parte de estos nutrientes se retorna al pastizal en forma de heces y orina, cuya cantidad es considerable. Las excretas contienen los nutrientes necesarios para las plantas y en las proporciones deseadas aproximadamente. Sin embargo, esos nutrientes no pueden estar todos inmediatamente disponibles para las raíces de las plantas. La orina es rica en N, K, y S mientras que las heces contienen todo el fósforo, parte orgánico (poco asimilable) y parte inorgánico (bastante disponible de inmediato), así también la mayoría del Ca y Mg pero mucho menos K, Na, N y S, siendo estos dos últimos disponibles solo lentamente.

Teóricamente, los mismos nutrientes pueden ser usados varias veces por las plantas y animales en un período corto, mientras que puede tomar un año o más el crecimiento normal de la planta para descomponer y liberar nutrientes para la utilización por otras plantas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La investigación se realizó en el sector Venenillo, específicamente sobre ganaderías extensivas, de parcelas silvopastoriles (*Inga edulis* con *Brachiaria brizantha* y *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann con *Brachiaria brizantha*) y una parcela pastoriles con instalación de *Brachiaria brizantha* (sin árbol).

La zona en estudio corresponde a la localidad de Venenillo, perteneciente al distrito de Rupa Rupa de la provincia de Leoncio Prado, de la región Huánuco, está ubicada en la margen derecha del río Cuchara, muy cerca de su desembocadura en el río Huallaga. Asimismo, el trabajo de gabinete se llevará a cabo en el laboratorio de análisis de suelos de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

3.1.1. Ubicación política

Región	:	Huánuco
Provincia	:	Leoncio Prado
Distrito	:	Rupa Rupa
Sector	:	Venenillo

3.2. Características generales de la zona

3.2.1. Precipitación

La estación meteorológica José Abelardo Quiñonez (Estación Tulumayo) de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, hasta diciembre del año 2014 registra una precipitación promedio anual de 2,581.5 mm y varía en intensidad, duración y frecuencia; muchas veces se manifiestan violentamente en forma de gotas gruesas, de poca duración y en pleno sol.

3.2.2. Humedad y temperatura

La estación meteorológica José Abelardo Quiñonez (Estación Tulumayo) de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, hasta diciembre del año 2014 registra una humedad relativa media anual de 84.3%; así mismo, hasta diciembre del año 2014 registra una temperatura máxima de 30.1 °C, temperatura mínima de 20.4 °C y una temperatura promedio de 25.2 °C.

3.2.3. Características ecológicas

Holdrige (1993) citado por mapa ecológico del Perú – INRENA (1995), el área estudiada corresponde a la zona de vida de transición: Bosque Muy Húmedo – Pre montano Tropical (bmh-PT) a Bosque Muy Húmedo – Subtropical (bmh-S).

3.2.4. Topografía

La pendiente de la mayor parte del área de estudio tiene un promedio de 15% de inclinación y el relieve es plano ondulado, esto facilita la formación de áreas húmedas o hace que los cauces tributarios presenten cursos bien definidos y no facilitan el desbordamiento de los ríos en épocas de crecidas (INRENA, 1995).

3.2.5. Fisiografía

El área de estudio comprende dos extensos territorios: Un territorio montañoso colinoso, con características fisiográficas extremas con pendientes muy disectadas, presentando una composición florística particular con muchas epifitas, aunque también con algunas especies del llano, siendo estructuralmente de dosel bajo con pocas especies arbóreas de gran porte. Y el llano amazónico, donde se presentaron una gran diversidad de hábitats y tipos de vegetación, fisiográficamente con relieves suaves y ondulados con predominio de la planicie aluvial (PEAH, 2012).

3.2.6. Suelos

Presenta suelos que se han desarrollado, principalmente por agentes meteóricos en los distintos tipos de sustratos, distinguiéndose que las áreas de la zona, están cubiertas por suelos sobre una formación sedimentaria e intrusiva. Entonces, de acuerdo a sus características edafológicas, los suelos son aluviales, muy fértiles, muy profundos y ligeramente alcalinos, es decir, estos suelos son aptos para cultivos en limpio como arroz (bajo riego), plátano, frutales, pastos, cacao y especies nativas. Sin embargo, si nos referimos a los suelos que se encuentran alejados de los ríos, en las colinas, encontramos que presentan un bajo contenido de materia orgánica, por ende, son poco fértiles, más bien tienen aptitud forestal y de protección; que sirven para producir café si se los asocia (Proyecto Especial Alto Huallaga – PEAH, 2012).

3.2.7. Hidrografía

La red hidrográfica del área del estudio está representada por el río Huallaga, que discurren de norte a oeste, recepcionando un número de cauces

menores (rio Corvina, Santa Martha y quebrada Aserradero), los que conjuntamente con los colectores principales como son los ríos Cuchara, Yurimaguas y la quebrada Picuruyacu, constituye el canal natural para la evacuación de los excedentes de agua, principalmente en la época de mayores precipitaciones que se ocurridas en la poca de invierno (PEAH, 2012).

3.3. Características de la parcela en estudio

3.3.1. Ubicación geográfica

La ubicación geográfica de las parcelas en estudio corresponde a las coordenadas UTM (Zona 19 K, Datum WGS 84), siendo las siguientes (Cuadro 1):

Cuadro 1. Coordenadas UTM de las parcelas en estudio.

Sistemas de uso	Coordenadas UTM		Altura (m.s.n.m.)
	Este	Norte	
<i>Inga edulis.</i> – <i>Brachiaria brizantha</i>	379135	8995857	596
<i>Calycophyllum spruceanum</i> (Bentham) Hooker f. ex Schumann – <i>Brachiaria brizantha</i>	379624	8995198	589
<i>Brachiaria brizantha sin árbol</i>	376212	8993567	602

3.4. Materiales, insumos y equipos

3.4.1. Materiales de campo

Flexometro de 5 m., libreta de campo, fichas de campo, bolsas plásticas de 1 y 2 kg, martillo, navajas, machete, pala recta, capa impermeable, rafia (color rojo y verde), estacas de madera, wincha de 50 m, cilindros muestreadores.

3.4.2. Equipos de campo

Cámara fotográfica, sistema de posicionamiento global (GPS).

3.4.3. Materiales y equipos de laboratorio

Matraz de Erlenmeyer, vaso de precipitación, probeta graduada, varilla, tamiz, balanza de precisión y estufa.

3.4.4. Reactivos

Agua destilada, dicromato de potasio, ácido sulfúrico, difenilamina sulfúrica, sal de Mohr y cloruro de potasio.

3.5. Metodología

Para el desarrollo de la investigación se planteó cuatro (04) fases fundamentales: trabajo de pre campo, de campo, determinación de las propiedades químicas y biológicas; procesamiento de datos.

3.5.1. Trabajo de pre campo

Para el desarrollo de la investigación se seleccionaron tres parcelas con sistemas silvopastoriles (SSP); los cuales debieron cumplir rigurosamente los criterios de selección, siendo estos:

- Potreros preferiblemente con bajas densidades arbóreas, que facilita la selección de árboles sin influencia de árboles vecinos (a excepción de la parcela sin presencia de árbol).

- Fisiografía uniforme del potrero, lo que aumenta la posibilidad de que los suelos sean uniformes.
- Edad del pasto actual al menos de 3 años para garantizar que la pastura se maneja de manera rutinaria.
- Uso como potrero durante al menos 5 años para garantizar que los suelos no son influenciados por un uso anterior (fertilizantes, labranza de suelos, etc.).
- Pendientes menores al 30% para minimizar posibles efectos de erosión de hojarasca y/o suelo, resbalones del ganado, terracillas de vaca (compactación “preferencial”), etc sobre las características del suelo.
- Que sean árboles de una edad promedio a 3 años, lo cual aumenta la posibilidad de encontrar algún efecto de la presencia del árbol el suelo.
- La pastura seleccionada deberá presentar vegetación herbácea homogénea bajo copa de árbol y en el punto de control fuera de la copa del árbol, para evitar que eventuales diferencias en las características del suelo se deban a la influencia de la vegetación herbácea y no a la presencia del árbol.
- El árbol en búsqueda deberá ser aislado de otros árboles, de manera que por debajo de la copa y en su orilla la influencia de otros árboles a través de deposición de hojarasca y sombra es mínima. Además, los puntos de control deberán recibir una cantidad mínima de hojarasca de árboles y muy poca sombra lateral. Basado en el estudio de SANDOVAL (2006), las muestras se tomaron en el área de menor caída de hojarasca arbórea, en dirección noreste a una distancia del tronco aproximada de 2 veces la altura del árbol en estudio.

3.5.2. Actividades de trabajo de campo

– Coordinación con los propietarios de los terrenos a evaluar

La identificación de las parcelas silvopastoriles, consistió en visitas directas de los terrenos, con fin de verificar que cumplieran con las características para realizar la investigación.

– Demarcación del área de estudio

La demarcación de la superficie de estudio se realizó en cada una de las parcelas, por un área de 100 m x 100 m; posteriormente divididas en subparcelas de 20 m. x 20 m. y se delimito utilizando rafia de color naranja. Seguidamente se colocó 20 estacas verdes (rombos) de madera alrededor de toda el área de estudio, en las tres unidades experimentales (Figura 1).

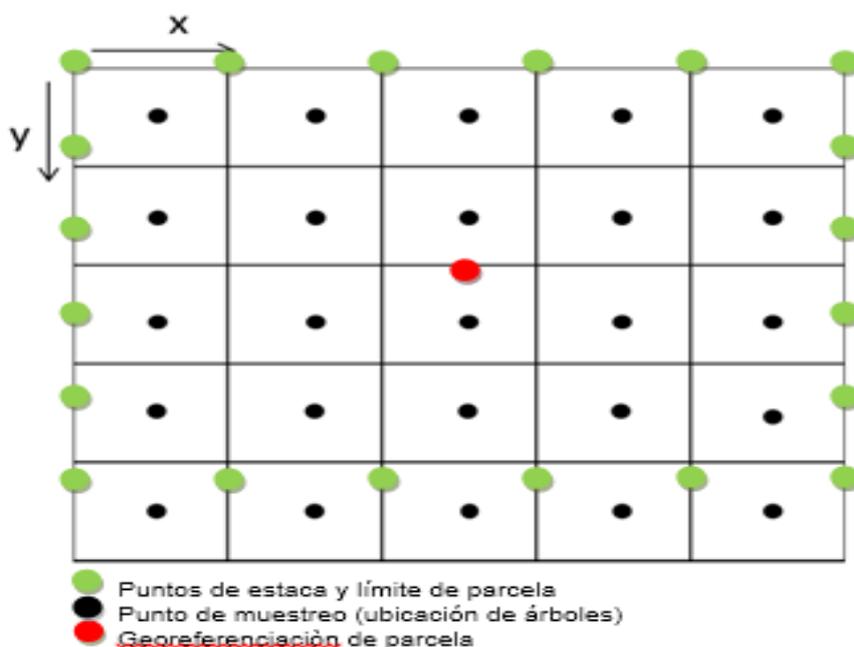


Figura 1. Rejillas regulares (Guía para muestreo de suelos, MINAM 2014)

Se realizó un muestreo aleatorio simple, recomendado para áreas homogéneas menores a 5 hectáreas, delimitadas por referencias visibles a lo largo y ancho de toda la extensión del sitio. Se caracteriza por permitir todas las combinaciones posibles de puntos de muestreo. Los puntos de muestreo se enumeraron en un plano cartesiano (Xi, Yj). La selección de estos se realizó por medio de una tabla de números aleatorios lo cual garantiza que cada punto tenga la misma probabilidad de ser seleccionado.

En cada parcela silvopastoril se tomaron muestras de suelo a 0.5, 1.0, 1.5, y 2.5 metros respecto al eje de los árboles, a una profundidad de muestreo de 30 cm); esto se realizó en cinco puntos a través de un muestreo aleatorio simple en cada subparcela. Cada punto al azar corresponde a un segmento del sistema silvopastoriles, donde se descartaron aquellas hileras que quedaran al borde de la parcela, obteniéndose 25 submuestras de suelo por parcela. Los muestreos se realizaron a lo largo de la hilera y a ambos lados de la misma, teniendo el cuidado de dejar un metro de cada lado como borde. En la parcela sin árboles se muestrearon en diez lugares al azar (subparcela), finalmente obteniéndose un total de sesenta (60) muestras de suelos.

– **Densidad de lombrices**

La densidad de lombrices se estimó con marcos de 25x25x15 cm., según metodología descrita por ANDERSON e INGRAM (1993). Por cada parcela con árboles se tomaron muestras a 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 metros del eje de los árboles en cinco puntos al azar, para un total de cincuenta (50) muestras. En las parcelas sin árboles se tomaron diez muestras al azar. Posteriormente in situ se procedió a hacer el conteo de lombrices en el campo, separando aquellas con clitelo (adultas) de aquellas sin clitelo (jóvenes). Luego las lombrices se devolvieron al campo.

3.5.3. Determinación de propiedades químicas y biológicas

Inmerso a las actividades de gabinete se realizó la determinación de las propiedades químicas, biomasa microbiana de los suelos en estudio.

– Parámetros químicos del suelo

Los parámetros químicos evaluados consistieron en la fertilidad del suelo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Métodos para determinar los indicadores químicos del suelo

Indicadores químicos	Método
Materia orgánica (C y N orgánico)	Método de Walkley y Black
Reacción del suelo o pH	Método del potenciómetro
Nitrógeno Total	Método de Kjeldahl
Fósforo disponible	Método de Olsen
Potasio disponible	Método del Ácido sulfúrico
C.I.C	Método del Acetato

Fuente: MOSCATELLI *et al.*, (2005).

– Parámetros biológicos

La evaluación de los parámetros biológicos evaluados consistió en el contenido de carbono y nitrógeno microbiano.

La determinación de C y N microbianos se realizó por medio de la técnica de fumigación-extracción, utilizando la metodología descrita por VANCE *et al.* (1987) para el C y la de BROOKES *et al.* (1985) para el N.; modificada posteriormente por

ANDERSON e INGRAM (1993). La biomasa microbiana se expresará en términos de C y N microbiano de la siguiente manera:

$$\text{C microbiano} = (\text{C extraible en suelo sin fumigar} - \text{C extraible en suelo fumigado})$$

$$\text{N microbiano} = (\text{N extraible en suelo sin fumigar} - \text{N extraído en suelo fumigado})$$

3.6. Tipo de investigación

El trabajo correspondió al tipo de investigación descriptivo (exploratorio).

3.7. Variables independientes

- Sistema silvopastoril de *Brachiaria brizantha* con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann.
- Sistema silvopastoril de *Brachiaria brizantha* con *Inga edulis*.
- Pastura de *Brachiaria brizantha* sin árbol.

3.8. Variables dependientes

Las variables en la presente investigación fueron:

- **Propiedades químicas del suelo**

Materia orgánica (C y N orgánico), reacción del suelo o pH, nitrógeno total, fósforo disponible, potasio disponible, capacidad de intercambio catiónico.

- **Propiedades biológicas del suelo**

Biomasa microbiana, densidad de lombrices.

IV. RESULTADOS

4.1. Efecto del componente arbóreo de sistemas silvopastoriles sobre la distribución espacial de nutrientes, biomasa microbiana y densidad de lombrices del suelo

4.1.1. Distribución espacial de los niveles medios de pH o reacción del suelo

En el Cuadro 3 se observan los datos obtenidos para el variable pH o reacción del suelo en los diferentes sistemas evaluados con seis intervalos de distanciamiento desde el eje del árbol. Los datos observados respecto al pH de los suelos del sistema *Brachiaria brizantha* asociado con *Inga edulis* en general se encuentran entre los rangos “moderadamente ácido a neutro”. Mientras que los suelos con *Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann ostentan promedios que se encuentran entre los rangos “fuertemente ácido a moderadamente ácido”.

Estadísticamente no se detectó diferencia significativa para el sistema *Brachiaria brizantha* asociado *Inga edulis* entre las distancias sucesivas respecto al eje del árbol. Asimismo, el dato observado presenta un coeficiente de variabilidad del 11.48% lo que indica que son relativamente homogéneos o poco dispersos respecto a la media. Por otra parte, el sistema silvopastoril de *Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann presentaron una tendencia de ajuste cubico (p_valor=0.0049), siendo $y=0.4815x^3 - 2.7221x^2 + 4.5243x$

+ 3.3933 con un $r^2 = 0.9704$; asimismo, los datos observados presentan un coeficiente de variabilidad del 5.57% manifestando que el cuadrado de las distancias de los datos observados respecto a su media, son poco distantes.

Cuadro 3. Niveles medios de pH o reacción del suelo de los sistemas silvopastoriles (SSP) con seis intervalos de distanciamiento desde el eje del árbol.

Distanciamiento (m)	Nivel medio de pH o reacción del suelo	
	SSP1	SSP2
0.5	5.76 ± 0.21 a	5.04 ± 0.20 a
1.0	6.06 ± 0.08 a	5.65 ± 0.16 b
1.5	6.02 ± 0.25 a	5.74 ± 0.24 b
2.0	6.66 ± 0.11 a	5.34 ± 0.48a
2.5	6.17 ± 0.06 a	5.25 ± 0.59 a
3.0	5.59 ± 0.11 a	5.46 ± 0.11 a
p_valor	0.0664	0.0049
C.V. (%)	11.48	5.57
r^2	--	0.9704

SSP1 (*Brachiaria brizantha* - *Inga edulis*); SSP2 (*Brachiaria brizantha* - *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann)

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

En la Figura 2 se aprecia que el comportamiento de pH o reacción del suelo para el sistema *Brachiaria brizantha* asociado *Inga edulis* conforme se aleja del eje del árbol es diferente; sin embargo, estadísticamente no se encontró un ajuste ortogonal. Por otra parte, el análisis estadístico determinó que el sistema silvopastoril de *Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann presenta diferencia significativa en la magnitud de los valores a medida que se aleja del eje del árbol. Los mayores valores se concentran a 1.5 m. de distancia

de la hilera de árboles, luego empieza a declinar hasta la penúltima medición, a los 2.5 m. A pesar que no se observó diferencia significativa en el sistema *Brachiaria brizantha* asociado *Inga edulis* para la variable pH; este sistema tiende a presentar valores más altos que el sistema silvopastoril de *Brachiaria brizantha* con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann.

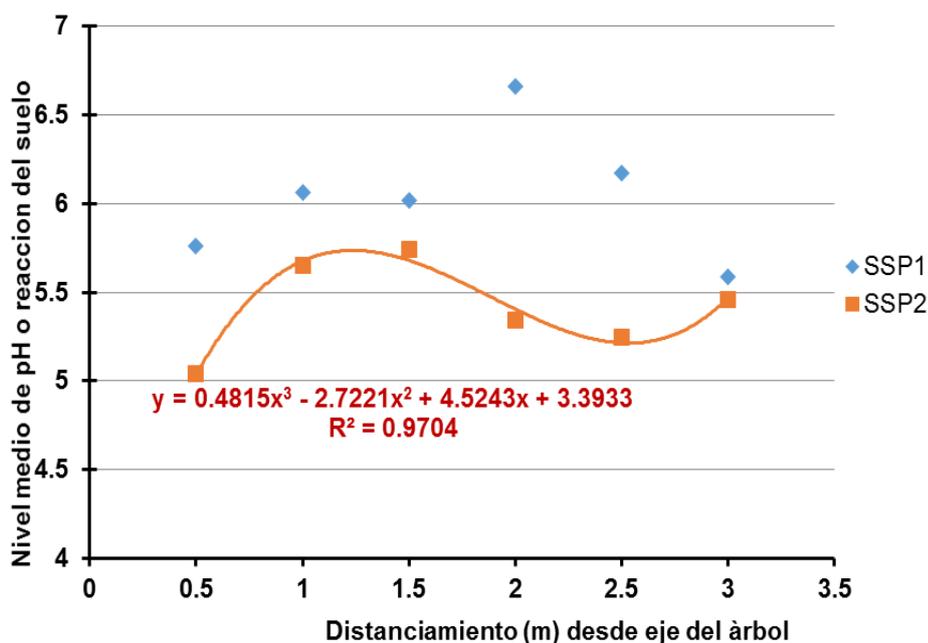


Figura 2. Distribución espacial de los niveles medios de pH en los suelos con sistemas silvopastoriles respecto al eje del árbol.

4.1.2. Distribución espacial de los niveles medios de materia orgánica y nitrógeno en el suelo

En el cuadro 4 se observan los datos obtenidos para las variables de fertilidad de suelo respecto a la materia orgánica y nitrógeno en los diferentes sistemas evaluados con seis intervalos de distanciamiento desde el eje del árbol. Estadísticamente se detectó diferencia significativa entre las distancias sucesivas respecto al eje del árbol para ambos sistemas silvopastoriles en estudio. Por su parte,

el sistema *Brachiaria brizantha* asociado *Inga edulis*., presentó tendencias de ajuste cuadrático para los tenores de materia orgánica ($y = -0.3414x^2 + 1.0384x + 2.984$, con un $r^2 = 0.7184$) y nitrógeno en el suelo ($y = -0.015x^2 + 0.0462x + 0.151$, con un $r^2 = 0.5169$). El mismo comportamiento aconteció para el sistema silvopastoril de *Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann, quien exteriorizó una tendencia de ajuste cuadrático ($y = -0.3914x^2 + 1.0374x + 1.9272$) con un $r^2 = 0.8653$ para los tenores de materia orgánica y nitrógeno en el suelo ($y = -0.0214x^2 + 0.0561x + 0.098$, con un $r^2 = 0.8906$).

Cuadro 4. Niveles medios de materia orgánica (M.O) y nitrógeno (N) en los suelos de los sistemas silvopastoriles evaluados con seis intervalos de distanciamiento desde el eje del árbol.

Distanciamiento (m)	SSP1		SSP2	
	M.O (%)	N (%)	M.O (%)	N (%)
0.5	3.26 ± 0.03 a	0.16±0.0001 a	2.38 ± 0.18 a	0.12 ± 0.01 a
1.0	3.94 ± 0.14 b	0.20 ± 0.01 b	2.54 ± 0.09 a	0.13± 0.0003 a
1.5	3.85 ± 0.21 b	0.19 ± 0.01 b	2.83 ± 0.39 a	0.14 ± 0.02 a
2.0	3.49 ± 0.21 a	0.17 ± 0.01 a	2.53 ± 0.19 a	0.13 ± 0.01 a
2.5	3.38 ± 0.11 a	0.17 ± 0.01 a	1.85 ± 0.15 b	0.09 ± 0.01 b
3.0	3.12 ± 0.26 a	0.16 ± 0.01 a	1.69 ± 0.15 b	0.08 ± 0.01 b
p_valor	0.0095	0.0095	0.0137	0.0047
C.V. (%)	10.24	10.24	18.77	18.77

SSP1 (*Brachiaria brizantha* - *Inga edulis*); SSP2 (*Brachiaria brizantha* - *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann)
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

El comportamiento de la materia orgánica y nitrógeno en los componentes estudiados se detalla mejor gráficamente (Figura 3).

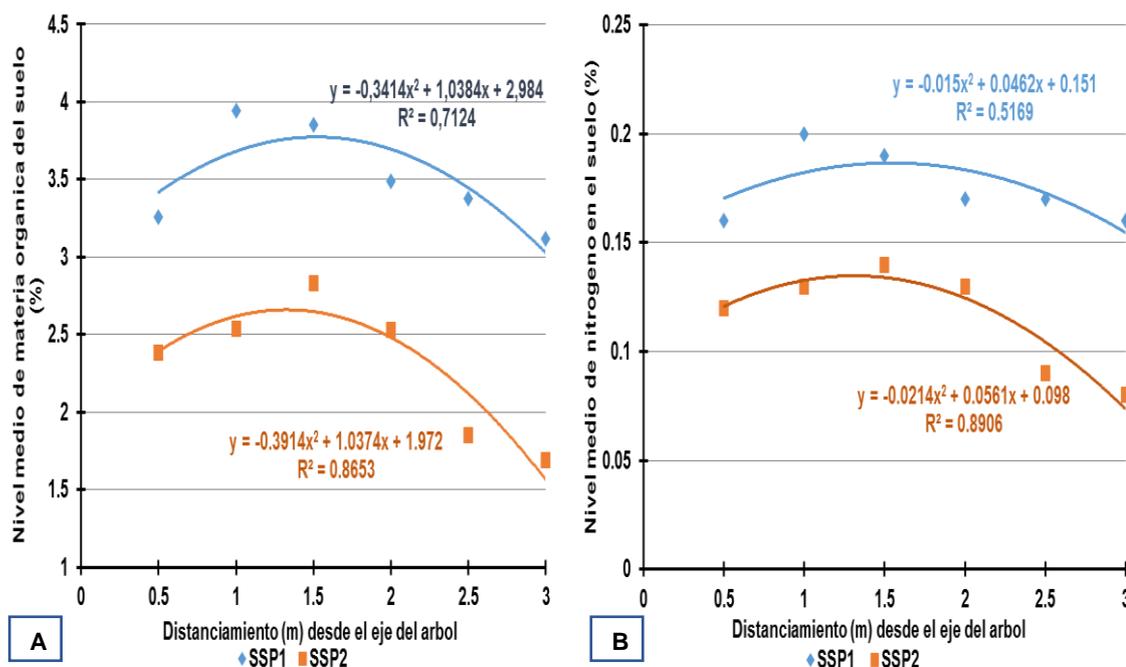


Figura 3. Distribución espacial de los niveles medios de materia orgánica (A), nitrógeno (B) en los suelos de los sistemas silvopastoriles de *Brachiaria brizantha* asociado con *Inga edulis* y *Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann.

Los suelos del sistema *Brachiaria brizantha* con *Inga edulis* (Figura 3-A) en general se encuentran entre el rango de contenido “medio” de materia orgánica y nitrógeno”. Mientras que los suelos de *Brachiaria brizantha* con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann (Figura 3-B) ostentan tenores de rangos “bajo a medio”. Los mayores valores se concentran a 1.5 m. de distancia de la hilera de árboles, luego empieza a declinar hasta la penúltima medición, a los 2.5 m.

4.1.3. Distribución espacial de los niveles medios de fósforo y potasio

En el cuadro 5 se resumen los resultados del fósforo y potasio de los suelos con diferentes sistemas silvopastoriles evaluados con seis intervalos de distanciamiento desde el eje del árbol.

Cuadro 5. Niveles medios de fósforo (P) y potasio (K) en los suelos de los sistemas silvopastoriles con seis intervalos de distanciamiento desde el eje del árbol.

Distanciamiento(m)	SSP1		SSP2	
	P (ppm)	k (kg/ha)	P (ppm)	K (kg/ha)
0.5	12.75±0.75a	395.16±33.0 a	9.75±1.11 a	354.47±12.8 a
1.0	11.50±1.85a	365.07±107.5 a	14.0±1.15 b	338.81±40.3 a
1.5	18.75±2.17b	529.75±43.8 a	13.75±0.63 b	293.12±61.5 a
2.0	15.25±1.60b	600.17±7.1 a	14.25±0.95 b	147.31±40.4 b
2.5	17.25±1.75b	435.02±36.7 a	13.50±1.04 b	155.25±45.0 b
3.0	15.75±0.48b	388.96±54.9 a	10.75±1.38 a	128.43±18.9 b
p_valor	0.0406	0.0143	0.0014	<0.0001
C.V. (%)	20.49	24.88	16.85	33.89

SSP1 (*Brachiaria brizantha* - *Inga edulis*); SSP2 (*Brachiaria brizantha* - *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann)

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Respecto a los tenores de fósforo en el suelo, se encontraron diferencias significativas con ajuste lineal ($y=1.6428x + 12.333$, con un $r^2 = 0.3209$) para el sistema silvopastoril de *Brachiaria brizantha* asociado con *Inga edulis* (Cuadro 5); sin embargo, para los tenores de potasio, estos presentan una tendencia de ajuste cuadrático ($y=-99.941x^2 + 364.04x + 194.23$, con un $r^2 = 0.562$). Por su parte, el sistema *Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann, presento tendencias de ajuste cuadrático ($y=-2,6429x^2 + 9.4786x + 6.1$, con un $r^2 = 0.9014$) para los tenores de fósforo; mientras que los tenores de potasio tienden a ostentar una tendencia de ajuste lineal ($y= -104x + 418.9$, con un $r^2 = 0.8856$).

El comportamiento de los tenores de fósforo y potasio en los componentes estudiados se detalla mejor gráficamente (Figura 4).

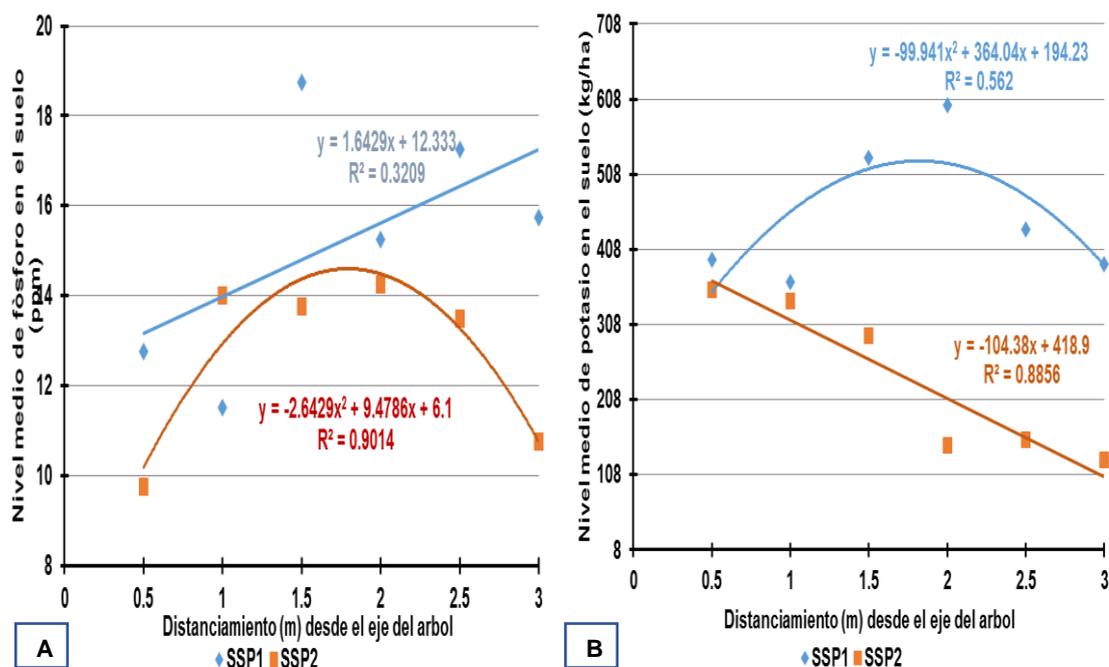


Figura 4. Distribución espacial de los niveles medios de fósforo (A), potasio (B) en los suelos de los sistemas silvopastoriles de *Brachiaria brizantha* asociado con *Inga edulis* y *Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann.

En la Figura 4 – A, se aprecia que el comportamiento del fósforo en el suelo del sistema silvopastoril *Brachiaria brizantha* asociado con *Inga edulis* conforme se aleja del árbol tiende a incrementarse los valores. Sin embargo, de acuerdo al coeficiente de determinación, a pesar de que los datos observados presentan un ajuste lineal con un nivel de confiabilidad del 32%, el 68% restante se atribuye a otros factores a considerar. Por otra parte, los valores observados presentan rangos que van de niveles bajos a normal. Respecto al sistema silvopastoril de *Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann, los mayores valores se concentran a 1.75 m (aproximadamente), de distancia de la hilera de árboles, luego empieza a declinar hasta la penúltima medición, a los 2.5 m., sin embargo, los tenores determinados

son bajos en fertilidad. Los datos observados respecto a los tenores de potasio en los suelos del sistema *Brachiaria brizantha* asociado con *Inga edulis* (Figura 4-B) presentan un comportamiento de ajuste cuadrático, con mayores valores hasta los 2.0 m, descendiendo posteriormente a medida que se aleja del árbol; cuyos niveles determinados se encuentran en el rango de contenido “bajo”. Por otra parte, los suelos con *Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann ostentan promedios con valores de tendencia con ajuste lineal negativo, descendiendo a medida que se aleja del árbol. Cuyos tenores determinados se encuentran entre los rangos de “muy bajo a bajo”.

4.1.4. Distribución espacial de los niveles medios de la capacidad de intercambio catiónico del suelo

En el cuadro 6 y figura 5, se observa los datos obtenidos para la variable de fertilidad del suelo en los diferentes sistemas evaluados con seis intervalos de distanciamiento desde el eje del árbol. Los datos en general se encuentran dentro de los rangos de bajo, medio y alto, para los suelos con sistema silvopastoril de *Brachiaria brizantha* asociado con *Inga edulis*. Mientras que los suelos del sistema silvopastoril de *Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann son característicos de ostentar mayores valores, determinados entre el rango alto. Estadísticamente se detectó diferencia significativa entre las distancias sucesivas respecto al eje del árbol para ambos sistemas silvopastoriles. El sistema *Brachiaria brizantha* asociado *Inga edulis*., mostró una tendencia de ajuste cuadrático ($y = -5.3107x^2 + 11.294x + 29.029$, con un $r^2 = 35.52$). Sin embargo, la distribución espacial de los niveles de capacidad de intercambio catiónico para el sistema silvopastoril de *Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann, exteriorizó una tendencia de ajuste lineal ($y = 5.9874x^2 + 23.062$) con un $r^2 = 0.593$.

Cuadro 6. Niveles medios de la capacidad de intercambio catiónico en los suelos de los sistemas silvopastoriles con intervalos de distanciamiento.

Distanciamiento (m)	Nivel medio de CIC del suelo (meq/100 g suelo)	
	SSP1	SSP2
0.5	27.52 ± 4.95 a	27.92 ± 5.45 a
1.0	43.56 ± 4.38a	33.76 ± 5.81 a
1.5	34.4 ± 3.96a	26.01 ± 2.69 a
2.0	36.23 ± 6.19a	29.94 ± 2.69 a
2.5	6.17 ± 3.70a	38.16 ± 5.69 a
3.0	24.06 ± 2.02a	45.45 ± 2.81 b
p_valor	0.0260	0.0113
C.V. (%)	26.98	26.46

SSP1 (*Brachiaria brizantha* - *Inga edulis*); SSP2 (*Brachiaria brizantha* - *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann)

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

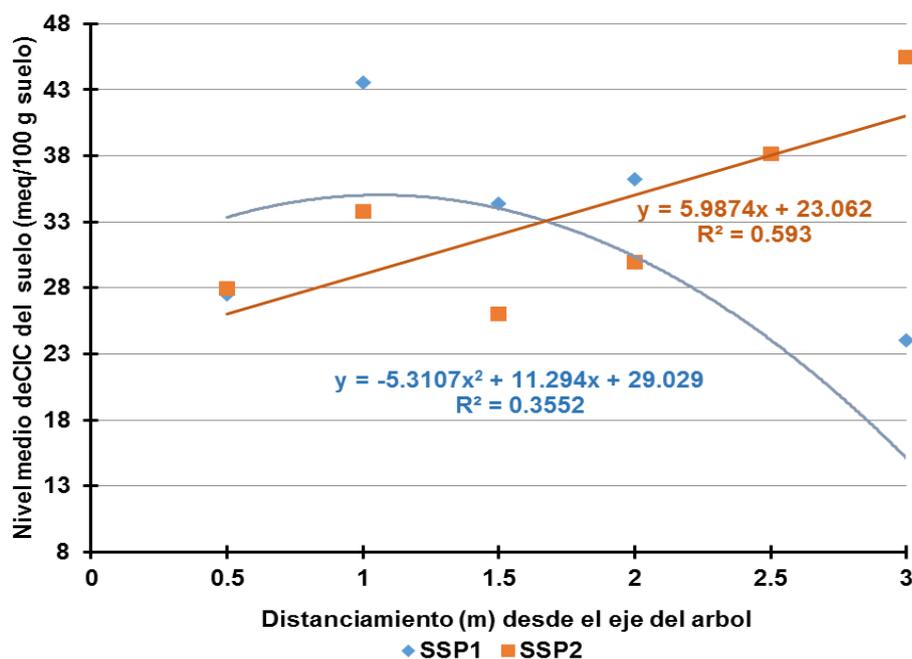


Figura 5. Distribución espacial de los niveles medios de CIC en los suelos con sistemas silvopastoriles respecto al eje del árbol.

4.1.5. Distribución espacial de los niveles medios de carbono y nitrógeno microbiano en el suelo

En el cuadro 7 se resumen los resultados de las medias de carbono y nitrógeno microbiano de los suelos con diferentes sistemas silvopastoriles evaluados con seis intervalos de distanciamiento desde el eje del árbol.

Cuadro 7. Niveles medios de carbono y nitrógeno microbiano en los suelos de los sistemas silvopastoriles con seis intervalos de distanciamiento desde el eje del árbol.

Distanciamiento(m)	SSP1		SSP2	
	CM (mg/ha)	Nm (mg/kg)	CM (mg/ha)	Nm (mg/kg)
0.5	165.23±2.65a	14.3 ± 1.34a	15.03 ±7.31a	15.03 ± 1.61a
1.0	171.27±1.00a	13.05 ± 0.38a	12.6 ±10.70a	12.6 ± 1.23b
1.5	170.72±3.16a	12.45 ±0.64a	15.3 ± 0.43a	15.3 ± 0.71a
2.0	181.45±2.81a	12.35 ± 0.19a	12.25±7.96a	12.25 ± 1.50b
2.5	167.67±6.79 ^a	13.7 ± 0.21a	10.68± 0.19a	10.68 ± 0.30b
3.0	176.04±8.72a	14.15 ± 0.54a	11.55± 0.24a	11.55 ± 0.33b
p_valor	0.2105	0.0168	0.0081	0.0101
C.V. (%)	5.77	10.13	7.29	16.81

SSP1 (*Brachiaria brizantha* - *Inga edulis*); SSP2 (*Brachiaria brizantha* - *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann)

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

A un nivel de significancia del 95%, referente a la variable carbono microbiano estadísticamente no se detectó diferencia significativa entre las distancias sucesivas respecto al eje del árbol para el sistema silvopastoril de *Brachiaria brizantha* asociado *Inga edulis* (Cuadro 7); sin embargo, para los valores medios de nitrógeno

microbiano, estos presentan una tendencia de ajuste cuadrático ($y=1.1643x^2-4.0121x+15.94$, con un $r^2 = 0.8925$). El sistema *Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann, presentó tendencias de ajuste lineal ($y=-8.84x+185.92$, con un $r^2 = 0.5003$) para los valores medios de carbono microbiano en el suelo y una tendencia de ajuste lineal ($y=-1.4977x+15.523$, con un $r^2 = 0.5589$) para los valores medios de nitrógeno microbiano en el suelo (Figura 6).

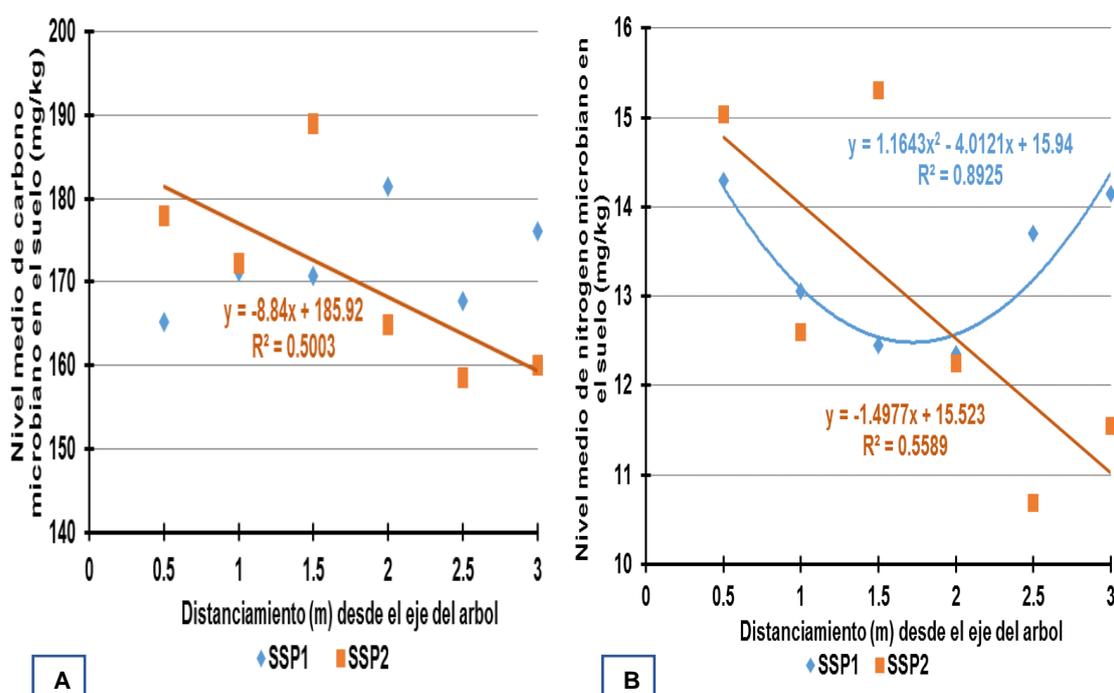


Figura 6. Distribución espacial de los niveles medios de carbono microbiano (A) y nitrógeno microbiano (B) en los suelos de los sistemas silvopastoriles de *Brachiaria brizantha* asociado con *Inga edulis* y *Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann.

En la Figura 6-A se aprecia que el comportamiento del carbono microbiano en el suelo del sistema de *Brachiaria brizantha* asociado *Inga edulis*

conforme se aleja del eje del árbol es diferente, sin embargo estadísticamente no se encontró ajuste ortogonal. Para el sistema silvopastoril de *Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann existe ajuste lineal, en la magnitud de que los valores a medida que se aleja del eje del árbol tienden a descender hasta la penúltima medición, a los 3.0 m. El comportamiento de los datos observados referente al nitrógeno microbiano (Figura 6-B) conforme se aleja del eje del árbol presentan tendencia cuadrática para los suelos del sistema silvopastoril de *Brachiaria brizantha* asociado con *Inga edulis*, existiendo menores valores a 1.75 m de distanciamiento del eje árbol, incrementándose posteriormente hasta la última medición. Finalmente en el sistema silvopastoril de *Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann, existe ajuste lineal, en la magnitud de que los valores a medida que se aleja del eje del árbol tienden a descender hasta la penúltima medición, a los 3.0 m.

4.1.6. Distribución espacial de los niveles medios de lombrices jóvenes y adultas en el suelo

En el Cuadro 8 se observan los datos obtenidos para las variables lombrices jóvenes y adultas en el suelo de los diferentes sistemas evaluados con seis intervalos de distanciamiento desde el eje del árbol.

Respecto a la distribución espacial de las lombrices jóvenes, estadísticamente no se detectó diferencia significativa para ambos sistemas silvopastoriles entre las distancias sucesivas en relación al eje del árbol. Para la distribución espacial de individuos adultos, estadísticamente se detectó diferencia significativa entre las distancias sucesivas respecto al eje del árbol para el sistema silvopastoril de *Brachiaria brizantha* asociado *Inga edulis*, presentando un ajuste lineal

($y = -2.8571x + 17$ con un $r^2 = 0.7143$). Sin embargo, el promedio de individuos adultos en el sistema *Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann, presentó tendencias de ajuste cuadrático ($y = -3.1429x^2 - 10.314x + 3.2$, con un $r^2 = 0.5538$).

Cuadro 8. Promedio de lombrices jóvenes y adultas (individuos) en los suelos de los sistemas silvopastoriles con seis intervalos de distanciamiento desde el eje del árbol.

Distanciamiento(m)	SSP1		SSP2	
	Jóvenes	Adultas	Jóvenes	Adultas
0.5	11 ± 0.10 a	14 ± 0.10a	11 ± 0.22 a	7 ± 0.21 a
1.0	9 ± 0.04 a	14 ± 0.12 a	12 ± 0.18 a	10 ± 0.29 a
1.5	8 ± 0.39 a	16 ± 0.16 a	9 ± 0.08 b	15 ± 0.14 b
2.0	12 ± 0.24 a	11 ± 0.27a	9 ± 0.14 b	9 ± 0.14 a
2.5	11 ± 0.20 a	9 ± 0.15 a	13 ± 0.21 a	8 ± 0.16 a
3.0	9 ± 0.17 a	8 ± 0.10 a	8 ± 0.13 b	7 ± 0.05 a
p_valor	0.0799	<0.0001	0.1744	0.0004
C.V. (%)	13.86	9.34	10.58	11.95

SSP1 (*Brachiaria brizantha* - *Inga edulis*); SSP2 (*Brachiaria brizantha* - *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann)
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

En la Figura 7-A se aprecia que el comportamiento de las lombrices jóvenes en el suelo de los sistemas silvopastoriles de *Brachiaria brizantha* asociado con *Inga edulis* y *Brachiaria brizantha* con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann, conforme se aleja del eje del árbol es diferente, sin embargo,

estadísticamente no se encontró ajuste ortogonal. El comportamiento del promedio de lombrices adultas en el suelo conforme se aleja del eje del árbol presentan tendencia lineal para los suelos del sistema silvopastoril de *Brachiaria brizantha* asociado con *Inga edulis*, disminuyendo a medida que se aleja del eje del árbol.

Finalmente en el sistema silvopastoril de *Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann, existe ajuste cuadrático, en la magnitud de que los valores a medida que se aleja del eje del árbol tienden a decrecer hasta los 1.75 m de distanciamiento, disminuyendo posteriormente hasta la última medición (Figura 7-B).

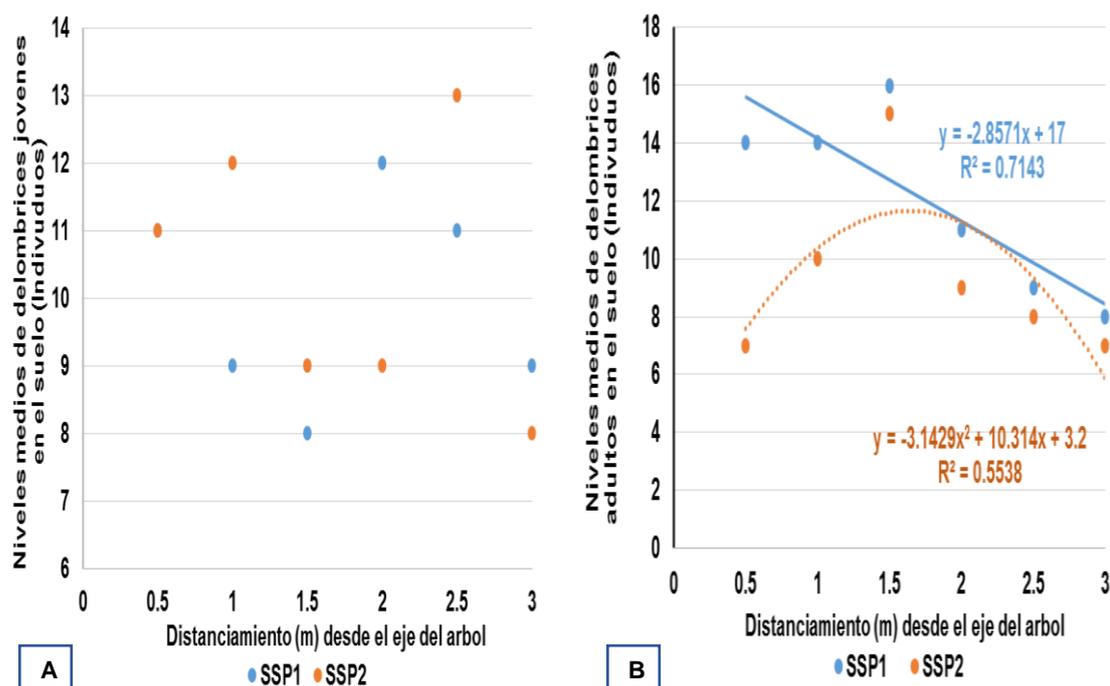


Figura 7. Distribución espacial de los niveles medios de lombrices jóvenes (A) lombrices adultas (B) en los suelos de los sistemas silvopastoriles de *Brachiaria brizantha* asociado con *Inga edulis* y *Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann.

4.2. Comportamiento de las propiedades químicas, biomasa microbiana y densidad de lombrices, entre sistemas silvopastoriles y un estrato herbáceo de *Brachiaria brizantha*, en función de la presencia de árboles leguminosos

El cuadro 9 muestra los resultados obtenidos de la prueba T a un 5% de nivel de significancia para las distintas propiedades químicas, biomasa microbiana y densidad de lombrices evaluadas entre los entre sistemas silvopastoriles de *Brachiaria brizantha* asociado con *Inga edulis*, *Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann., y un estrato herbáceo de *Brachiaria brizantha*, en función de la presencia de árboles leguminosos:

Cuadro 9. Comportamiento de las propiedades químicas, biomasa microbiana y densidad de lombrices entre las unidades en estudio.

Variables	Uso actual de tierras			p - valor
	SSP1	SSP2	BB	
pH	6.04 ± 0.14 a	5.41 ± 0.07 b	5.18 ± 0.08 b	0.0002
M.O (%)	3.51 ± 0.09 a	2.30 ± 0.11 b	2.37 ± 0.50 b	<0.0001
N (%)	0.18 ± 0.0004 a	0.12 ± 0.01b	0.12 ± 0.02 b	<0.0101
P (ppm)	15.21 ± 0.76 a	12.67 ± 0.53a	9.00 ± 2.04 b	0.0012
K ₂ O (kg/ha)	452.35 ± 26.93 a	236.23 ± 24.48 b	136.53 ± 20.09 b	0.0001
CIC	32.51 ± 2.07 a	33.54 ± 2.12 a	39.27 ± 3.09 a	0.4675
CM (mg/kg)	172.06 ± 2.11 a	170.45 ± 3.16 a	167.83 ± 4.39 a	0.8010
NM (mg/kg)	13.33 ± 0.29 a	12.87 ± 0.52 a	16.03 ± 2.09 b	0.0438
Lombrices jóvenes	3 ± 0.09 a	3 ± 0.53 a	3 ± 1.08 a	0.4316
Lombrices adultas	4 ± 0.10 a	3 ± 0.73 b	3 ± 1.41 b	0.0149

Letras distintas en una misma fila indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según prueba de Tukey. SSP1 (*Brachiaria brizantha* - *Inga edulis*); SSP2 (*Brachiaria brizantha* - *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann); BB: *Brachiaria brizantha*

Estadísticamente existió alta diferencia significativa para la reacción del suelo o pH, evidenciándose dos grupos diferenciados; el primero por los suelos del sistema silvopastoril de *Brachiaria brizantha* con *Inga edulis* (6.04 - moderadamente ácido) y un segundo grupo con menores rangos de pH, ostentado por los suelos del sistema de *Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann y suelos del estrato herbáceo de *Brachiaria brizantha* (5.18 a 5.41 – Fuertemente ácido a moderadamente ácido).

Respecto a los tenores de materia orgánica (M.O) y nitrógeno (N) en el suelo, existió alta diferencia significativa entre los sistemas en estudio; con mayores valores promedios (3.51% para la M.O., y 0.18% para el N) ostentados por los suelos del sistema silvopastoril de *Brachiaria brizantha* con *Inga edulis*; y menores valores por los suelos de *Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann y del estrato herbáceo de *Brachiaria brizantha*.

Estadísticamente existió diferencia significativa respecto a los tenores de fósforo en el suelo de los sistemas de uso en estudio. Hallándose mayores tenores de este nutriente en los suelos con sistemas silvopastoriles de *Brachiaria brizantha* asociado con *Inga edulis* y *Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann, siendo menor los valores en los suelos con estrato herbáceo de *Brachiaria brizantha*.

En relación al nivel de potasio disponible (kg/ha), la prueba estadística muestra que existe diferencia significativa entre las medias ajustadas; evidenciándose dos grupo: el primero conformado por mayores valores (452 kg/ha – nivel bajo) ostentados por los suelos del sistema silvopastoril de *Brachiaria brizantha* asociado con *Inga edulis* y el segundo por menores valores ostentados por los suelos del

sistema de *Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann y los suelos del estrato herbáceo de *Brachiaria brizantha*., con rangos que van de 136.53 a 236.23 kg/ha – nivel muy bajo.

Para la capacidad de intercambio catiónico del suelo, carbono microbiano, lombrices jóvenes, estadísticamente no existió diferencia significativa entre las medias ajustadas de los sistemas silvopastoriles en estudio.

Referente al nitrógeno microbiano en el suelo se encontró alta diferencia significativa con promedios mayores (16.03 mg/ha) ostentados por los suelos del estrato herbáceo de *Brachiaria brizantha* (sin presencia de árbol), y promedios menores que van desde 12.87 mg/kg (*Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann) a 13.33 mg/kg (*Brachiaria brizantha* asociado con *Inga edulis*) y

Estadísticamente existió diferencia significativa referente al número de lombrices adultas en el suelo, observándose mayores valores promedios (4 individuos) en los suelos del sistema silvopastoril de *Brachiaria brizantha* con *Inga edulis*; y menor número de individuos en los suelos de *Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann y del estrato herbáceo de *Brachiaria brizantha*.

V. DISCUSIÓN

5.1. Efecto del componente arbóreo de sistemas silvopastoriles sobre la distribución espacial de nutrientes, biomasa microbiana y densidad de lombrices del suelo

El comportamiento del pH o reacción del suelo para el sistema *Brachiaria brizantha* asociado *Inga edulis* conforme se aleja del eje del árbol es diferente con valores que se encuentran entre los rangos “fuertemente ácido a moderadamente ácido”; sin embargo, estadísticamente no se encontró un ajuste ortogonal. Mientras que el sistema silvopastoril de *Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann presenta diferencia significativa en la magnitud de los valores a medida que se aleja del eje del árbol (tendencia de ajuste cubico). Los mayores valores se concentran a 1.5 m. de distancia de la hilera de árboles, luego empieza a declinar hasta la penúltima medición, a los 3.0 m.

Debido a la relación que existe en el Ca/Mg respecto al pH; en regiones húmedas el contenido de Ca y Mg de medio a bajo, se lavan fácilmente, percolandose a través del perfil del suelo. Este aumento en la cantidad de Mg hasta la distancia de 1.5 m se debe posiblemente a la mayor concentración en las hojas del material podado de los árboles (SÁNCHEZ y SALINAS, 1983). Corroborando de tal manera lo mencionado por el autor, debido a que en los suelos cuando se refleja en una reducción de la selectividad por el Ca^{2+} con respecto al Mg^{2+} el pH tiende a aumentar. Asimismo es indispensable considerar que hasta 1.5 m de distancia se refleja un mayor aporte de la materia orgánica en el suelo del sistema silvopastoril *Brachiaria*

brizantha asociado *Inga edulis* sobre el sistema de *Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann, debido a ello se atribuye la variabilidad existente de los rangos de pH.

El sistema *Brachiaria brizantha* asociado *Inga edulis*., presentó tendencias de ajuste cuadrático para los tenores de materia orgánica y nitrógeno en el suelo. El mismo comportamiento aconteció para el sistema silvopastoril de *Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann, quien exteriorizó una tendencia de ajuste cuadrático para los tenores de materia orgánica y nitrógeno en el suelo. Los mayores valores se concentran a 1.5 m. de distancia de la hilera de árboles, luego empieza a declinar hasta la última medición, a los 3.0 m. Por su parte FASSBENDER (1993); COLE y RAPP (1981) señalan que la acumulación de materia orgánica está en relación directa al patrón mensual de aporte de residuos al suelo, dependiendo de las características fisiológicas de las especies involucradas en el sistema y las condiciones climáticas reinantes, pero puede ser modificada por el manejo de podas. Nuestros resultados corroboran lo mencionado por el autor, ya que se evidenció mayor acumulación de materia orgánica y nitrógeno a hasta 1.5 m de la cobertura arbórea, disminuyendo posteriormente en ambos sistemas silvopastoriles en estudio. Asimismo, de acuerdo a las características del tipo de cobertura, los mayores tenores son ostentados por los suelos del sistema silvopastoril de *Brachiaria brizantha* asociado *Inga edulis*.

NYAMAI (1992); BROSS *et al.* (1995) y PALM y SÁNCHEZ (1990) menciona que existe una relación directa entre la velocidad de degradación de la materia orgánica con el incremento de los nutrientes en el suelo. Corroboramos lo referido por los autores, observándose que el comportamiento de la materia orgánica es directamente proporcional al nivel nitrógeno en el suelo; presentando una tendencia

creciente hasta 1.5 m, disminuyendo posteriormente a medida que se aleja de la cobertura arbórea.

Respecto a los tenores de fósforo en el suelo, se encontraron diferencias significativas con ajuste lineal para el sistema silvopastoril de *Brachiaria brizantha* asociado con *Inga edulis*, incrementándose los valores hasta la última medición. Para el sistema *Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann, se presentó tendencias de ajuste cuadrático, concentrándose los mayores valores a 1.75 m. de distancia de la hilera de árboles, decreciendo ligeramente hasta la última medición. Las diferencias significativas se pueden considerar lógicas puesto que los residuos de hojas y material en descomposición para la mineralización provienen del mantillo del suelo, por lo que la mayor parte de los nutrientes se encuentran en la parte superior de éste. Al respecto PANIAGUA (1991) y MACMO (1996) refieren que el contenido de fósforo disminuye con la profundidad del suelo debido a la disminución de la materia orgánica y los fosfatos orgánicos, esto puede corresponder a la deposición del material vegetal (defoliación), ya que es en los puntos cercanos al árbol donde se depositó la mayoría del material vegetal. Por su parte, la distribución espacial del fósforo en la presente investigación, ostenta niveles altos a 1.5 m, en los suelos con cobertura de *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann, disminuyendo posteriormente a medida que se aleja del eje de la cobertura arbórea, este comportamiento es atribuido al ancho de la copa de la especie maderable, siendo de la *Inga edulis* con mayor copa del árbol.

Los tenores de potasio en los suelos del sistema *Brachiaria brizantha* asociado con *Inga edulis* presentan un comportamiento de ajuste cuadrático, con mayores valores hasta los 2.0 m, descendiendo posteriormente a medida que se aleja del árbol". Mientras que los suelos con *Brachiaria brizantha* asociado con

Calycophyllum spruceanum (Bentham) Hooker f. ex Schumann ostentan promedios con valores de tendencia con ajuste lineal negativo, descendiendo a medida que se aleja del árbol. Al respecto PALM y SÁNCHEZ (1990) refieren que la lixiviación es el principal proceso que influencia la pérdida del potasio en el suelo, estableciendo que el potasio se pierde en mayor cantidad a diferencia del fósforo, nitrógeno, calcio y magnesio. Sin embargo, de acuerdo a las características fisiológicas de la cobertura arbórea, el potasio participa en un gran número de funciones bioquímicas, incrementando el rendimiento (tamaño y número de racimos), asimismo, acelera el flujo de asimilados desde las hojas hacia otros órganos de la planta. Es por ello que la cobertura arbórea asimila el potasio en grandes cantidades debido a la necesidad de este nutriente, de ello los niveles de potasio encontrado en el suelo de las tres etapas de instalación es muy bajo.

Para la variable capacidad de intercambio catiónico, el sistema *Brachiaria brizantha* asociado *Inga edulis*., mostró una tendencia de ajuste cuadrático con mayores valores concentrados a 1.5 m. de distancia de la hilera de árboles, empezando a descender hasta la última medición, a los 3.0 m. Sin embargo, la distribución espacial de los niveles de capacidad de intercambio catiónico para el sistema silvopastoril de *Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann, exteriorizó una tendencia de ajuste lineal, incrementándose los valores a medida que se aleja del eje del árbol. De acuerdo a los niveles de CIC encontrados, estos se definen en niveles medios y altos; por lo que la distribución espacial respecto a esta variable muestra una relación directa con el contenido de materia orgánica en el suelo.

El carbono microbiano estadísticamente no mostró diferencia significativa entre las distancias sucesivas respecto al eje del árbol para el sistema silvopastoril de *Brachiaria brizantha* asociado *Inga edulis*. Sin embargo, para los valores medios de

nitrógeno microbiano, estos presentan una tendencia de ajuste cuadrático, existiendo menores valores a 1.75 m de distanciamiento del eje árbol, incrementándose posteriormente hasta la última medición. El sistema *Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann, presentó tendencias de ajuste lineal para los valores medios de carbono y nitrógeno microbiano en el suelo, en la magnitud de que los valores a medida que se aleja del eje del árbol tienden a descender hasta la última medición.

VAN VEEN *et al.* (1989) mencionan que la proporción del ataque de la biomasa microbiana es determinado directamente por la disponibilidad de carbono orgánico y por el estado nutricional del suelo. Los resultados obtenidos corroboran lo mencionado por el autor, ya que se evidencia un comportamiento cuadrático y lineal respecto a la distribución espacial del componente orgánico en ambos sistemas silvopastoriles. Asimismo, CAMPBELL y BIEDEBECK (1982) refiere que este ataque se da debido a que la materia orgánica caída al suelo sustituye las necesidades metabólicas, citoplasmáticas y favorece el crecimiento poblacional de esta fracción. De la distribución espacial de la especie *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann se observó que los niveles promedios tienden a descender a medida que se incrementa la distancia, éste comportamiento se atribuyen a la mayor acumulación de restos orgánicos cerca al eje del árbol.

MAZZARINO *et al.* (1993) refieren que factores como la cobertura vegetal, la fertilización, el origen de los suelos y las fluctuaciones climáticas afectan el desarrollo de la actividad microbiana. Por lo que es imprescindible considerar el microclima generado por la *Inga edulis* debido que presenta mayor ancho de copa que la especie *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann.

El comportamiento del promedio de lombrices adultas en el suelo conforme se aleja del eje del árbol presentan tendencia lineal para los suelos del sistema silvopastoril de *Brachiaria brizantha* asociado con *Inga edulis*, disminuyendo a medida que se aleja del eje del árbol. Finalmente en el sistema silvopastoril de *Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann, existe ajuste cuadrático, en la magnitud de que los valores a medida que se aleja del eje del árbol tienden a decrecer hasta los 1.75 m de distanciamiento, disminuyendo posteriormente hasta la última medición.

Este comportamiento es atribuido a factores que afectan jerárquicamente en la cantidad de lombrices en los suelos, siendo estos: La temperatura, nutrientes en el suelo y los factores estacionales (lluvias, sequías) (FRAGOSO y LAVELLE, 1992), asimismo, de las dos especies utilizadas como cobertura de los sistemas silvopastoriles en estudio, se evidencia gran diferencia de la copa y/o fuste de cada especie, causando variabilidad en las condiciones ambientales del suelo (humedad, textura) e incorporación de materia orgánica que sirve como alimento para estos organismos.

AIRA *et al.* (2008) mencionan que la actividad directa de las lombrices aumenta significativamente la mineralización del carbono y nitrógeno en el sustrato, y tales efectos son proporcionales a la densidad de lombrices.

LORES *et al.* (2006) refieren que las lombrices de tierra modifican la biomasa microbiana, afectando la estructura de las comunidades de la microflora y de la microfauna. Los resultados obtenidos en la presente investigación demuestran que existe relación directa entre las variables en estudio, determinándose tendencias de juste cuadrático y lineal para cada en los sistemas silvopastoriles.

5.2. Comportamiento de las propiedades químicas, biomasa microbiana y densidad de lombrices, entre sistemas silvopastoriles y un estrato herbáceo de *Brachiaria brizantha* en función de la presencia de árboles leguminosos

Estadísticamente existió alta diferencia significativa para la reacción del suelo o pH, evidenciándose dos grupos; el primero por los suelos del sistema silvopastoril de *Brachiaria brizantha* con *Inga edulis* (6.04 - moderadamente ácido) y un segundo grupo con menores rangos de pH, ostentado por los suelos del sistema de *Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann y suelos del estrato herbáceo de *Brachiaria brizantha* (5.18 a 5.41 – fuertemente ácido a moderadamente ácido).

Para los tenores de materia orgánica (M.O) y nitrógeno (N) en el suelo, existió alta diferencia significativa entre los sistemas en estudio; con mayores valores promedios (3.51% para la M.O., y 0.18% para el N) ostentados por los suelos del sistema silvopastoril de *Brachiaria brizantha* con *Inga edulis*; y menores valores por los suelos de *Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann y del estrato herbáceo de *Brachiaria brizantha*.

Al respecto FASSBENDER (1993) refiere que en los sistemas silvopastoriles, el retomo de materia orgánica y elementos nutritivos de los animales depende de su distribución, movilidad del animal en el pastizal y de la composición química de las excreciones (heces y orina). Así como de las raíces de pastos, malezas y ramas y hojarascas de los propios árboles), por lo que la variabilidad de la concentración de los nutrientes en la presente investigación es atribuida al factor cobertura utilizado en los diferentes sistemas de uso de la tierra; existiendo mayor aporte de material vegetal por parte de la especie *Inga edulis*.

Estadísticamente existió diferencia significativa respecto a los tenores de fósforo en el suelo de los sistemas de uso en estudio. Hallándose mayores tenores de este nutriente en los suelos con sistemas silvopastoriles de *Brachiaria brizantha* asociado con *Inga edulis* y *Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann, siendo menor los valores en los suelos con estrato herbáceo de *Brachiaria brizantha*.

PANIAGUA (1991) y MACMO (1996) mencionan que el que fósforo disminuye con la profundidad del suelo debido a la disminución de la materia orgánica y los fosfatos orgánicos. Factores como el tipo de cobertura influyen en el aporte del material vegetal en el suelo. Asimismo, en la presente investigación se evidencio que el ganado usa la cobertura como zona de descanso, por el amortiguamiento de la radiación solar que genera en el suelo, por consiguiente existiendo mayor aporte de excretas y orines del ganado, a diferencia de la pastura sin presencia de cobertura. Por su parte COOPERBAND (1992) corrobora con nuestros resultados indicando que en los puntos donde se han dado las deposiciones (excretas), la tasa de liberación del fósforo fue 4 a 5 veces mayor que la de las hojas del paró o del pasto.

Estadísticamente existió diferencia significativa respecto a nivel de potasio disponible (kg/ha), con mayores valores (452 kg/ha – nivel bajo) ostentados por los suelos del sistema silvopastoril de *Brachiaria brizantha* asociado con *Inga edulis* y menores valores ostentados por los suelos del sistema de *Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann y los suelos del estrato herbáceo de *Brachiaria brizantha*., con rangos que van de 136.53 a 236.23 kg/ha – nivel muy bajo). CIAT (1990) al evaluar los niveles de potasio en el suelo, concluyo que después de cuatro años de pasturas existe pérdida de este nutriente debido a la lixiviación. Sin embargo, el autor no toma en consideración el

efecto de la cobertura sobre la energía de las gotas de lluvia, disminuyendo el impacto de estas sobre la superficie del suelo.

Referente al nitrógeno microbiano en el suelo se encontró alta diferencia significativa con promedios mayores (16.03 mg/ha) ostentados por los suelos del estrato herbáceo de *Brachiaria brizantha* (sin presencia de árbol), y promedios menores que van desde 12.87 mg/kg (*Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann) a 13.33 mg/kg (*Brachiaria brizantha* asociado con *Inga edulis*). TORRES (1995) corrobora con nuestra investigación, reportando mayores cantidades de biomasa microbiana en suelos con *Braquiraria brizantha* y *Arachis pintoii* respecto a suelos con solo pastura de *B. brizantha*. Este efecto se atribuye a los factores como manejo del suelo, cobertura vegetal, la fertilización de los cultivos, el origen de los suelos y las fluctuaciones climáticas afectan el desarrollo de la actividad microbiana (MAZZARINO *et al.*, 1993).

Estadísticamente existió diferencia significativa referente al número de lombrices adultas en el suelo, observándose mayores valores promedios (4 individuos) en los suelos del sistema silvopastoril de *Brachiaria brizantha* con *Inga edulis*; y menor número de individuos en los suelos de *Brachiaria brizantha* asociado con *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann y del estrato herbáceo de *Brachiaria brizantha*. WILD *et al.* (1994) corrobora nuestros resultados, encontrando mayor número de lombrices en condiciones de sombra que a pleno sol. Evidentemente por la humedad generada debido a la cobertura arbórea.

VI. CONCLUSIONES

1. La investigación evidenció un efecto interesante en la distribución espacial de los nutrientes en los suelos del sistema *Brachiaria brizantha* asociado con *Inga edulis*, más que todo con la materia orgánica (M.O), nitrógeno (N), potasio (K_2O) y capacidad de intercambio catiónico (CIC), ejerciendo la cobertura un efecto de tendencia cuadrático entre 1 y 1.5 metros de distancia con respecto a la hilera de árboles. Sin embargo, para el nitrógeno microbiano (NM) es inversamente proporcional. Además, se observó que la cantidad de fósforo (P) tiende a incrementarse (tendencia lineal), mientras que el carbono microbiano y número de lombrices jóvenes no se ajustan a ninguna tendencia. Finalmente el número de lombrices adultos disminuye a medida que se alejan de la hilera de los árboles.

Consecuentemente la distribución espacial de los nutrientes en los suelos de *Brachiaria brizantha* asociado a *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann muestran un comportamiento cuadrático solo para las cantidad de M.O, N, P y número de lombrices adultas; mientras que los rangos de pH presentaron tendencia cúbica; finalmente las cantidades de K_2O , CM y NM tienden a descender a medida que se aleja de la hilera de los árboles.

2. Se determinó que existe efecto de la cobertura arbórea sobre los niveles de los nutrientes del suelo entre los tres sistemas pastoriles en estudio, siendo mayores en la parcela de *Brachiaria brizantha* asociado a *Inga edulis* respecto a las parcelas de instalación de *Brachiaria brizantha* asociado a *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann y los suelos con estrato

herbáceo de *Brachiaria brizantha* (sin cobertura).por lo que se evidencia la importancia del tipo de cobertura para el mantenimiento de la fertilidad en suelos y su potencialidad sostenible en el tiempo.

VII. RECOMENDACIONES

En base a las conclusiones obtenidas en la investigación se recomienda

1. Recolectar datos en diferentes estaciones del año, épocas de producción de biomasa y nutrientes en las hojas y tallos, las cuales complementarían con la información obtenida a nivel de suelo.
2. Es importante analizar el efecto de las raíces de los diferentes componentes del suelo, ya que en suelos con alta afinidad por el P son las raíces las que juegan un papel importante en la disponibilidad del nutriente en la solución de intercambio.
3. Se recomienda incentivar la asociatividad de pasturas con especies leguminosas, con la finalidad de mitigar el efecto negativo que causa el pisoteo del ganado y la elevada extracción de los nutrientes del suelo por parte del pasto.
4. Es necesario implementar este tipo de ensayos en suelos con diferentes sistemas de usos de tierras, para obtener resultados más representativos de las condiciones existentes.

**"EFFECT OF COMPONENT ARBOREAL OF SILVOPASTORAL SYSTEMS ON THE
SPATIAL DISTRIBUTION NUTRIENTS, MICROBIAL BIOMASS IN A LAND
GRAZING"**

VIII. ABSTRACT

The aim of the research was to determine the distribution of nutrients, microbial biomass and density of earthworms in the soil of silvopastoral grazing systems managed with respect to the woody component. Venenillo located politically in the sector, specifically on extensive husbandry *Brachiaria brizantha* associated *Inga edulis* and *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann. To determine the microbial biomass and density oligochaete the methodology employed by Anderson and Ingram (1993) was used. A simple random sampling was performed. In each silvopastoral plots soil samples 0.5, 1.0, 1.5 were taken, and 2.5 meters from the axis of the trees, at a depth of 30 cm sample).

From the results, it was determined that there effect of hedging on the spatial distribution of nutrients in the soil of *Brachiaria brizantha* system associated with *Inga edulis*., Mostly in organic matter (OM), nitrogen (N), potassium (K₂O) and cation exchange capacity (CEC), a quadratic trend observed between 1 and 1.5 meters distance from the tree line. However for microbial nitrogen (NM) is inversely proportional. It was also observed that the amount of phosphorus (P) tends to increase (linear trend), whereas the number of microbial carbon and young worms not fit any trend. Finally, the number of adult worms decreases as you move away from the row of trees. Consequently the spatial distribution of soil nutrients in *Brachiaria brizantha* associated with *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. Schumann former show a quadratic behavior only for the amount of M.O; N; P and number of adult worms; while pH ranges presented cubic trend; finally the amounts of K₂O; NM CM and tend to fall away as the row of trees.

Finally it is concluded that there effect of tree cover on the levels of soil nutrients among the three pastoral systems under study, being higher in the plot of *Brachiaria brizantha* associated with *Inga edulis* regarding the plots installation *Brachiaria brizantha* associated with *Calycophyllum spruceanum* (Bentham) Hooker f. ex Schumann and soils with herbaceous layer of *Brachiaria brizantha* (unhedged).

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, M. 1977. Introduction to soil microbiology. 2 ed. New York, Wiley, 472 p.
- ANDERSON, T.H.; INGRAM, J.S. 1993. Tropical soil biology and fertility. A handbook of methods. Wallingford, UK CAB. International. 221 p.
- AYARZA, M; RAO, I; THOMAS, R. 1994. Recycling of nutrients in tropical pastures and acid soils. In E.J. Homan (ed.). Animal Agriculture and Natural Resources in Central America: Strategies for Sustainability. (1991, San José, CR.). Proceedings of a Symposium/Workshop held in San José, C.R. pp. 161 p.
- BABBAR A. 1983. Descomposición del follaje en ecosistemas sucesionales en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., Programa Universidad de Costa Rica/CATIE. 79 p.
- BROOKES, C; LANDMAN, A; PRUDEN, G; JENKINSON, S. 1985. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method for measuring microbial nitrogen in soil. Soil Biology and Biochemistry (G.B.) 17 p.
- BROSS, H; GOLO, A; NGUYEN, V. 1995. Quality and decomposition of black locust (*Robinia pseudoacacia*) and alfalfa (*Medicago sativa*) mulch of temperate alley cropping systems. Agroforestry Systems. 255 p.
- CASTILLA, C. 1992. Grazing pressure effects on the pasture Degradation Process. Documento No. 42511 CIAT. 182 - 187 p.

- CHARLEY, L; RICHARDS, N. 1983. Nutrient allocation in plant communities: mineral cycling in terrestrial eco-systems. In Lange, O.L. (ed). Physiological ", plant ecology 5; Ecosystem processes: mineral cycling, productivity arid man'sinfluence. Berlin, Springer Verlag. 45 p.
- CIAT. 1990. Centro internacional de Agricultura Tropical. Descripción de las enfermedades de las principales leguminosas forrajeras tropicales". Edit: CIAT. Argentina 244 p.
- COLE, W; RAPP, M. 1981. Elemental cycling in forest ecosystems. In Reichle, D.E. (ed.). Dynamic properties of forest ecosystems. Cambridge, Cambridge University Press. pp. 341-410. (International Biological Programme. 23 p.
- CONSTANTINIDES, M; FOWNES, H. 1993. Nitrogen mineralization patterns of leaftwig mixtures from tropical leguminous trees. Agroforestry Systems. 24 p.
- COOPERBANO, L. 1992. Soil phosphorus dynamics in a Humid Tropical silvopastoral é system. PhD. Thesis, Ohio, Ohio State University, U.S. 400 p.
- DUXBURY, J; SMITH, S; DORAN, W; JORDAN, C; SZOTT, L; VENCE, E. "1986. Soil organic matter as a source and a sin k of plant nutrients. In . D.C. Coleman; J.M. Oades; G. Uhara (eds ..). Dynamic of soil organic matter in tropical ecosystems. Paia, HawaiiL NIFTAL Project. 33 p.
- ETHERINGTON, J. 1982. Environmental and plant ecology. Chichester, U.K.Willey. 487 p.
- FASSBENDER, H. 1993. Modelos edafológicos de sistemas Agroforestales. 2da:"ed. Turrialba, C.R Centro Agronómico Tropical de Investigación y

Enseñanza. Programa 11, Producción y desarrollo Agropecuario sostenible. 530 p.

FRAGOSO, C; LAVELLE, P. 1992. Earthworm communities of tropical rain forests. *Soil Biology and Biochemistry*. 408 p.

FUNES, F. 2005. Efectos de la quema y el pastoreo en el mantenimiento de los pastizales tropicales. *Rev. Cubana Cienc. Agric.* 9: 395 - 412 p.

GLOVER, N; BEER, J. 1987. Nitrogen cycling in two traditional Central American agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 87 p.

HOLDRIGE (1993), Mapa Ecológico del Perú – INRENA (1995). 56 p.

IMBACH, C. 1987. Lixiviación de nutrientes principales en cuatro sistemas agroforestales con cultivos perennes de Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R, Programa Universidad de Costa Rica/CATIE. 167 p.

JONES, M. 1985. Plant Microclimate. In Coombs, J.; Hall, O.O.; Long, S.P.; Scurlock, J.M. (eds.). *Techniques in Bioproductivity and Photosynthesis*. 2da ed. Pergamon Press, Oxford, G.B. 725 p.

JORDAN, C. 1985. *Nutrient Cycling in Tropical Forest Ecosystems: Principles and their application in Management and Conservation*. Chichester, U-K.. Wiley. 190 p.

KASS, B; GRIME, H; LAWSON, T. 1985. The development of alley cropping as a promising agroforestry technology. In HA Steppler, P-K. Nair (eds.). *Agroforestry: a Decade of Development*. International Center for Research on Agroforestry, Nairobi 243 p.

- KNOWLES, B. 1988. La descomposición en ecosistemas terrestres. Tema#5. Apuntes de clases. 11 p.
- LADD, R; TORREZ, T; KALO, W. BELLOWS, B. 1994. Nutrient Cycling in Pastures. Appropriate Technology Transfer for Rural Areas (ATTRA). Disponible en línea: (<http://attra.ncat.org/attra-pub/PDF/nutrientcycling.pdf>.. Consultado el 08 de Noviembre de 2008).
- LAL, G. 1996. Vegetation removal in two soil of the humid tropics: Effect on microbial biomass. Soil Biology and Biochemistry. 116 p.
- LAVELLE, P; PASHANAKI, G. 1989. Soil macrofauna and land management in the Peruvian Amazon (Yurimaguas, Loreto). Pedobiologia (Alemania). 33 p.
- LAVELLE, P; SWIFT, M. 1994. Origin and regulation of nutrient supply to plants in humid tropical grassland. In International Grassland Congress (1993, Palmerston North, New Zealand). [Congreso]. N.Z. 324 p.
- MAZZARINO, M; SZOTT, L; JIMENEZ, M. 1992. Dynamics of soil total C and, microbial biomass, and water soluble C in tropical agroecosystems. Soil Biology and Biochemistry (GB.) 164 p.
- MCGRATH, S; JARVIS, S. C. 1994. Recent considerations of grassland "soil quality" in temperate regions .. In International Grassland Congress (1993, Palmerston North, New Zealand). [Congreso]. N.I. 418 p.
- MEAD, D. 2009. Biophysical interactions in silvopastoral systems: a New Zealand perspective. 1er Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Posadas. Misiones. 34 p.

- MEENTEMEYER, V. 1978. Macroclimate and lignin control of litter decomposition rates. *Ecology*. 59 p.
- MINAM. 2010. Guía para muestreo de suelos. 1ed. Lima, Perú. 41 p.
- NAIR, P. 1989. Classification of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 3:97-128. Dordrecht, Netherlands. 78 p.
- NYAMAI, D. 1992. Investigations on decomposition of foliage of woody species using a perfusion method. *Plant and Soil*. 139 p.
- PALM, C; SANCHEZ, P. 1990. Composition and nutrient release patterns of the leaves of three tropical legumes. *Biotropica* 222 p.
- PEAH. 2012. Manual de Formulación de proyecto (Asistencia técnica personalizada) Formulación de proyectos – Dirección de estudios. 30 de abril del 2012. 35 p.
- PERI, P. 2009. Sistemas Silvopastoriles en Patagonia: revisión del conocimiento actual. 1er Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Posadas. Misiones. Argentina 26 p.
- PEZO, D; ESQUIVEL, J; IBRAHIM, M; JIMÉNEZ, F 1992. Distribución de Nutrientes en el suelo en asociaciones de poró (*Erythrina berteroana*), madero negro (*Gliricidia sepium*) o *Arachis pintoi* con *Brachiaria brizantha*. *Agroforestería en las Américas*. 43 p.
- PINZÓN, P; REYNEL, V. 1991. Descripción de las propiedades físicas, mecánicas y el uso de la madera del Perú. La Molina, Lima, Universidad Nacional Agraria la Molina 18 – 20 p.
- ROAS, R; CAIMS, F. 1982. Fertilizantes; nutrición vegetal. México, AGT. 157p.

- ROMERO, Q. 2010. Estudio de los sustratos utilizados en la producción de plantines forestales en el noreste de Entre Ríos. Trabajo Final de Graduación, Facultad de Ciencias Agropecuarias UNER. 37p.
- RUIZ, M. 1983. Avances en la investigación en sistemas silvopastoriles. In L. Babbar (ed.). Curso corto intensivo Agroforestal (1983, Turrialba, CR.) Turrialba, CR, CATIE. s.p.) 321 p.
- SANDOVAL, I. 2006. Producción de hojarasca y reciclaje de nutrientes de dos especies arbóreas y dos gramíneas en pasturas de Muy Muy, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 160 p.
- SOMARRIBA, E 1992 Revisiting the past: an essay on agroforestry definition. Agroforestry Systems. 356 p.
- SOUSA, W. 1993. Capirona (*Calycophyllum spruceanum*). Fabricación de muebles con maderas poco conocidas – LKS. Lima, Perú. 20 p.
- SPRENT, Y. 1983. Agricultural and horticultural systems: Implications in forestry In JCo Gordon, CT Wheeler (edso) Biochemichal Nitrogen Fixation in ForestEconosystems: Foundations and Applicationso Nihjoff/Junko The Hagueo The Netherlands. 320 p.
- SWIFT, M; RUSSELL-SMITH, A; PERFECT, T. 1981. Decomposition and mineral nutrient dynamics of plant litter in a regenerating bush-fallow in subhumidropical Nigeriao Journal of Ecologyo 995 p.
- TIAN, G; GRUSSAARD, L; KANG, BT 1995. Breakdown of plant residues withcontrasting chemical compositions under humnid tropical conditions: Effects of earthworms and mnilipedeso Soil Biology and Biochernistryo 297 p.

- TORRES, M. 1995. Características físicas, químicas y biológicas en suelos bajo pasturas de *Brachiaria brizantha* sola y en asociación con *Arachis pintoi* después de cuatro años de pastoreo en el trópico húmedo de Costa Rica. Tesis MagoSco Turrialba, C>R, CATIE. 98 p.
- ULRICH, B; BENECKE, P; HARRIS, W; KHANNA, P; MAYER, R. 1981. Soil processes. In Reichle, DoEo edo Dynarnic properties of forest ecosystemso Cambridge, Cambridge University Presso po 265-3400 (International Biological Program 23) 421 p.
- UMAÑA, CO 1996. Mineralización de la materia orgánica del suelo bajo tres ecosistemas del trópico húmedo en Costa Rica. Tesis Lic. en Ingeniería Agronómica con énfasis en Fitotecniao CR, UCR 74 p.
- URCUYO, F. 1997. Modelos silvopastoriles para la pequeña ganadería en al Región Chorotega. Proyecto Forestal Chorotega (IDA-FAO-Holanda). Guanacaste, CR. 99 p.
- VAN VEEN, J.; ELSAS, J; COOPER, T. 1989. Impact of soil structure on the activity and dynamics of the soil microbial population .. In Megus'ar (ed.) Perspectives in Microbial Ecology> Proceedings of the Fourth International Symposium on Microbial Ecology Malinska Knjiga, Ljubljanao ppo 481 p.
- VANCE, E; BROOKES, P; JENKINSON, D. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass Co Soil Biology and Biochemistry (GB 19 (6): 70 p.

ANEXO