

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**“DISTRIBUCIÓN DE NUTRIENTES, BIOMASA MICROBIAL Y DENSIDAD DE  
OLIGOQUETOS EN SUELOS CON DIFERENTES EDADES DE  
INSTALACIÓN DE PALMA ACEITERA (*Elaeis guineensis*)”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES MENCIÓN  
CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**

**Presentado por:**

**ELVER ARTURO CASTILLO PANDURO**

**2015**

## 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 queridos padres Arturo Castillo Pezo y Enriqueta Panduro Ruiz; por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, por el valor mostrado para salir adelante.

A mis hermanos: Bryan E. y Ayelin A; porque siempre he contado con ellos, gracias a la confianza que siempre nos hemos tenido; por el apoyo y la amistad.

## **AGRADECIMIENTOS**

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Recursos Naturales Renovables que contribuyó en mi formación profesional.
- A los miembros integrantes del jurado de tesis: Ing. M.Sc. Roberto Obregón Peña; Ing. M.Sc. Nelino Florida Rofner; Ing. M.Sc. Ladislao Ruiz Rengifo; Ing. Jaime Torres García.
- Al Ing. M.Sc. Levano Crisostomo, José, docente de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, asesor del presente trabajo, 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. El cultivo de palma aceitera ( <i>Elaeis guineensis</i> ) .....	4
2.1.1. Taxonomía del cultivo de palma aceitera.....	4
2.1.2. Condiciones para el desarrollo de la planta .....	5
2.1.3. Humedad relativa.....	5
2.1.4. Precipitación pluvial .....	5
2.1.5. Altitud .....	6
2.1.6. Suelos.....	6
2.1.7. Temperatura .....	9
2.2. Dinámica de nutrientes en el suelo .....	9
2.2.1. Nitrógeno .....	10
2.2.2. Fósforo.....	12
2.2.3. Otros nutrientes.....	13
2.3. Factores que afectan la dinámica de nutrientes.....	14
2.3.1. Biomasa microbiana.....	14

2.3.2.	Lombrices de tierra .....	17
2.3.3.	Propiedades físico-químicas de la materia .....	23
2.3.4.	Influencia de las condiciones ambientales .....	25
2.3.5.	Acumulación de materia orgánica .....	25
2.4.	Estudios realizados .....	26
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
3.1.	Lugar de ejecución .....	29
3.1.1.	Ubicación política.....	29
3.1.2.	Ubicación geográfica.....	30
3.2.	Características generales de la zona .....	30
3.2.1.	Clima.....	30
3.2.2.	Temperatura .....	31
3.2.3.	Hidrografía y unidades Hidrográficas .....	31
3.2.4.	Fisiografía .....	31
3.2.5.	Topografía.....	32
3.2.6.	Suelos .....	32
3.2.7.	Humedad relativa.....	33
3.3.	Materiales, insumos y equipos .....	33

3.3.1. Materiales de campo.....	33
3.3.2. Equipos de campo .....	33
3.3.3. Materiales y equipos de laboratorio .....	33
3.4. Metodología .....	33
3.4.1. Coordinación con los propietarios de las parcelas a evaluar.....	34
3.4.2. Demarcación del área de estudio .....	34
3.4.3. Variables a evaluar .....	35
3.5. Tipo de investigación.....	37
3.6. Variables independientes .....	37
3.7. Variables dependientes.....	38
3.7.1. Propiedades químicas del suelo .....	38
3.7.2. Propiedades biológicas del suelo.....	38
3.8. Análisis estadístico .....	38
IV. RESULTADOS .....	40
4.1. Evaluar el efecto del la palma aceitera sobre la distribución espacial de nutrientes en suelos con instalación de palma aceitera con edades de 1, 3, 5 años. ....	40

4.1.1.	Distribución espacial del rango de pH en los suelos con plantaciones de palma aceitera con edades de 1, 3 y 5 años de instalación. ....	40
4.1.2.	Distribución del nivel de materia orgánica (%) en los suelos con plantaciones de palma aceitera en edades de 1, 3 y 5 años de instalación. ....	43
4.1.3.	Distribución del nivel de nitrógeno (%) en los suelos con plantaciones de palma aceitera en edades de 1, 3 y 5 años de instalación. ....	46
4.1.4.	Distribución del nivel de fósforo (ppm) en los suelos con plantaciones de palma aceitera en edades de 1, 3 y 5 años de instalación. ....	49
4.1.5.	Distribución del nivel de potasio (kg/ha) en los suelos con plantaciones de palma aceitera en edades de 1, 3 y 5 años de instalación. ....	52
4.1.6.	Distribución del nivel de la capacidad de intercambio catiónico (meq/100 g) de los suelos con plantaciones de palma aceitera en edades de 1, 3 y 5 años de instalación.....	55
4.2.	Efecto de la palma aceitera sobre la biomasa microbial, cantidad y número de lombrices en suelos con instalación de palma aceitera con edades de 1, 3, 5 años. ....	58

4.2.1. Distribución del carbono microbiano en los suelos con plantaciones de palma aceitera en edades de 1, 3 y 5 años de instalación.....	58
4.2.2. Distribución del nitrógeno microbiano en los suelos con plantaciones de palma aceitera en edades de 1, 3 y 5 años de instalación. ....	61
4.2.3. Distribución del número de lombrices en los suelos con plantaciones de palma aceitera en edades de 1, 3 y 5 años de instalación. ....	64
4.3. Distribución de nutrientes en suelos con plantaciones de palma aceitera con edades de instalación de 1, 3 y 5 años y un suelo con macorilla. ....	67
V. DISCUSIÓN.....	70
5.1. Evaluación del efecto de la palma aceitera sobre la distribución espacial de nutrientes en suelos con instalación de palma aceitera con edades de 1, 3, 5 años. ....	70
5.1.1. Distribución del rango de pH en los suelos con plantaciones de palma aceitera con edades de 1, 3 y 5 años de instalación.....	70
5.1.2. Distribución del nivel de materia orgánica (%) en los suelos con plantaciones de palma aceitera con edades de 1, 3 y 5 años de instalación. ....	71

5.1.3.	Distribución del nivel de nitrógeno (%) en los suelos con plantaciones de palma aceitera en edades de 1, 3 y 5 años de instalación. ....	72
5.1.4.	Distribución del nivel de fósforo (ppm) en los suelos con plantaciones de palma aceitera en edades de 1, 3 y 5 años de instalación. ....	73
5.1.5.	Distribución del nivel de potasio (kg/ha) en los suelos con plantaciones de palma aceitera en edades de 1, 3 y 5 años de instalación. ....	74
5.1.6.	Distribución del nivel de la capacidad de intercambio catiónico (meq/100 g) de los suelos con plantaciones de palma aceitera en edades de 1, 3 y 5 años de instalación.....	75
5.2.	Efecto de la palma aceitera sobre la biomasa microbial, cantidad y número de oligoquetos en suelos con instalación de palma aceitera con edades de 1, 3, 5 años.....	76
5.2.1.	Distribución del carbono microbiano en los suelos con plantaciones de palma aceitera en edades de 1, 3 y 5 años de instalación.....	76
5.2.2.	Distribución del nitrógeno microbiano en los suelos con plantaciones de palma aceitera en edades de 1, 3 y 5 años de instalación. ....	78

5.2.3. Distribución del número de oligoquetos en los suelos con plantaciones de palma aceitera en edades de 1, 3 y 5 años de instalación. ....	79
5.3. Distribución de nutrientes en suelos con plantaciones de palma aceitera con edad de instalación de 1, 3 y 5 años y un suelo con macorilla. ....	80
VI. CONCLUSIONES .....	83
VII. RECOMENDACIONES.....	84
VIII. ABSTRACT .....	85
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	86
ANEXO .....	95

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Coordenadas UTM (Zona 19 K, Datum WGS 84) de las parcelas en estudio .....	30
2. Indicadores químicos .....	36
3. Distribución del nivel de pH en los suelos con plantaciones de palma aceitera, según distancia respecto a la hilera de los árboles de 1, 3 y 5 años de instalación. ....	41
4. Distribución de la materia orgánica en los suelos con plantaciones de palma aceitera, según distancia respecto a la hilera de los árboles de 1, 3 y 5 años de instalación. ....	44
5. Distribución del nitrógeno en los suelos con plantaciones de palma aceitera, según distancia respecto a la hilera de los árboles de 1, 3 y 5 años de instalación. ....	47
6. Distribución del nivel de fósforo (ppm) en los suelos con plantaciones de palma aceitera, según distancia respecto a la hilera de los árboles de 1, 3 y 5 años de instalación.....	50
7. Distribución del nivel de potasio en los suelos con plantaciones de palma aceitera, según distancia respecto a la hilera de los árboles de 1, 3 y 5 años de instalación. ....	53

8. Distribución de la capacidad de intercambio catiónico en los suelos con plantaciones de palma aceitera, según distancia respecto a la hilera de los árboles de 1, 3 y 5 años de instalación. ....	56
9. Distribución del carbono microbiano (mg/kg) en los suelos con plantaciones de palma aceitera, según distancia respecto a la hilera de los árboles de 1, 3 y 5 años de instalación. ....	59
10. Distribución del nitrógeno microbiano (mg/kg) en los suelos con plantaciones de palma aceitera, según distancia respecto a la hilera de la palma aceitera de 1, 3 y 5 años de instalación. ....	62
11. Numero de lombrices en los suelos con plantaciones de palma aceitera, según distancia respecto a la hilera de la palma aceitera de 1, 3 y 5 años de instalación. ....	65
12. Distribución de nutrientes en suelos con plantaciones de palma aceitera con edad de instalación de 1, 3 y 5 años y un suelo con macorilla .....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Pérdida de carbono (representada como % del C inicial) después de un mes de actividad de los oligoquetos de tierra ( <i>Eisenia andrei</i> ) en estiércol de vaca. Los valores son medias $\pm$ ES. El control es estiércol de vaca sin los oligoquetos de tierra. ....	20
2. Efecto de los oligoquetos de tierra ( <i>Eisenia andrei</i> ) en la mineralización de nitrógeno después de un mes de actividad en estiércol de vaca.....	21
3. Croquis de la parcela en estudio. ....	34
4. Distribución del rango de pH en los suelos con plantaciones de palma aceitera, según distancia respecto a la hilera de los árboles de 1, 3 y 5 años de instalación. ....	42
5. Distribución espacial del nivel de materia orgánica (%) en los suelos con plantaciones de palma aceitera, según distancia respecto a la hilera de los árboles de 1, 3 y 5 años de instalación.....	45
6. Distribución del nivel de nitrógeno (%) en los suelos con plantaciones de palma aceitera, según distancia respecto a la hilera de los árboles de 1, 3 y 5 años de instalación. ....	48

7. Distribución del nivel de fósforo (ppm) en los suelos con plantaciones de palma aceitera, según distancia respecto a la hilera de los árboles de 1, 3 y 5 años de instalación. ....	51
8. Distribución del nivel de potasio (kg/ha) en los suelos con plantaciones de palma aceitera, según distancia respecto a la hilera de los árboles de 1, 3 y 5 años de instalación. ....	54
9. Distribución de la capacidad de intercambio catiónico de los suelos con plantaciones de palma aceitera, según distancia respecto a la hilera de los árboles de 1, 3 y 5 años de instalación. ....	57
10. Distribución del nivel de carbono microbiano (mg/kg) en los suelos con plantaciones de palma aceitera, según distancia respecto a la hilera de la palma aceitera de 1, 3 y 5 años de instalación. ....	60
11. Distribución del nivel de nitrógeno microbiano (mg/kg) en los suelos con plantaciones de palma aceitera, según distancia respecto a la hilera de la palma aceitera de 1, 3 y 5 años de instalación. ....	63
12. Distribución del número de lombrices en los suelos con plantaciones de palma aceitera, según distancia respecto a la hilera de la palma aceitera de 1, 3 y 5 años de instalación. ....	66
13. Parcela con instalación de palma aceitera de 5 años de instalación. ....	96
14. Demarcación del área de estudio .....	96
15. Ubicación de puntos de muestreo .....	97

16. Establecimiento de puntos de muestreo .....	97
17. Muestreo de suelo de la parcela con 3 años de instalación de palma ....	98
18. Mullido de muestras de suelo .....	98
19. Determinación de pH del suelo .....	99
20. Pesado de muestras para análisis químico.....	99
21. Determinación de la materia orgánica .....	100
22. Determinación de fósforo del suelo.....	100

## RESUMEN

La investigación se realizó en cuatro parcelas con instalación del cultivo agrícola de palma aceitera con 01, 03 y 05 años de instalación y una parcela con suelo degradado (macorilla), políticamente ubicadas en el sector Palmeras, distrito de Nuevo Progreso, provincia Tocache, región San Martín. Con la finalidad de determinar la distribución de los nutrientes, biomasa microbiana y la de oligoquetos. Para la determinación de la biomasa microbiana y densidad de oligoqueto se utilizó la metodología empleada por ANDERSON e INGRAM (1993). Para cada parcela con árboles se tomaron muestras a 30 cm de profundidad por un transecto de 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 metros de los árboles de palma aceitera. Respecto a la distribución espacial para la prueba tukey existió diferencia significativa para el pH (a 0.5 y 2.0 m de distancia); fósforo (0.5 y 2.5 m de distancia); potasio (1.5 m de distancia) CIC (0.5 y 2.0 m de distancia) y densidad de oligoquetos (0.5 y 1.5 m de distancia); sin embargo existió diferencia significativa en todos los distanciamientos en evaluación para el carbono y nitrógeno microbiano. Además el comportamiento de los nutrientes indica que en los años de evaluación los nutrientes tienden a incrementar hasta 1.5 m, aproximadamente, luego empieza a declinar hasta la última medición, a los 2.5 m. Finalmente los suelos con uno, tres y cinco años de instalación de palma aceitera presentaron diferencias significativas positivas en las propiedades químicas (pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, CIC) y biológicas (biomasa microbiana) respecto a los suelos con macorilla.

## I. INTRODUCCIÓN

Desde el año 2,000, el cultivo de la palma se viene desarrollando en forma intensiva, actualmente existen aproximadamente 50,000 has instaladas, de las cuales 17,500 has, están en producción, produciendo 60,000 t de aceite crudo, destinado para el mercado nacional, representa la actividad económica más importante de la amazonia peruana. Por tanto, este cultivo ha demostrado ser una alternativa viable técnica y económica para los pequeños productores, se obtienen rendimiento de 4 t de aceite por hectárea, existen más de 7,500 productores directos.

La palma aceitera puede ser un motor importante de deforestación, en la medida en que las plantaciones reemplazan a bosques, sobre todo primarios. Ello, además, contribuye substancialmente a las emisiones de gases de efecto invernadero y a la pérdida de biodiversidad. Es posible, sin embargo, que este cultivo se instale en zonas ya deforestadas y dedicadas a otros usos del suelo (como los pastizales), pero esto depende de la calidad de los suelos, ya que en la Amazonía las tierras usadas para agricultura sin las tecnologías adecuadas tienden a degradarlas rápidamente, volviéndolas poco atractivas para la industria de palma. Así mismo, a través del reciclaje de nutrientes del cultivo por la senescencia de biomasa aérea y la muerte de raíces, los cuales dan un aporte significativo de materia orgánica y nutrientes (SZOTT *et ál.*, 2000).

Sin embargo, se debe tener en cuenta también que este cultivo requiere de grandes cantidades de agua y nutrientes, estos requerimientos pueden ser mayores si la especie arbórea tiene mayor tiempo de instalación. Por lo que uno de los problemas en los suelos de este cultivo radica en el componente arbóreo, ya que influye directamente en el ciclaje de los nutrientes del suelo (FAO, 2007). Por otra parte, existe una brecha tecnológica entre los rendimientos obtenidos por las empresas modernas que utilizan tecnologías de punta y los pequeños productores, debido a la falta de conocimiento técnico y capacitación adecuada, como consecuencia obtienen bajos rendimientos por un manejo deficiente de sus plantaciones.

FASSBENDER (1993) menciona que los estudios de los cultivos agrícolas 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 de monocultivos (cultivo en callejones, barbechos mejorados, agricultura migratoria, etc.) y poca información específica en palma aceitera. Comprender la dinámica de nutrientes en un monocultivo para maximizar y hacer un uso más eficiente del suelo es lo que se pretendió realizar en el presente trabajo de investigación. Debido a la problemática mencionada, se planteó la siguiente hipótesis: "A mayor tiempo de instalación de la palma aceitera, afecta positivamente en la distribución espacial de nutrientes, biomasa microbial y densidad de oligoquetos".

Por lo tanto, se plantea los siguientes objetivos:

**Objetivo general**

- Determinar la distribución de los nutrientes, biomasa microbial y la de oligoquetos, en suelos con edades de instalación de 1, 3 y 5 años de palma aceitera, y un suelo con macorilla.

**Objetivo específicos**

- Evaluar el efecto de la palma aceitera sobre la distribución de nutrientes en el suelo.
- Evaluar el efecto de la palma aceitera sobre la biomasa microbial y número de oligoquetos en el suelo.
- Comparar la distribución de nutrientes de la palma aceitera y un suelo con macorilla.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. El cultivo de palma aceitera (*Elaeis guineensis*)

PARAMANANTHAN (2003) menciona que es un cultivo de alta rentabilidad y es una buena opción para las tierras bajas en las regiones tropicales. Las hojas se cortan a menudo para que no impidan el desarrollo de los racimos. Cuya producción 12-14 racimos por año de 20 a 30 kilogramos cada uno. Comienza a producir y a cubrir gastos por costos desde los 18 y 24 meses. Es económicamente viable por 25 años. El rendimiento de aceite promedio anda entre 3.5 - 3.8 toneladas por hectáreas.

#### 2.1.1. Taxonomía del cultivo de palma aceitera

Reino :	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Subclase:	Commelinidae
Familia:	Arecaceae
Género:	Elaeis
Especie:	<i>Elaeis guineensis</i>

### **2.1.2. Condiciones para el desarrollo de la planta**

Las características de las zonas en las cuales la palma alcanza niveles altos de producción siempre coinciden con altas temperaturas ambientales, adecuado suministro de agua, suficiente luz y radiación solar. Es deseable que tales condiciones sean estables a lo largo del año y de todo el proceso productivo. Entre las características medio ambientales bajo las cuales se desarrolla la palma aceitera, podemos citar, que requiere de un clima propio o característico del trópico húmedo. El grado de rusticidad de la palma aceitera, permite su adaptación a una amplia gama de condiciones agroecológicas con diversidad de suelos, dentro del marco ambiental del trópico húmedo.

### **2.1.3. Humedad relativa**

70-90%, aun cuando se indica también que esta debe variar entre 75-85 % (MAGFOR, 2005).

### **2.1.4. Precipitación pluvial**

Como rangos óptimo se tiene 1700- 2000 mm al año, con un promedio de 150 mm al mes, aún cuando algunos autores indican que en ningún caso el déficit de agua anual debe ser menor de 200 mm, es decir importa mucho la distribución de las precipitaciones, pero durante julio a octubre son requeridas precipitaciones superiores a 400 mm al mes, cuando las precipitaciones son menores a 1500 mm anuales se deben efectuar riegos complementarios, sobre todo en los meses más secos (MAGFOR, 2005).

### **2.1.5. Altitud**

De 0 – 3 hasta 500-700 msnm. Los ecosistemas que presentan máximo potencial productivo de la palma, aceitera son las tierras bajas del trópico, con pocos metros sobre el nivel del mar y con pendientes menores al 6% (MAGFOR, 2005).

### **2.1.6. Suelos**

El suelo cumple una importante labor en las explotaciones de palma, sobre todo en aquellas en las que las condiciones climáticas son marginales, dado que la disponibilidad de nutrientes y agua viene determinada por el estado del suelo. Las mejores plantaciones de palma aceitera crecen en suelos en donde no existen impedimentos físicos, químicos o biológicos, para un buen desarrollo del sistema radical. La palma prospera en suelos con elevada fertilidad, ricos en elementos nutritivos y en materia orgánica; se adapta a pH del suelo entre 4.5 a 7.5; niveles altos de calcio intercambiable puede ocasionar problemas en la absorción de cationes. Los mejores suelos para la palma son los limosos profundos y deben ser bien drenados. Se deben evitar los suelos con texturas extremas: los de textura arcillosa, por lo general, ocasionan problemas de drenaje; los de textura muy gruesa o arenosas tiene problemas de retención de agua y pobre balance nutricional (SURRE y ZILLER 1969).

CHINCHILLA y DURAN (1997) indican que varios problemas fitosanitarios de gran importancia en el cultivo se encuentran relacionado con condiciones del suelo que comprometen el desarrollo y mantenimiento de un

sistema radical vigoroso. Una aeración pobre en el suelo, y una baja fertilidad que cause en la planta una nutrición desbalanceada comprometen seriamente la calidad y cantidad del sistema radical. Una aeración pobre en el suelo puede resultar de la combinación de texturas pesadas y baja macroporosidad, de la presencia de texturas contrastantes en el perfil, de la compactación, o de la presencia de un nivel freático poco profundo (menor de un metro de profundidad) o fluctuante. La presencia de estratos gruesos superficiales restringe también el desarrollo radical y debido a su poca capacidad de retención de humedad, exponen a la planta a un estrés mayor durante periodos prolongados de sequía.

#### – **Características físicas del suelo**

Las palmas expresan su mayor potencial cuando el suelo es fértil donde los nutrientes mantienen un buen equilibrio y rico en materia orgánica, con características físicas permiten la exploración nutritiva e hídrica de las raíces, ya que son muy sensibles a la compactación y a la cohesibilidad de los suelos. Las características físicas más consideradas son principalmente la textura (Franco limoso) y el drenaje. En los suelos ligeros, de textura arenosa a franco-arenosa, se presentan problemas de lavado y lixiviación de nutrientes, por lo que su consistencia es insuficiente para el soporte de la planta. Los suelos pesados, de textura arcillosa, presentan limitaciones para su manejo, por la dificultad para drenarlos y por la facilidad con la que se compactan. Por tanto, los suelos óptimos para el cultivo de la palma aceitera, son suelos profundos con buen drenaje, de textura ligeramente arcillosa, con buen contenido en materia orgánica, topografía de plana a ligeramente ondulada con

pendientes inferiores al 2% y con un nivel de fertilidad de medio a alto (SURRE y ZILLER, 1969).

#### – **Fisiografía y drenaje**

Requiere de suelos bien drenados que eviten que se lave el terreno y produzcan lixiviación de nutrientes .Por ello son preferibles terrenos con pendientes suaves (hasta el 25%), ya que las grandes pendientes favorecen la erosión por escorrentía y dificultan el manejo del cultivo. Asimismo, es necesario que el suelo tenga un grado adecuado de porosidad para garantizar el drenaje. Por todo esto, los mejores suelos para el cultivo de la palma son aquellos que presentan una buena porosidad y disponibilidad de los nutrientes (SURRE y ZILLER, 1969).

#### – **Características químicas del suelo**

El pH del suelo debe estar comprendido entre 4,5 a 7,5, pero se adapta desde 3 a 8.2, aunque bajo condiciones de acidez en general presentan deficiencias de elementos nutritivos, tales como nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y boro, que obligan a un manejo adecuado de la fertilización e imponen la aplicación de enmiendas. Cuando hay una alta acidez en el subsuelo se limita la profundización de las raíces y ocasiona susceptibilidad en las plantas a períodos prolongados de déficit hídrico. La cantidad de calcio intercambiable puede producir problemas de absorción de cationes, así niveles altos de calcio intercambiables puede ocasionar problemas en la absorción de cationes, por efecto de interacciones.

La palma, tolera suelos moderadamente ácidos, los cuales presentan deficiencias en algunos elementos nutritivos, tales como N, P, K, Mg y B. Si existe elevada acidez en el subsuelo, se limita la profundización de las raíces, lo que puede causar problemas en épocas de déficit hídrico. Las raíces pueden generar sistemas secundario, terciario y cuaternario de raíces siendo las pertenecientes al tercer y cuarto orden son las más importantes para la absorción de agua y nutrientes (SURRE y ZILLER, 1969).

### **2.1.7. Temperatura**

La temperatura media anual apta para palma de aceite puede oscilar entre 20 y 35 grados centígrados. La temperatura media mensual es considerada de 28 (23 a 28) grados centígrados la misma que resulta óptima para la palma. El crecimiento de las palmas jóvenes se inhibe por completo a 15 grados centígrados, mientras que el crecimiento a 25 grados centígrados es 7 veces más rápido que a 20 grados y 3 veces más rápido que a 17.5 grados centígrados (PARAMANANTHAN, 2003).

## **2.2. Dinámica de nutrientes en el suelo**

CHARLEY y RICHARDS (1983) establecen que la circulación de los minerales en los ecosistemas se produce siguiendo tres vías: Bioquímica: se desarrolla a nivel de la planta, traslocación de nutrientes ordenados por su mismo metabolismo; Geoquímico: se desarrolla entre los componentes abióticos del sistema, comprende procesos como la mineralización, precipitación, equilibrio químico entre fases, absorción, etc. Biogeoquímica:

relación entre componentes bióticos y abióticos (descomposición de la materia orgánica por parte de los microorganismos del suelo). 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.

### **2.2.1. Nitrógeno**

NYAMAI (1992) refiere que existe una relación directa entre la velocidad de degradación de la materia orgánica con el incremento de los nutrientes en el suelo; 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) y PALM y SÁNCHEZ (1990) mencionan que los resultados de demuestran ésta 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 C:N 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). 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 (CIAT, 1989). 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 de los 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). COOPERBAND (1992) trabajando en el trópico húmedo de Costa Rica en sistemas silvopastoriles con *Erylhrina berteriana*, 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 éstos puntos, la tasa de liberación del P de la excreta era 4 a 5 veces mayor que la del paró o el pasto. En éste 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. Así, se crea un lapso, cuando la planta (en éste caso el pasto) puede hacer uso de este exceso de P.

### **2.2.2. 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 poró 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 poró o el pasto. En éste 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. Así, se crea un lapso, cuando la planta (en éste caso el pasto) puede hacer uso de este exceso de P. Por otro lado, la cantidad de P que llega al suelo, a menudo varía con la tasa de liberación de otro nutriente. 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. 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 ésta forma por parte de los pastos (AYARZA *et al*, 1994).

### **2.2.3. Otros nutrientes**

PALM y SÁNCHEZ (1990) haciendo una comparación de los patrones de liberación de nutrientes en *Inga edulis*, *Cajanus cajan* y *Erythrina sp*, determinaron que las tasas 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 influencia la pérdida del potasio (PALM y SÁNCHEZ, 1990; GLOVER y BEER, 1986; IMBACH, 1987; 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. 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**

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 CO<sub>2</sub> a la atmósfera y produciendo variaciones en el nitrógeno total del suelo (ALEXANDER, 1977; DUXBURY *et al.*, 1996). 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 (CAMPBELL y BIEDEBECK, 1982). 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).

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 microbial (MAZZARINO *et al.*, 1993). Así mismo, 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). 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 (CARRY *et al.*, 1985). Por otro lado, HENROT y ROBERTSON

(1994) mencionan que la remoción de una cobertura de árboles y arbustos de 20 años en la región húmeda de Costa Rica, aumenta la cantidad de biomasa microbiana inmediatamente después de la labor, pero esta disminuye hasta un 35% de su valor original luego de dos años. También mencionan que la intensidad de remoción de la cobertura afecta directamente la cantidad de biomasa microbiana.

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 pintoii*. 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 pintoii* (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 mg C/kg). Por otro lado, no encontró diferencia estadísticas 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).

### 2.3.2. Lombrices de tierra

Los oligoquetos de tierra son anélidos oligoquetos clitelados macroscópicos que viven en el suelo. Estos invertebrados representan la mayor biomasa animal en la mayoría de ecosistemas templados terrestres, influyen de forma muy significativa en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, y juegan un papel crucial en la modificación de la estructura del suelo y en la aceleración de la descomposición de la materia orgánica y del reciclado de nutrientes (EDWARDS y BOHLEN, 1996; LAVELLE y SPAIN, 2001; DOMÍNGUEZ *et al.*, 2004).

Se han descrito más de 8000 especies de oligoquetos de tierra, aunque de la gran mayoría sólo se conoce el nombre y su morfología, y se desconoce su biología y ecología. Las distintas especies de oligoquetos tienen estrategias vitales diferentes, ocupan nichos ecológicos distintos y se han clasificado, sobre la base de su alimentación y de la zona del suelo en la que viven, en tres categorías ecológicas: epigeas, anécicas y endogeas (BOUCHÉ, 1977). Las especies epigeas viven en el horizonte orgánico, en o cerca de la superficie del suelo, alimentándose principalmente de materia orgánica en descomposición (restos vegetales, heces de animales, etc.). Suelen ser especies de pequeño tamaño, pigmentadas y con altas tasas metabólicas y reproductivas que les permiten adaptarse a las condiciones ambientales tan variables de la superficie del suelo. Producen deyecciones holorgánicas y presentan una tasa alta de consumo, digestión y asimilación de la materia orgánica, por lo que juegan un papel clave como transformadoras del mantillo.

Las especies endogeas viven a mayor profundidad en el perfil del suelo, y se alimentan principalmente de suelo y de la materia orgánica asociada. Tienen poca pigmentación, y construyen sistemas de galerías horizontales muy ramificadas, que llenan con sus propias deyecciones mientras se mueven por el horizonte orgánico-mineral del suelo. A diferencia de los oligoquetos epigeas, las especies endogeas presentan tasas de reproducción más bajas y ciclos de vida más largos, y son más resistentes a períodos de ausencia de alimento. Las especies anécicas viven de forma más o menos permanente en galerías verticales, que pueden extenderse varios metros hacia el interior del perfil del suelo. Por las noches emergen a la superficie para alimentarse de hojarasca, heces y materia orgánica en descomposición, que transportan al fondo de sus galerías; depositan sus excrementos en la superficie. Normalmente estos oligoquetos son grandes y de color pardo oscuro. Sus tasas reproductivas son relativamente bajas (BOUCHÉ, 1977; LAVELLE *et al.*, 1997; LAVELLE y SPAIN, 2001).

La descomposición es un proceso en cascada en el que la materia orgánica muerta experimenta una sucesión de transformaciones físicas y químicas en el suelo que conducen a la mineralización de una parte del recurso y al depósito de compuestos resistentes en forma de humus (SWIFT *et al.*, 1979). Los microorganismos producen las enzimas responsables de la descomposición bioquímica de la materia orgánica, pero donde son abundantes, los oligoquetos son elementos clave del proceso e influyen en él a través de efectos directos e indirectos. Los oligoquetos de tierra modifican la biomasa microbiana y su actividad de forma directa a través de la estimulación,

digestión y dispersión de los microorganismos e interaccionan con otros componentes biológicos del sistema del suelo, afectando en consecuencia a la estructura de las comunidades de la microflora y de la microfauna (DOMÍNGUEZ *et al.*, 2003; LORES *et al.*, 2006).

Los efectos indirectos derivan de los directos e incluyen procesos de envejecimiento y mezclado de materiales modificados por los oligoquetos con otros sustratos orgánicos no modificados por ellas. Como consecuencia de toda esta cascada de procesos, la materia orgánica del suelo conforma una matriz espacial y temporalmente heterogénea con características diferentes resultantes de las distintas tasas de degradación que tienen lugar durante la descomposición (MOORE *et al.*, 2004).

Los oligoquetos participan en la descomposición de la materia orgánica a través, en primer lugar, de los procesos asociados al paso a través de sus intestinos (PAIs), que incluyen todas las modificaciones que la materia orgánica en descomposición y los microorganismos sufren durante ese tránsito. Estas modificaciones incluyen la reducción del tamaño de partícula tras el paso por la molleja, la adición de azúcares y otras sustancias, la modificación de la actividad y de la diversidad microbiana, la modificación de las poblaciones de la microfauna, la homogeneización del sustrato y los procesos intrínsecos de digestión y asimilación; incluyen también la producción de moco y sustancias excretoras como la urea y el amonio, que constituyen una fuente de nutrientes fácilmente asimilables para los microorganismos. La descomposición se ve también favorecida por la acción de microorganismos endosimbiontes

que viven en el intestino de los oligoquetos. Estos microbios producen enzimas extracelulares que degradan celulosa y distintos compuestos fenólicos, aumentando la degradación del material ingerido. Otras modificaciones físicas del sustrato originadas por las actividades excavadoras de los oligoquetos, como la aireación y la homogeneización del sustrato, también favorecen la actividad microbiana y por consiguiente la descomposición de la materia orgánica (DOMÍNGUEZ, 2004).

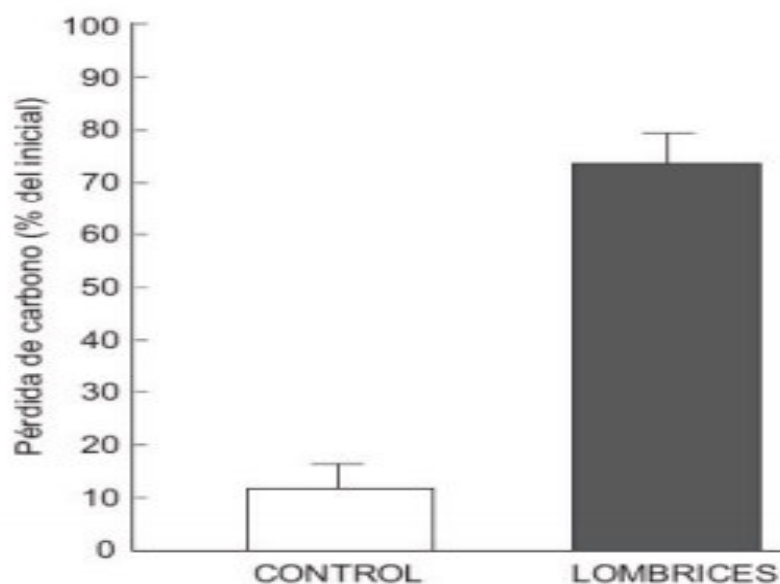


Figura 1. Pérdida de carbono (representada como % del C inicial) después de un mes de actividad de los oligoquetos de tierra (*Eisenia andrei*) en estiércol de vaca. Los valores son medias  $\pm$  ES. El control es estiércol de vaca sin los oligoquetos de tierra.

La actividad directa de los oligoquetos aumenta significativamente la mineralización del carbono y nitrógeno en el sustrato, y tales efectos son

proporcionales a la densidad de los oligoquetos (AIRA *et al.*, 2008). Otros autores han encontrado respuestas similares en organismos detritívoros involucrados en la descomposición de la materia orgánica (AIRA *et al.*, 2008). Existen claras evidencias de que los oligoquetos de tierra aceleran la tasa de descomposición de la materia orgánica (ATIYEH *et al.*, 2000). Los oligoquetos de tierra también tienen un gran impacto en las transformaciones del nitrógeno a través de modificaciones de las condiciones ambientales y de sus interacciones con los microorganismos; así su actividad en los restos orgánicos produce condiciones que favorecen la nitrificación, que resulta en la conversión rápida del nitrógeno amoniacal en nitratos, aumentando la mineralización de nitrógeno (ATIYEH *et al.*, 2000; AIRA *et al.*, 2008; AIRA y DOMÍNGUEZ, 2009).

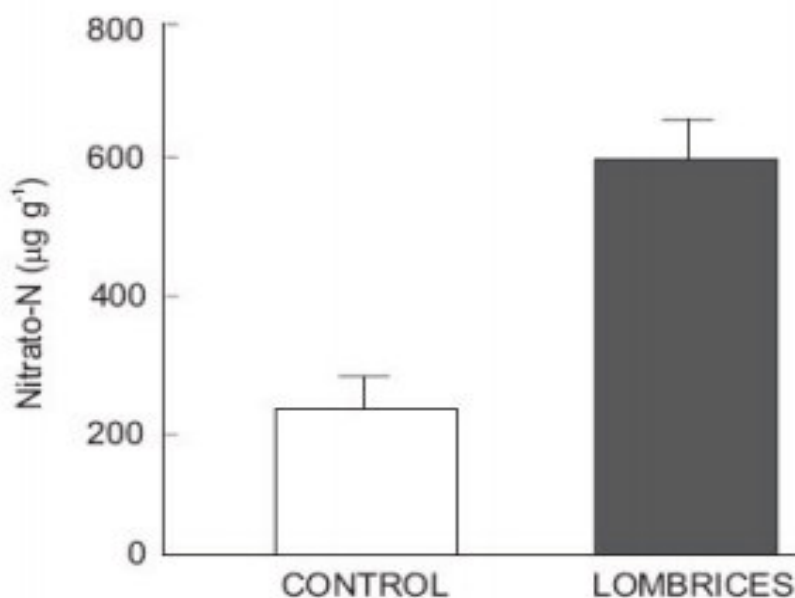


Figura 2. Efecto de los oligoquetos de tierra (*Eisenia andrei*) en la mineralización de nitrógeno después de un mes de actividad en estiércol de vaca.

Por otro lado, gracias a su actividad física, los oligoquetos juegan un papel importante en la ecología del suelo (ROAS y CAIMS, 1982). LAVELLE y PASHANAKI (1989) indican que los oligoquetos 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 (TIAN *et al.*, 1995). 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, 1997; MCGRATH y JARVIS, 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 pintoi*, TORRES (1995) encontró una relación positiva entre el número de lombrices/m<sup>2</sup>, 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. pintoi* 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 (WILD *et al.*, 1994). 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 sistema con leguminosas (*B. brizantha*+ *A. pinto* y *B. brizantha*+*E. berleroana*) el número y peso fue sensiblemente menor. La razón es que los oligoquetos de tierra pueden ser afectadas por los altos niveles de  $N_2$  en el suelo, tal y como lo refuerza (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). NYAMAI (1992) comparó la tasa de descomposición de diferentes leguminosas y determinó que el patrón de descomposición varió según la especie, siendo la leucaena la de mayor descomposición y más rápida disminución, al contrario de la Cassia que fue la más lenta. Por otro lado, los compuestos estructurales como celulosa, hemicelulosa y lignina afectan negativamente la velocidad de descomposición. Ramas y troncos de árboles tienen una tasa de descomposición menor que

tallos, frutos y hojas, por tener una mayor concentración de estos compuestos estructurales (FINEGAN, 1996; CONSTANTINIDES y FOWNES, 1993). 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 L:N explica mejor la velocidad de descomposición al dar una idea de la composición del carbono, existiendo una relación inversa entre la proporción L:N y la tasa de descomposición de la materia orgánica. Algunos compuestos secundarios, importantes como defensa contra la herbivoría, 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 (PALM y SÁNCHEZ, 1990).

Así mismo, 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 (JORDAN, 1985; MEENTEMEYER, 1978). 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. 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. Así mismo, el componente arbóreo permite extraer nutrientes que normalmente quedan fuera del alcance del sistema radical de los pastos. Cuando se utilizan árboles leguminosos, éstos 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).

#### **2.4. Estudios realizados**

En un informe del CIAT (1990), también se reporta un incremento en los niveles de Ca y Mg después de cuatro años de pasturas debido al llamado "efecto de bombeo", por parte de las pasturas. Las diferencias significativas a nivel de profundidad para el Ca, Mg, K y P se pueden considerar lógicas puesto que los residuos de hojas y material en descomposición para la mineralización proviene del mantillo del suelo, por lo que la mayor parte de los nutrientes se encuentran en la parte superior de éste.

Al respecto, SÁNCHEZ y SALINAS (1983) mencionan que en regiones húmedas, en condiciones de contenido Ca y Mg de medio a bajo, éstos se lavan fácilmente y aunque no necesariamente salen del perfil, si se observan que bajen a niveles más profundos del suelo. El 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. Estos recibieron una poda total a un metro del suelo, cada cuatro meses y el material fue

depositado sobre la superficie del suelo para que el ganado lo pudiera comer. El material remanente se degrada provocando un aumento en la disponibilidad de nutrientes, como se observa con el Mg. ABARCA (1997) menciona que las producciones por árbol están alrededor de los 1.5 kg MS/árbol. En las parcelas con *Gliricidia sepium* (mortalidad de un 90%), los aumentos y niveles del Mg son significativamente menores ( $p < 0.05$ ) que los encontrados en el sistema con paró.

NYGREN (1995) concluyó que a pesar de las bajas concentraciones de Mg a 75 cm de profundidad, la contribución en la absorción de Mg por parte de árboles de *Erythrina spp.* no sobrepasan el 14% del total lixiviado. PALM y SÁNCHEZ (1990) mencionan que en leguminosas arbóreas, el Mg tiene tasas bajas de pérdida en las hojas en descomposición. Esto causa que la disponibilidad del nutriente sea más constante a través del tiempo, por lo que no disminuya su disponibilidad por efectos del lavado; aunque su concentración en hojas sea menor (3.3-2.3%) en comparación con potasio (8.7-16.3%) o Ca (7.0-12.3%). CARVALHO (1997) refiere que la cantidad de K en hojas de *Brachiaria brizantha* bajo sombra de leguminosas arbóreas aumentó de 1.51 % a pleno sol a 2.29% bajo sombra. Posiblemente la incorporación de los árboles cambie la dinámica del K y este tiende a acumularse en el pasto mas que ha lixiviararse.

PANIAGUA (1991) mencionan para el contenido de P, que este elemento disminuye con la profundidad del suelo debido a la disminución de la materia orgánica y los fosfatos orgánicos, la explicación puede deberse a la

deposición del material de poda, ya que es en los puntos cercanos al árbol (1.0-1.5 m) donde se depositó la mayoría del material podado.

COOPERBAND (1992) trabajando en el trópico húmedo de Costa Rica en sistemas silva pastoriles con *Erythrina spp* explica 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. En éste 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. Desde esta perspectiva, la actividad exploratoria de las raíces del componente arbóreo supondría un mayor efecto en la disponibilidad del P a las distancias de 1 a 1.5 m, pues es en este intervalo donde se encontrarían los puntos activos de las raíces y la mayor fuente de nutrientes. De hecho ABARCA (1997) identificó raíces de *E berteriana* hasta de un metro de largo a los dos años de establecido el poró, producto de la siembra de semilla vegetativa. Es de esperar que actualmente, a 5 años de haberse establecido, el ámbito de acción de las raíces abarque los 2.5 m. en los cuales se muestreó.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Lugar de ejecución**

La investigación se realizó en cuatro parcelas (tres parcelas con instalación de 1, 3, 5 años de palma aceitera, políticamente pertenecen al sector Palmeras, distrito de Nuevo Progreso, provincia Tocache, región San Martín". Por su parte el distrito de Nuevo Progreso es uno de los cinco distritos que conforman la provincia de Tocache, perteneciente a la región de San Martín en el Perú. La capital del distrito se encuentra situada a 490 msnm; está ubicado a la margen derecha del río Huallaga, el valle de su ubicación es bastante productivo, ideal para el cultivo de palma aceitera, líder en producción de cacao que el mundo prefiere; ya que es una zona de selva pura virgen de bosques perfectamente conservados. Inmerso a las actividades de gabinete se llevó a cabo en el laboratorio de suelos de la Facultad de Recursos Naturales Renovables.

##### **3.1.1. Ubicación política**

Región	:	San Martín
Provincia	:	Tocache
Distrito	:	Nuevo Progreso
Sector	:	Palmeras

### 3.1.2. 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 (Zona 19 K, Datum WGS 84) de las parcelas en estudio

Edad de cultivo de palma aceitera	Coordenadas UTM		Altura (m.s.n.m.)
	Este	Norte	
Parcela de 1 año	360743	9071112	487
Parcela de 3 años	360653	9071009	478
Parcela de 5 años	360756	9071057	484
Parcela con macorilla	360354	9071193	472

### 3.2. Características generales de la zona

#### 3.2.1. Clima

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – San Martín (SENAMHI- SAN MARTIN) La precipitación promedio en el área de influencia del estudio es 2,946.64 mm/año. Las lluvias se inician en octubre hasta el mes de abril, con transiciones en los meses de mayo y septiembre, y períodos de estiaje corto de tres (3) meses desde junio a agosto. Los mayores volúmenes de precipitación se registran en los meses de diciembre, enero y febrero, con

precipitaciones arriba de los 300 mm/mes. El menor valor se presenta en agosto con 82.mm/mes.

### **3.2.2. Temperatura**

La zona en estudio tiene una temperatura media anual de 24.6 °C. Los meses de noviembre (25.6 °C) y julio (22.6 °C) presentan la más alta y más baja temperatura promedio respectivamente.

### **3.2.3. Hidrografía y unidades Hidrográficas**

La red hidrográfica del área del estudio está representada por el Río Huallaga, que discurren de norte a sur, recepcionando un número de cauces menores, los que conjuntamente con los colectores principales, constituye el canal natural para la evacuación de los excedentes de agua, principalmente en la época de mayores precipitaciones (Proyecto Especial Alto Huallaga, 2012).

### **3.2.4. Fisiografía**

El Proyecto Especial Alto Huallaga (2012) refiere que el área de estudio comprendió 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, estructuralmente con bosques que van desde aquellos que se están recuperando de alguna intervención antrópica que alcanzan hasta los 15 metros de altura hasta bosques que actualmente no han sufrido modificaciones debido a sus ubicación, donde el dosel puede alcanzar hasta 30 o 40 metros de altura.

### **3.2.5. Topografía**

INRENA (1976) menciona que 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.

### **3.2.6. Suelos**

Según el Proyecto Especial Alto Huallaga (PEAH) 2012 en esta zona existen suelos cuyas características edafológicas indican que son aluviales, aptas para cultivos temporales como; arroz(bajo riego),plátano(variedad Isla), frutales, pastos y perennes como el cacao así como especies forestales y nativas, dado que tienen un alto contenido de materia orgánica llegando hasta un 25%, un intercambio catiónico de 11,5% con una distribución promedio N-P-K de 8-10-12, en la zona Oeste se encuentran suelos con un pH de 6.0 e intercambio catiónico aceptables, propicios para el buen desarrollo de cultivos perennes.

### **3.2.7. Humedad relativa**

La humedad relativa promedio anual más alta es de 70.1% y la más baja es de 68.3% (registrada en la estación de Tocache) (Proyecto Especial Alto Huallaga, 2012).

## **3.3. Materiales, insumos y equipos**

### **3.3.1. Materiales de campo**

Wincha de 5 y 50 m., libreta de campo, fichas de campo, bolsas plásticas de 1 y 2 kg, martillo, navajas, machete, pala recta, muestras de suelo, impermeable.

### **3.3.2. Equipos de campo**

Cámara fotográfica, sistema de posicionamiento global (GPS), laptop Toshiba 302 RT.

### **3.3.3. Materiales y equipos de laboratorio**

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

## **3.4. Metodología**

Para el desarrollo de la investigación se seleccionaron cuatro parcelas (tres parcelas con instalación de 1, 3, 5 años de palma aceitera; los cuales debieron cumplir rigurosamente los criterios de selección, siendo estos:

Pendientes menores al 30% para minimizar posible efectos de erosión de hojarasca y/o suelo, etc; sobre las características del suelo; edad de instalación de cumplan con los rangos establecidos en la evaluación, fisiografía uniforme de la parcela, lo que aumenta la posibilidad de que los suelos sean uniformes.

### 3.4.1. Coordinación con los propietarios de las parcelas a evaluar

La identificación de las parcelas con instalación del cultivo de palma aceitera y macorilla, consistió en visitas directas de los terrenos, con el fin de verificar que cumplieran rigurosamente con las condiciones para realizar la investigación. Posterior a ello, se solicitó el permiso respectivo a los propietarios para realizar la investigación.

### 3.4.2. Demarcación del área de estudio

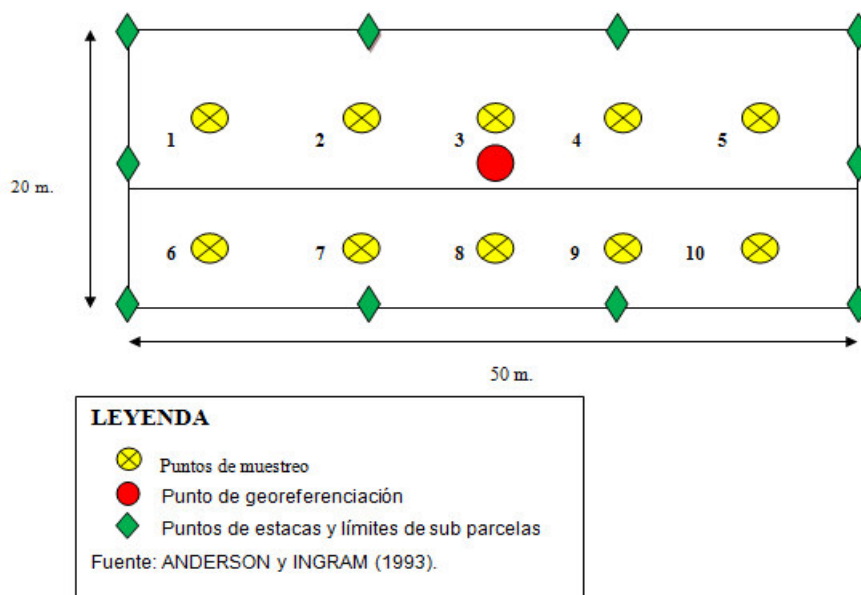


Figura 3. Croquis de la parcela en estudio.

En las parcelas, la demarcación del área de estudio (Figura 3) se realizó en las cuatro parcelas en estudio, por un área de 20 m x 50 m. cada subparcelas tiene 10 m. x 50 m. y se delimito utilizando rafia de color rojo. Se colocó 10 estacas verdes (rombos) de madera alrededor de toda el área de estudio, en ambas parcelas experimentales.

### **3.4.3. Variables a evaluar**

#### **– Parámetros químicos del suelo**

La evaluación de los parámetros químicos a evaluar consistió en la fertilidad del suelo. En las parcelas con instalación de palma aceitera, diferenciadas por el tiempo de instalación de 1, 3 y 5 años (tratamientos) se tomaron muestras de suelo a 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 metros respecto al eje del arbol, con una profundidad de muestreo de 30 cm. Esto se realizó en cuatro puntos al azar en cada parcela. Cada punto al azar correspondió a un segmento de la palma aceitera, teniendo a la palma aceitera como eje de partida de muestreo, donde se descartaron aquellas plantas que quedaron al borde de la 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. De las unidades exploratorias, se tuvo un total de sesenta muestras para analizar en el laboratorio. Así mismo, de la parcela con instalación de macorilla (testigo) se realizó muestreos de suelos por el método de zig zag en cinco puntos al azar con una profundidad de muestreo de 30 cm, para lo cual, se tuvo un total de cinco muestras a analizar en el laboratorio. La determinación de las propiedades químicas del suelo fue de acuerdo al siguiente cuadro:

Cuadro 2. Indicadores químicos

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); (ACEVEDO *et al.*, 2005)

#### – **Parámetros biológicos**

La evaluación de los parámetros biológicos a evaluar consistió en el contenido de carbono y nitrógeno microbiano del suelo.

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 expresó en términos de C y N microbiano de la siguiente manera:

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

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

### – **Densidad de oligoquetos**

El método de muestreo del suelo a evaluar es similar al recomendado por el Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF), (ANDERSON Y INGRAM, 1993), para la densidad de lombrices se estimó con marcos de 25x25x15 cm). Para cada parcela con árboles se tomaron muestras a 30 cm de profundidad por un transecto de 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 metros de los árboles de palma aceitera, para un total de veinte muestras por parcela en estudio. Aunado a ello, referente a la parcela testigo, se tomaron muestras de suelos por el método de zig zag en cuatro puntos al azar, para lo cual, se tuvo un total de cuatro muestras in situ. Posteriormente, se procedió a hacer el conteo de lombrices en el campo, separando aquellas con clitelo (adultas) de aquellas sin clitelo (jóvenes); luego los oligoquetos se devolvieron al campo.

### **3.5. Tipo de investigación**

El trabajo correspondió al tipo de investigación descriptivo.

### **3.6. Variables independientes**

- Cultivo agrícola con un (01) año de instalación de palma aceitera.
- Cultivo agrícola con tres (03) años de instalación de palma aceitera.
- Cultivo agrícola con cinco (05) años de instalación de palma aceitera.
- Suelo degradado (macorrilla).

### 3.7. Variables dependientes

Las variables en el presente trabajo de investigación son:

#### 3.7.1. Propiedades químicas del suelo

Materia orgánica (C y N orgánico), reacción del suelo o pH, nitrógeno total, fosforo disponible, potasio disponible, C.I.C, carbono y nitrógeno microbiano.

#### 3.7.2. Propiedades biológicas del suelo

- La determinación de C y N microbianos
- Densidad de lombrices

### 3.8. Análisis estadístico

Para el presente trabajo de investigación se usó el diseño completamente al azar (DCA)

El modelo estadístico usado fue el siguiente:

$$Y_{ijkm} = \mu + \rho_i + \alpha_j + \delta_{ij}$$

Dónde:

$\mu$ : Promedio general.

$\rho_i$  : Efecto de la i-ésima repetición

$\alpha_j$  : Efecto del j-ésimo tiempo de uso del suelo.

$\delta_{ij}$  : Error asociado a la parcela principal.

Para las diferencias significativas entre los años de instalación del cultivo agrícola de la palma aceitera, se obtuvo los promedios por edad de instalación, se analizaron por medio de la prueba tukey. Para la comparación de los sistemas anteriores con la parcela con macorrilla, se obvió el factor de distancia al utilizar un promedio de los datos obtenidos de esta medición.

## **IV. RESULTADOS**

### **4.1. Evaluar el efecto de la palma aceitera sobre la distribución espacial de nutrientes en suelos con instalación de palma aceitera con edades de 1, 3, 5 años.**

#### **4.1.1. Distribución espacial del rango de pH en los suelos con plantaciones de palma aceitera con edades de 1, 3 y 5 años de instalación.**

En el cuadro 3 se observan los datos obtenidos para la variable pH o reacción del suelo en los diferentes años de instalación de la palma aceitera. Aun nivel de significancia del 95% para el comparador de medias (prueba tukey) solo se encontró diferencias significativas ( $p$ -valor=0.0037 y 0.0059) entre el primer, tercer y quinto año de instalación respecto a 0.5 m y 2 m de distancia de la palma aceitera; con valores que van de 5.76 (moderadamente ácido) en el primer año hasta 6.91 (neutro) en el quinto año de instalación a 0.5 m del eje de la palma aceitera. Por otro lado a 2.0 m de distancia respecto al eje de la palma aceitera se encontró valores que van 6.40 (moderadamente ácido) en el primer año hasta 7.35 (neutro) en el quinto año de instalación. Por otra parte, para la prueba estadística de los datos observados, el promedio de las distancias respecto a su media son poco distantes (C.V. = 7.53 y 7.78%).

Cuadro 3. Distribución del nivel de pH en los suelos con plantaciones de palma aceitera, según distancia respecto a la hilera de los árboles de 1, 3 y 5 años de instalación.

Distanciamiento	Año de instalación	Rango de pH. ( $\bar{u} \pm e.e.$ )
0.5 m	1	5.76 $\pm$ 0.34 a
	3	7.40 $\pm$ 0.46 b
	5	6.91 $\pm$ 0.66 b
	p-valor	0.0037
	C.V. (%)	7.53
1.0 m	1	6.66 $\pm$ 0.34 a
	3	7.10 $\pm$ 0.22 a
	5	7.08 $\pm$ 0.07 a
	p-valor	0.5145
	C.V. (%)	8.53
1.5 m	1	6.81 $\pm$ 0.87 a
	3	7.03 $\pm$ 0.86 a
	5	6.86 $\pm$ 0.45 a
	p-valor	0.8404
	C.V. (%)	8.04
2.0 m	1	6.40 $\pm$ 0.46 a
	3	5.79 $\pm$ 0.68 a
	5	7.35 $\pm$ 0.22 b
	p-valor	0.0059
	C.V. (%)	7.78
2.5 m	1	5.46 $\pm$ 0.11 a
	3	6.03 $\pm$ 0.43 a
	5	6.29 $\pm$ 0.54 a
	p-valor	0.1223
	C.V. (%)	8.79

*Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), según prueba de Tukey.*

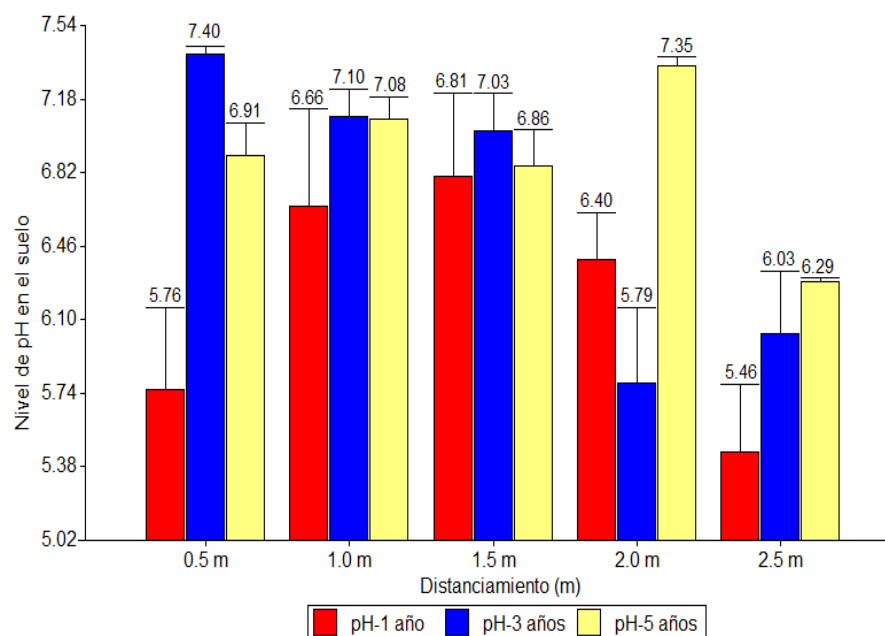


Figura 4. Distribución del rango de pH en los suelos con plantaciones de palma aceitera, según distancia respecto a la hilera de los árboles de 1, 3 y 5 años de instalación.

En el primer año de instalación los rangos de pH aumentan conforme se aleja del eje de la palma aceitera hasta los 1.5 m, luego empieza a declinar hasta la última medición, a los 2.5 m (Figura 4). Por otro lado se observa que en el tercer año el pH desciende abruptamente hasta los 2.0 m, presentando finalmente un ligero incremento en la última medición (2.5 m). sin embargo en el quinto año de instalación el rango de pH aumentan conforme se aleja de la palma aceitera hasta 1.0 m, luego empieza a descender hasta 1.5 m, posteriormente ascendiendo a los 2.0 m, para finalmente descender hasta la última medición a los 2.5 m. Por otra parte de las medias ajustadas respecto a los rangos obtenidos, estos se encuentran en suelos con pH moderadamente ácido a neutro.

#### **4.1.2. Distribución del nivel de materia orgánica (%) en los suelos con plantaciones de palma aceitera en edades de 1, 3 y 5 años de instalación.**

De las observaciones respecto a la distribución espacial del nivel de materia orgánica (%) el suelo, luego de realizar el análisis de variabilidad, estos no presentaron discrepancia significativa a un nivel de significancia del 95%, por lo que no amerita realizar el análisis de prueba de comparador de medias (Tukey). Sin embargo, para poder responder la hipótesis planteada en la presente investigación, de que si a mayor tiempo de instalación de la palma aceitera, afecta positivamente en la distribución espacial de nutrientes, se realizó la prueba Tukey para determinar las medias ajustadas.

En el cuadro 4 se observan la distribución espacial de los datos obtenidos respecto a la variable materia orgánica (%) del suelo en los diferentes años de instalación de la palma aceitera.

Para la prueba estadística no existe razones suficientes para aceptar diferencias significativa ( $p\text{-valor} \leq 0.05$ ) entre las medias ajustadas en relación al contenido de materia orgánica (%) entre el primer, tercer y quinto año de instalación respecto a 0.5 m 1.0 m; 1.5 m; 2.0 y 2.5 m de distancia de la palma aceitera; así mismo para el comparador de medias, las observaciones obtenidas muestran un coeficiente de variabilidad que van de 16.91% a 33.43%, siendo los datos obtenidos poco homogéneos o muy distantes respecto a su media.

Cuadro 4. Distribución de la materia orgánica en los suelos con plantaciones de palma aceitera, según distancia respecto a la hilera de los árboles de 1, 3 y 5 años de instalación.

Distanciamiento	Año de instalación	Nivel de M. O. ( $\mu \pm e.e.$ )
0.5 m	1	3.40 $\pm$ 0.86 a
	3	3.56 $\pm$ 0.87 a
	5	3.84 $\pm$ 0.57 a
	p-valor	0.6027
	C.V. (%)	16.91
1.0 m	1	2.99 $\pm$ 0.56 a
	3	3.02 $\pm$ 0.57 a
	5	3.60 $\pm$ 0.85 a
	p-valor	0.6716
	C.V. (%)	33.42
1.5 m	1	3.37 $\pm$ 0.85 a
	3	3.55 $\pm$ 0.35 a
	5	3.77 $\pm$ 0.75 a
	p-valor	0.7905
	C.V. (%)	22.62
2.0 m	1	3.15 $\pm$ 0.75 a
	3	3.96 $\pm$ 0.78 a
	5	3.47 $\pm$ 0.35 a
	p-valor	0.3633
	C.V. (%)	21.87
2.5 m	1	2.62 $\pm$ 0.24 a
	3	3.59 $\pm$ 0.34 a
	5	3.36 $\pm$ 0.32 a
	p-valor	0.3561
	C.V. (%)	29.58

*Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), según prueba de Tukey.*

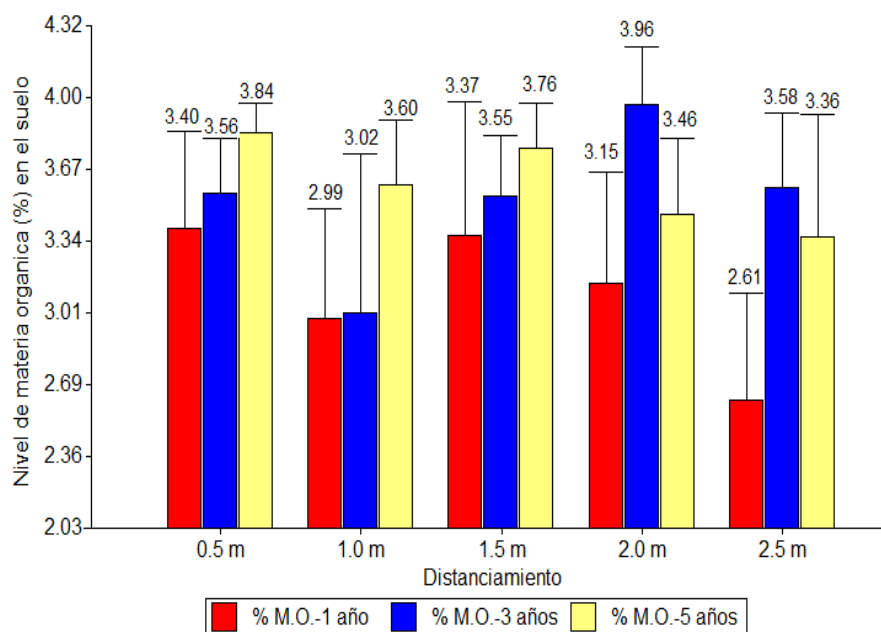


Figura 5. Distribución espacial del nivel de materia orgánica (%) en los suelos con plantaciones de palma aceitera, según distancia respecto a la hilera de los árboles de 1, 3 y 5 años de instalación.

A pesar que para la prueba estadística no existe razones suficientes para aceptar diferencias significativa ( $p$ -valor  $\leq 0.05$ ) entre las medias ajustadas en relación al contenido de materia orgánica (%) entre el primer, tercer y quinto año de instalación respecto a las distancias en estudio (Figura 5). En el primer y quinto periodo de instalación los niveles de materia orgánica aumentan conforme se aleja hasta una distancia de 1.5 m, luego empieza a declinar hasta la última medición, a los 2.5 m. Sin embargo, por otra parte en el tercer año de instalación aumenta hasta una distancia de 2.0 m, luego empieza a declinar hasta la última medición (2.5 m). Además de las medias ajustadas respecto a los rangos obtenidos, estos se encuentran en suelos con niveles medios de materia orgánica (%).

#### **4.1.3. Distribución del nivel de nitrógeno (%) en los suelos con plantaciones de palma aceitera en edades de 1, 3 y 5 años de instalación.**

De los datos observados respecto a la distribución espacial del nivel de nitrógeno (%) el suelo, luego de realizar el análisis de varianza, estos no presentaron diferencia significativa a un nivel de significancia del 95%, por lo que no amerita realizar el análisis de prueba de comparador de medias (Tukey). Sin embargo, para poder responder la hipótesis planteada en la presente investigación, de que si a mayor tiempo de instalación de la palma aceitera, afecta positivamente en la distribución espacial de nutrientes, se realizó la prueba Tukey para determinar las medias ajustadas.

En el cuadro 5 se observan la distribución espacial de los datos obtenidos respecto a la variable nitrógeno (%) del suelo en los diferentes años de instalación de la palma aceitera.

Para la prueba estadística no existe razones suficientes para aceptar diferencias significativa ( $p\text{-valor} \leq 0.05$ ) entre las medias ajustadas correspondiente al contenido de nitrógeno (%) entre el primer, tercer y quinto año de instalación respecto a 0.5 m 1.0 m; 1.5 m; 2.0 y 2.5 m de distancia del eje de la palma aceitera; así mismo para el comparador de medias, las observaciones obtenidas muestran un coeficiente de variabilidad que van de 15.98% a 34.1%, siendo los datos obtenidos poco homogéneos o distantes respecto a su media.

Cuadro 5. Distribución del nitrógeno en los suelos con plantaciones de palma aceitera, según distancia respecto a la hilera de los árboles de 1, 3 y 5 años de instalación.

Distanciamiento	Año de instalación	Nivel de N. ( $\mu \pm e.e.$ )
0.5 m	1	0.17 $\pm$ 0.21 a
	3	0.18 $\pm$ 0.23 a
	5	0.20 $\pm$ 0.21 a
	p-valor	0.4272
	C.V. (%)	15.98
1.0 m	1	0.15 $\pm$ 0.24 a
	3	0.15 $\pm$ 0.32 a
	5	0.18 $\pm$ 0.11 a
	p-valor	0.6629
	C.V. (%)	34.1
1.5 m	1	0.17 $\pm$ 0.13 a
	3	0.18 $\pm$ 0.15 a
	5	0.19 $\pm$ 0.17 a
	p-valor	0.7466
	C.V. (%)	23.01
2.0 m	1	0.16 $\pm$ 0.17 a
	3	0.20 $\pm$ 0.23 a
	5	0.17 $\pm$ 0.32 a
	p-valor	0.3394
	C.V. (%)	22.09
2.5 m	1	0.13 $\pm$ 0.87 a
	3	0.18 $\pm$ 0.77 a
	5	0.17 $\pm$ 0.75 a
	p-valor	0.3632
	C.V. (%)	29.22

*Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), según prueba de Tukey.*

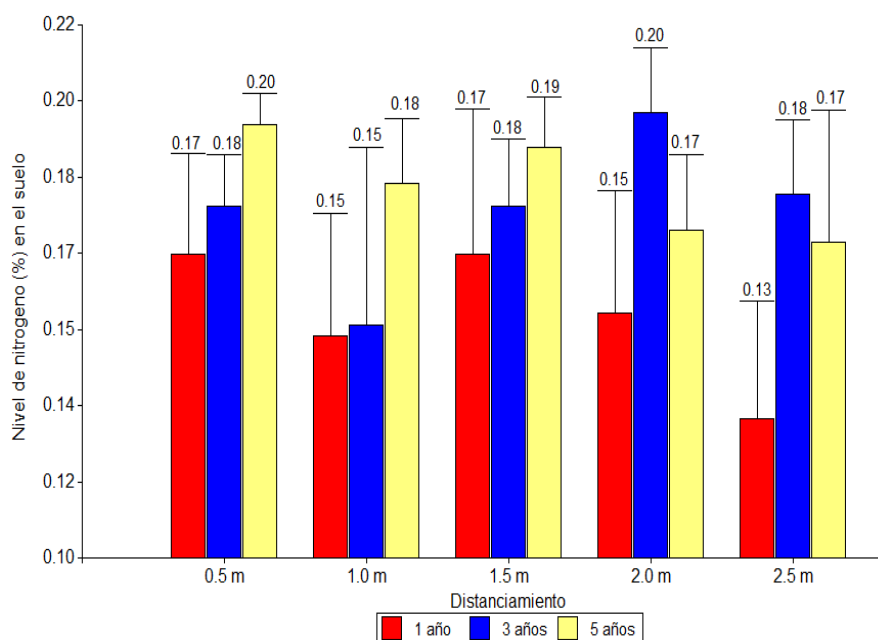


Figura 6. Distribución del nivel de nitrógeno (%) en los suelos con plantaciones de palma aceitera, según distancia respecto a la hilera de los árboles de 1, 3 y 5 años de instalación.

A pesar que para la prueba estadística no existe razones suficientes para aceptar diferencias significativa ( $p$ -valor  $\leq 0.05$ ) entre las medias ajustadas en relación al nivel de nitrógeno (%) entre el primer, tercer y quinto año de instalación respecto a 0.5 m 1.0 m; 1.5 m; 2.0 y 2.5 m de distancia del árbol de la palma aceitera (Figura 6). En el primer y quinto año de instalación los niveles de nitrógeno (%) en el suelo aumentan conforme se aleja de la palma aceitera hasta una distancia de 1.5 m, luego empieza a declinar hasta la última medición, a los 2.5 m; sin embargo, por otra parte en el tercer año de instalación aumenta hasta una distancia de 2.0 m, luego empieza a declinar hasta la última medición (2.5 m).

#### **4.1.4. Distribución del nivel de fósforo (ppm) en los suelos con plantaciones de palma aceitera en edades de 1, 3 y 5 años de instalación.**

De los datos observados respecto a la distribución espacial del nivel de fósforo (%) en el suelo, luego de realizar el análisis de varianza, estos solo presentaron diferencia significativa a un nivel de significancia del 95%, en los distanciamiento de 0.5 m y 2.5 m respecto del eje de la palma aceitera; en tal sentido para poder responder la hipótesis planteada en la presente investigación, de que si a mayor tiempo de instalación de la palma aceitera, afecta positivamente en la distribución espacial de nutrientes, se realizó la prueba Tukey para determinar las medias ajustadas del nivel de fósforo en el suelo.

En el cuadro 6 se observan la distribución espacial de los datos obtenidos respecto a la variable fósforo (ppm) del suelo en los diferentes años de instalación de la palma aceitera. Para la prueba estadística (comparador de medias) solo existe razones suficientes para aceptar diferencias significativa ( $p$ -valor  $\leq 0.05$ ) entre las medias ajustadas correspondiente al nivel de fósforo (ppm) entre el primer, tercer y quinto año de instalación correspondiente a 0.5 m y 2.5 m de distancia, con valores que van desde 11.50 ppm a 32.75 ppm a un distanciamiento de 0.5 m; y 12.25 ppm a 30.00 ppm a un distanciamiento de 2.5 m. Asimismo, para el comparador de medias las observaciones obtenidas muestran un coeficiente de variabilidad (C. V.) que van de 19.60% a 24.12%, siendo los datos obtenidos poco homogéneos o muy dispersos respecto a su media.

Cuadro 6. Distribución del nivel de fósforo (ppm) en los suelos con plantaciones de palma aceitera, según distancia respecto a la hilera de los árboles de 1, 3 y 5 años de instalación.

Distanciamiento	Año de instalación	Nivel de P. (u±e.e.)
0.5 m	1	32.75 ± 21.14 a
	3	11.50 ± 12.40 b
	5	12.00 ± 16.40 b
	p-valor	0.0001
	C.V. (%)	22.47
1.0 m	1	24.25 ± 16.48 a
	3	24.00 ± 16.41 a
	5	17.50 ± 15.23 a
	p-valor	0.4964
	C.V. (%)	24.12
1.5 m	1	14.50 ± 27.33 a
	3	18.50 ± 21.04 a
	5	18.50 ± 43.13 a
	p-valor	0.5777
	C.V. (%)	35.22
2.0 m	1	19.25 ± 36.23 a
	3	19.75 ± 38.27 a
	5	14.50 ± 42.51 a
	p-valor	0.5563
	C.V. (%)	21.06
2.5 m	1	30.00 ± 32.08 a
	3	17.50 ± 28.37 b
	5	12.25 ± 42.01 b
	p-valor	0.0295
	C.V. (%)	19.60

*Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), según prueba de Tukey.*

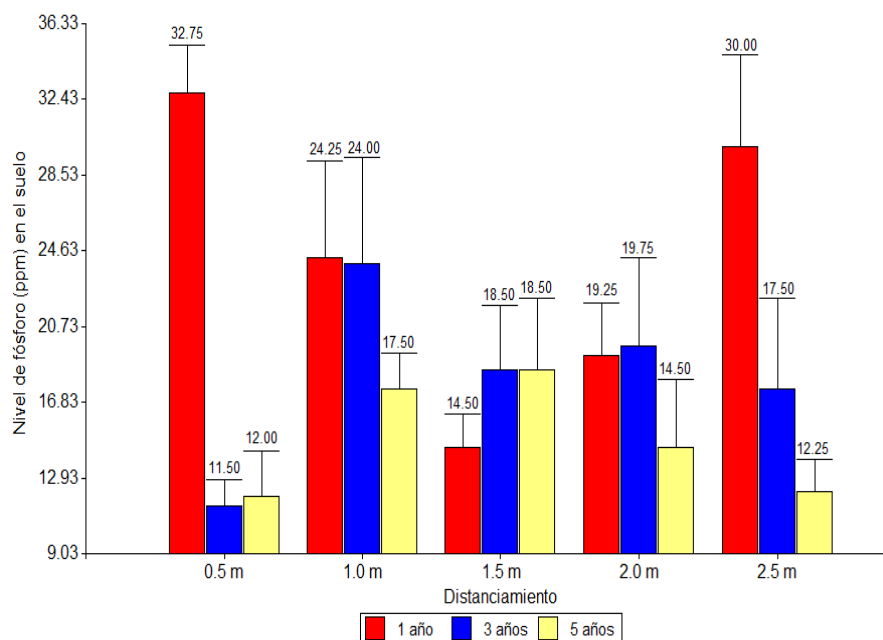


Figura 7. Distribución del nivel de fósforo (ppm) en los suelos con plantaciones de palma aceitera, según distancia respecto a la hilera de los árboles de 1, 3 y 5 años de instalación.

En el primer año de instalación los niveles de fósforo (ppm) en el suelo disminuyen conforme se aleja de la palma aceitera hasta una distancia de 1.5 m, luego asciende hasta la última medición, a los 2.5 m (Figura 7). Por otro lado, en el segundo año de instalación, los niveles de fósforo hacen hasta una distancia de 1.0 m, posteriormente empieza a declinar hasta la última medición (2.5 m). En contra parte, en el quinto año de instalación, los niveles de fósforo (ppm) en el suelo aumentan conforme se aleja de la palma aceitera hasta una distancia de 1.5 m, luego emprende a declinar hasta la última medición, a los 2.5 m.

#### **4.1.5. Distribución del nivel de potasio (kg/ha) en los suelos con plantaciones de palma aceitera en edades de 1, 3 y 5 años de instalación.**

De los datos observados en relación a la distribución espacial del nivel de potasio (kg/ha) en el suelo, luego de realizar el análisis de varianza, estos solo presentaron diferencia significativa a un nivel de significancia del 95%, en el distanciamiento de 1.5 m respecto del eje de la palma aceitera; en tal sentido para poder responder la hipótesis planteada en la presente investigación, de que si a mayor tiempo de instalación de la palma aceitera, afecta positivamente en la distribución espacial de nutrientes, se realizó la prueba Tukey para determinar las medias ajustadas.

En el cuadro 7 se observan la distribución espacial de los datos obtenidos respecto a la variable potasio (kg/ha) en el suelo de los diferentes años de instalación de la palma aceitera. Para la prueba estadística (comparador de medias) solo existe razones suficientes para aceptar diferencias significativa ( $p\text{-valor} \leq 0.05$ ) entre las medias ajustadas correspondiente al nivel de potasio entre el primer, tercer y quinto año de instalación correspondiente a 1.5 m de distancia; con valores que van desde 104.46 (kg/ha) a 176.78 (kg/ha) encontrándose en el rango muy bajo de este nutriente en el suelo. Conjuntamente, para el comparador de medias las observaciones obtenidas muestran un coeficiente de variabilidad (C. V.) que van de 18.62% a 37.58%, siendo los datos obtenidos poco homogéneos o muy dispersos respecto a su media.

Cuadro 7. Distribución del nivel de potasio en los suelos con plantaciones de palma aceitera, según distancia respecto a la hilera de los árboles de 1, 3 y 5 años de instalación.

Distanciamiento	Año de instalación	Nivel de K. (u±e.e.)
0.5 m	1	179.95 ± 123.45 a
	3	170.57 ± 121.43 a
	5	127.67 ± 87.32 a
	p-valor	0.3068
	C.V. (%)	30.09
1.0 m	1	275.17 ± 65.75 a
	3	168.63 ± 78.23 a
	5	200.27 ± 84.56 a
	p-valor	0.5620
	C.V. (%)	25.01
1.5 m	1	140.94 ± 43.56 b
	3	104.46 ± 56.04 a
	5	176.78 ± 64.13 b
	p-valor	0.0116
	C.V. (%)	18.62
2.0 m	1	149.08 ± 63.46 a
	3	165.57 ± 86.65 a
	5	158.05 ± 43.53 a
	p-valor	0.9259
	C.V. (%)	37.58
2.5 m	1	119.30 ± 96.35 a
	3	134.37 ± 64.46 b
	5	162.68 ± 84.53 b
	p-valor	0.5826
	C.V. (%)	21.90

*Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), según prueba de Tukey.*

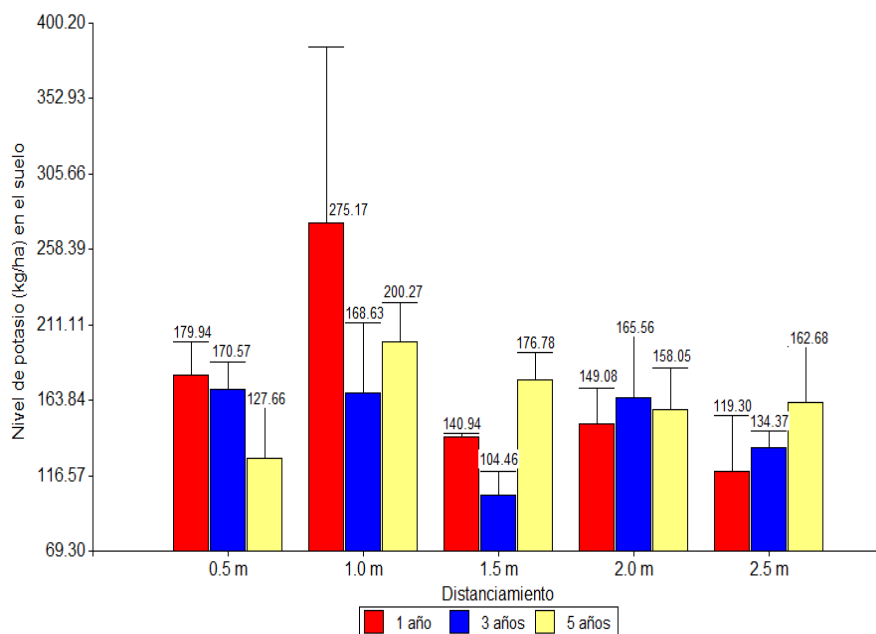


Figura 8. Distribución del nivel de potasio (kg/ha) en los suelos con plantaciones de palma aceitera, según distancia respecto a la hilera de los árboles de 1, 3 y 5 años de instalación.

Para la prueba estadística (comparador de medias) solo existe razones suficientes para aceptar diferencias significativa ( $p\text{-valor} \leq 0.05$ ) entre las medias ajustadas correspondiente al nivel de potasio entre el primer, tercer y quinto año de instalación correspondiente a 1.5 m de distancia. De acuerdo a los valores observados en el primer y quinto año de instalación; los niveles de potasio (kg/ha) en el suelo aumentan conforme se aleja de la palma aceitera hasta una distancia de 1.0 m, luego empieza a declinar hasta la última medición, a los 2.5 m; sin embargo, en el tercer año de instalación, los niveles de potasio disminuyen conforme se aleja de la palma aceitera hasta una distancia de 1.5 m, luego asciende hasta la penúltima medición, disminuyendo finalmente en la última medición, a los 2.5 m (Figura 8).

#### **4.1.6. Distribución del nivel de la capacidad de intercambio catiónico (meq/100 g) de los suelos con plantaciones de palma aceitera en edades de 1, 3 y 5 años de instalación.**

De los datos observados correspondiente a la distribución espacial del nivel de la capacidad de intercambio catiónico en el suelo, luego de realizar el análisis de varianza, a un nivel de significancia del 95%, estos solo presentaron diferencia significativa en los distanciamientos de 0.5 m, 2.0 m y 2.5 m, respecto al eje de la palma aceitera; en tal sentido para poder responder la hipótesis planteada en la presente investigación, de que si a mayor tiempo de instalación de la palma aceitera, afecta positivamente en la distribución espacial de nutrientes, se realizó la prueba Tukey para determinar las medias ajustadas.

Posterior al análisis de varianza, la prueba tukey (comparador de medias) solo existe razones suficientes para aceptar diferencias significativa (p-valor  $\leq 0.05$ ) entre las medias ajustadas respecto a la capacidad de intercambio catiónico entre el primer, tercer y quinto año de instalación a un distanciamiento de 0.5 m, 2.0 m y 2.5 m de distancia del eje del árbol; con valores que van de 26.62 (meq/100 g suelo) (nivel alto) en el primer año y 38.57 (meq/100 g suelo) (nivel alto) en el quinto año de instalación a un distanciamiento de 0.5 m del eje de la palma aceitera; de la misma manera a 2.0 m de distancia respecto a la palma aceitera se encontró valores que van de 23.73 (meq/100 g suelo) (nivel medio) en el primer año y 40.44 (meq/100 g suelo) (nivel muy alto) en el quinto año de instalación.

Cuadro 8. Distribución de la capacidad de intercambio catiónico en los suelos con plantaciones de palma aceitera, según distancia respecto a la hilera de los árboles de 1, 3 y 5 años de instalación.

Distanciamiento	Año de instalación	Nivel de CIC. ( $u \pm e.e.$ )
0.5 m	1	26.62 $\pm$ 12.44 a
	3	32.62 $\pm$ 14.86 a
	5	38.57 $\pm$ 11.45 a
	p-valor	0.0598
	C.V. (%)	18.53
1.0 m	1	35.40 $\pm$ 16.76 a
	3	43.36 $\pm$ 18.56 a
	5	44.28 $\pm$ 21.76 a
	p-valor	0.4842
	C.V. (%)	26.85
1.5 m	1	30.03 $\pm$ 21.65 b
	3	42.88 $\pm$ 25.54 b
	5	48.90 $\pm$ 18.34 b
	p-valor	0.0070
	C.V. (%)	15.77
2.0 m	1	23.73 $\pm$ 15.45 a
	3	27.18 $\pm$ 14.45 a
	5	40.44 $\pm$ 21.56 b
	p-valor	0.0005
	C.V. (%)	12.99
2.5 m	1	21.04 $\pm$ 14.65 a
	3	24.76 $\pm$ 21.86 a
	5	40.73 $\pm$ 17.85 b
	p-valor	0.0022
	C.V. (%)	20.09

*Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), según prueba de Tukey.*

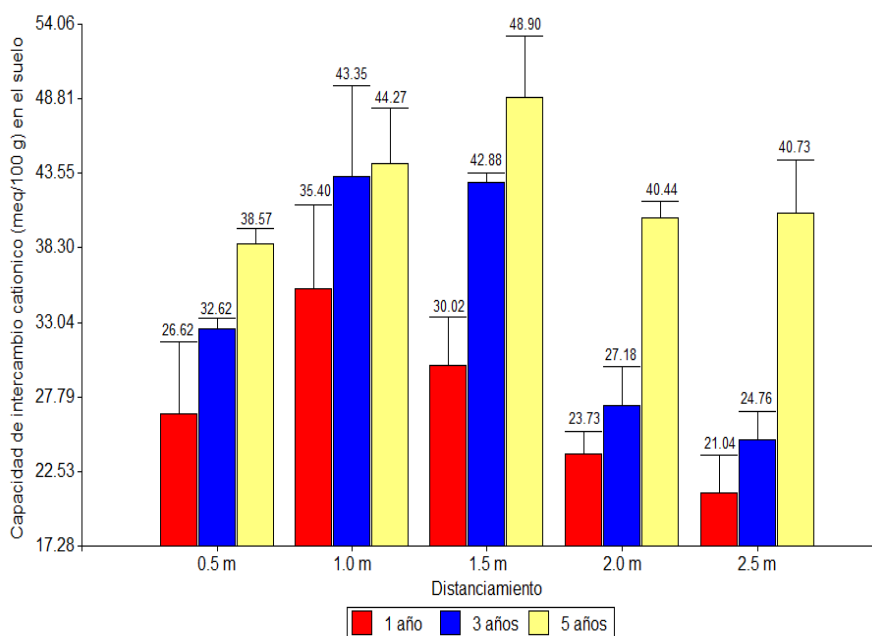


Figura 9. Distribución de la capacidad de intercambio catiónico de los suelos con plantaciones de palma aceitera, según distancia respecto a la hilera de los árboles de 1, 3 y 5 años de instalación.

Para la prueba estadística (comparador de medias) solo existe razones suficientes para aceptar diferencias significativa ( $p$ -valor  $\leq 0.05$ ) entre las medias ajustadas respecto a la capacidad de intercambio catiónico entre el primer, tercer y quinto año de instalación a un distanciamiento de 0.5 m, 2.0 m y 2.5 m de distancia del eje del árbol (Figura 9). De ello en el primer y tercer año de instalación los niveles de la capacidad de intercambio catiónico (meq/100 g suelo) en el suelo aumentan conforme se aleja del árbol hasta una distancia de 1.0 m, luego empieza a declinar hasta la última medición, a los 2.5 m. Sin embargo, por otra parte en el tercer año de instalación aumenta hasta una distancia de 1.5 m, luego empieza a declinar hasta la última medición (2.5 m).

## **4.2. Efecto de la palma aceitera sobre la biomasa microbial, cantidad y número de lombrices en suelos con instalación de palma aceitera con edades de 1, 3, 5 años.**

### **4.2.1. Distribución del carbono microbiano en los suelos con plantaciones de palma aceitera en edades de 1, 3 y 5 años de instalación.**

De los datos observados en relación a la distribución espacial del carbono microbiano (CM) en el suelo, luego de realizar el análisis de varianza, estos presentaron diferencia significativa en los todos los distanciamientos en evaluación; en tal sentido para poder responder la hipótesis planteada en la presente investigación, de que si a mayor tiempo de instalación de la palma aceitera, el componente arbóreo afecta positivamente en la distribución espacial de CM, se realizó la prueba Tukey para determinar las medias. El análisis estadístico (Cuadro 9) mostró diferencias significativas ( $p$ -valor  $\leq 0.05$ ) entre el primer, tercer y quinto año de instalación en todos los distanciamientos en evaluación; a un distanciamiento de 0.5 m del eje de la palma aceitera, los niveles de CM van de  $155.36 \pm 132.23$  (mg/kg) para el primer año, disminuyendo en el tercer año a  $143.49 \pm 127.43$  (mg/kg) y finalmente incrementándose en el quinto año a  $156.41 \pm 142.30$  (mg/kg); Por otra parte, de la misma manera para el distanciamiento de 1.0 m se observa  $167.45 \pm 142.22$  de CM en el primer año, disminuyendo a  $144.66 \pm 121.43$  (mg/kg) y finalmente incrementándose en el quinto año a  $159.75 \pm 187.54$  (mg/kg); siendo estos niveles similares en las demás distancias en evaluación.

Cuadro 9. Distribución del carbono microbiano (mg/kg) en los suelos con plantaciones de palma aceitera, según distancia respecto a la hilera de los árboles de 1, 3 y 5 años de instalación.

Distanciamiento	Año de instalación	Nivel de C.M. ( $\mu \pm e.e.$ )
0.5 m	1	155.36 $\pm$ 132.23 b
	3	143.49 $\pm$ 127.43 a
	5	156.41 $\pm$ 142.30 b
	p-valor	0.0010
	C.V. (%)	2.32
1.0 m	1	167.45 $\pm$ 142.22 a
	3	144.66 $\pm$ 121.43 b
	5	159.75 $\pm$ 187.54 c
	p-valor	0.0001
	C.V. (%)	2.08
1.5 m	1	175.51 $\pm$ 111.45 a
	3	146.07 $\pm$ 89.53 b
	5	161.65 $\pm$ 99.42 c
	p-valor	0.0001
	C.V. (%)	0.97
2.0 m	1	176.10 $\pm$ 121.18 a
	3	146.88 $\pm$ 111.37 b
	5	162.24 $\pm$ 143.31 c
	p-valor	0.0001
	C.V. (%)	0.33
2.5 m	1	174.99 $\pm$ 132.45 a
	3	146.92 $\pm$ 142.75 a
	5	161.13 $\pm$ 124.64 b
	p-valor	0.0001
	C.V. (%)	0.58

*Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), según prueba de Tukey.*

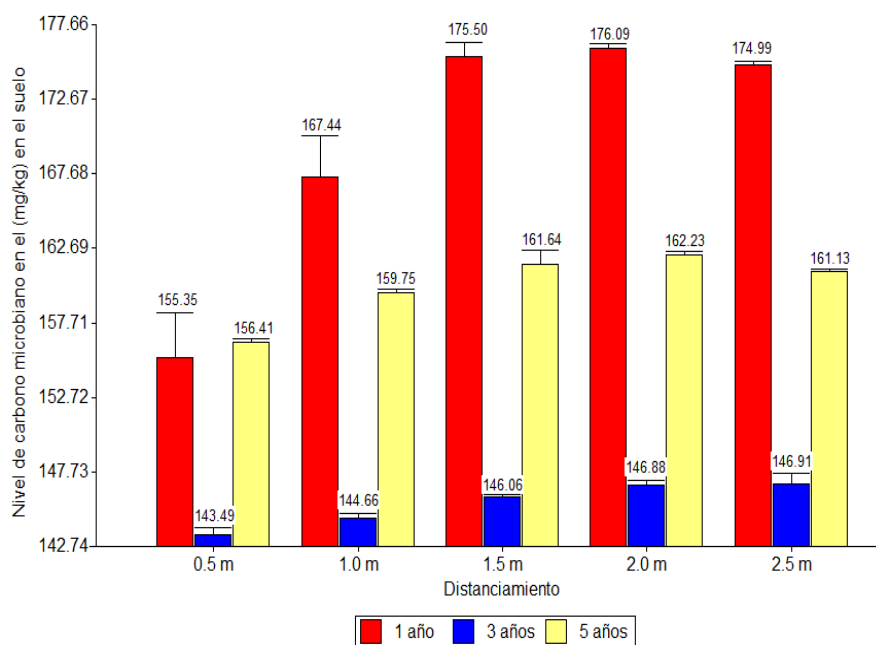


Figura 10. Distribución del nivel de carbono microbiano (mg/kg) en los suelos con plantaciones de palma aceitera, según distancia respecto a la hilera de la palma aceitera de 1, 3 y 5 años de instalación.

La distribución espacial del carbono microbiano (CM) en el primer y quinto año de instalación presenta una tendencia creciente hasta una distancia de 2.0 m, luego empieza a declinar hasta la última medición, a los 2.5 m; no obstante, por otra parte en el tercer año de evaluación presenta una tendencia creciente hasta las última medición, a 2.5 m de la palma aceitera (Figura 10). De la figura se observa dos grupos bien diferenciados, tal como clasificó la prueba estadística (comparador de medias) indicando que existe razones suficientes para aceptar diferencias significativa ( $p$ -valor  $\leq 0.05$ ) entre las medias ajustadas respecto a la distribución espacial del carbono microbiano (CM) en el suelo entre el primer, tercer y quinto año de instalación en todos los distanciamientos en evaluación

#### **4.2.2. Distribución del nitrógeno microbiano en los suelos con plantaciones de palma aceitera en edades de 1, 3 y 5 años de instalación.**

De los datos observados en relación a la distribución espacial del nitrógeno microbiano (NM) en el suelo, luego de realizar el análisis de varianza, estos presentaron diferencia significativa en los todos los distanciamientos en evaluación respecto a la hilera de la palma aceitera; en tal sentido para poder responder la hipótesis planteada en la presente investigación, de que si a mayor tiempo de instalación de la palma aceitera, afecta positivamente en la distribución espacial del nitrógeno microbiano se realizó la prueba Tukey para determinar las medias ajustadas del nivel de nitrógeno microbiano en el suelo.

El análisis estadístico (comparador de medias) mostró diferencias significativas ( $p$ -valor  $\leq 0.05$ ) entre el primer, tercer y quinto año de instalación de la palma aceitera en todos los distanciamientos en evaluación. A un distanciamiento de 0.5 m del eje de la palma aceitera, los niveles de nitrógeno microbiano (NM) van de  $7.88 \pm 0.33$  (mg/kg) para el primer año de instalación, disminuyendo en el tercer año a  $6.60 \pm 0.54$  (mg/kg) y finalmente incrementándose en el quinto año a  $8.55 \pm 0.40$  (mg/kg). Así mismo de la misma manera para el distanciamiento de 1.0 m se observa  $8.35 \pm 0.65$  de nitrógeno microbiano en el primer año, disminuyendo a  $6.93 \pm 0.23$  (mg/kg) y finalmente incrementándose en el quinto año a  $10.68 \pm 0.64$  (mg/kg); siendo estos niveles similares en las demás distancias en evaluación de la hilera de la palma aceitera (Cuadro 10).

Cuadro 10. Distribución del nitrógeno microbiano (mg/kg) en los suelos con plantaciones de palma aceitera, según distancia respecto a la hilera de la palma aceitera de 1, 3 y 5 años de instalación.

Distanciamiento	Año de instalación	Nivel de N.M. ( $\mu \pm e.e.$ )
0.5 m	1	7.88 $\pm$ 0.33 a
	3	6.60 $\pm$ 0.54 b
	5	8.55 $\pm$ 0.40 a
	p-valor	0.0009
	C.V. (%)	6.32
1.0 m	1	8.35 $\pm$ 0.65 a
	3	6.93 $\pm$ 0.23 b
	5	10.68 $\pm$ 0.64 c
	p-valor	0.0001
	C.V. (%)	6.10
1.5 m	1	9.25 $\pm$ 0.74 a
	3	7.75 $\pm$ 0.63 b
	5	12.77 $\pm$ 0.33 c
	p-valor	0.0001
	C.V. (%)	4.89
2.0 m	1	10.73 $\pm$ 0.53 a
	3	9.65 $\pm$ 0.64 b
	5	13.80 $\pm$ 0.42 c
	p-valor	0.0001
	C.V. (%)	4.89
2.5 m	1	12.50 $\pm$ 0.54 a
	3	11.80 $\pm$ 0.63 a
	5	14.40 $\pm$ 0.32 b
	p-valor	0.0291
	C.V. (%)	0.58

*Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), según prueba de Tukey.*

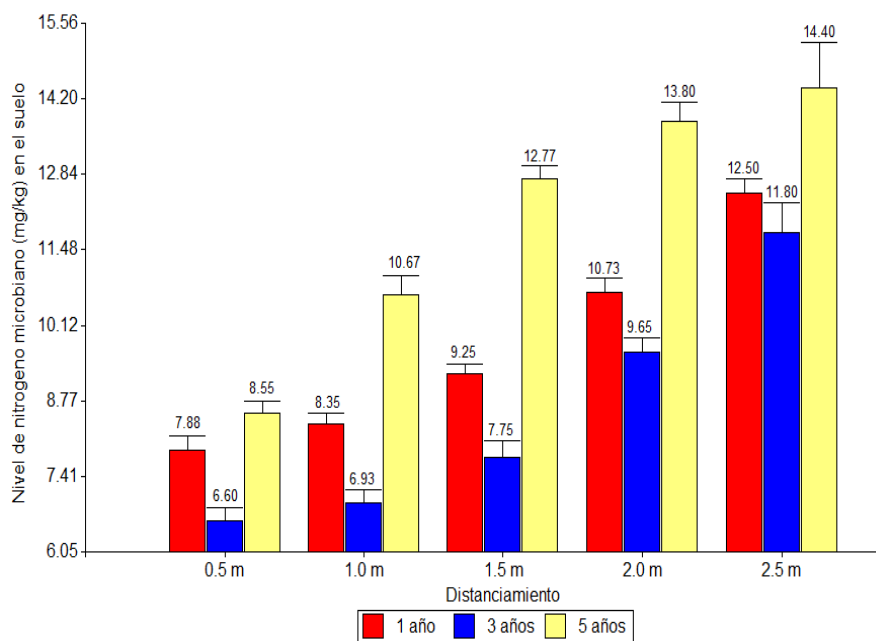


Figura 11. Distribución del nivel de nitrógeno microbiano (mg/kg) en los suelos con plantaciones de palma aceitera, según distancia respecto a la hilera de la palma aceitera de 1, 3 y 5 años de instalación.

La distribución espacial del nitrógeno microbiano (NM) en el primer, tercer y quinto año de instalación presentan una tendencia creciente hasta la última medición, a los 2.5 m (Figura 11).

No obstante, de la figura se observa dos grupos bien diferenciados, tal como clasificó la prueba estadística (comparador de medias) indicando que existe razones suficientes para aceptar diferencias significativa ( $p$ -valor  $\leq 0.05$ ) entre las medias ajustadas respecto a la distribución espacial del nitrógeno microbiano (NM) en el suelo entre el primer, tercer y quinto año de instalación en todos los distanciamientos en evaluación.

#### **4.2.3. Distribución del número de lombrices en los suelos con plantaciones de palma aceitera en edades de 1, 3 y 5 años de instalación.**

De los datos observados en relación a la distribución espacial del número de lombrices en el suelo, luego de realizar el análisis de varianza, estos solo presentaron diferencia significativa en los distanciamientos de 0.5 m y 1.5 m, respecto al eje de la palma aceitera; en tal sentido para poder responder la hipótesis planteada en la presente investigación, de que si a mayor tiempo de instalación de la palma aceitera, afecta positivamente en la distribución espacial de lombrices del suelo, se realizó la prueba Tukey para determinar las medias ajustadas.

Para la prueba estadística solo existe razones suficientes para aceptar diferencias significativa ( $p\text{-valor} \leq 0.05$ ) entre las medias respecto a número de lombrices entre el primer, tercer y quinto año en los distanciamientos de 0.5 m y 1.5 m de la hilera de la palma aceitera; con valores que van de  $14 \pm 0.32$  (lombrices) en el primer año y  $7 \pm 0.43$  (lombrices) en el quinto año a un distanciamiento de 0.5 m. De la misma manera a 1.5 m de distancia respecto a la palma aceitera se encontró valores que van de  $8 \pm 0.53$  (lombrices) en el primer año y  $12 \pm 0.24$  (lombrices) en el quinto año de instalación. Siendo mayor en promedio de número de lombrices en el quinto año de instalación. Por otra parte, para la prueba estadística los datos observados presentan coeficientes de variabilidad que van desde 6.53 a 16.65% indicando que son poco dispersos o muy homogéneos por lo que podemos concluir que la población en estudio es poco dispersa (Cuadro 11).

Cuadro 11. Numero de lombrices en los suelos con plantaciones de palma aceitera, según distancia respecto a la hilera de la palma aceitera de 1, 3 y 5 años de instalación.

Distanciamiento	Año de instalación	Numero de lombrices ( $u \pm e.e.$ )
0.5 m	1	14 $\pm$ 0.32 a
	3	16 $\pm$ 0.34 a
	5	7 $\pm$ 0.43 b
	p-valor	0.0001
	C.V. (%)	6.53
1.0 m	1	10 $\pm$ 0.12 a
	3	13 $\pm$ 0.33 a
	5	14 $\pm$ 0.35 a
	p-valor	0.2149
	C.V. (%)	12.04
1.5 m	1	8 $\pm$ 0.53 a
	3	9 $\pm$ 0.21 a
	5	12 $\pm$ 0.24 b
	p-valor	0.0454
	C.V. (%)	8.32
2.0 m	1	7 $\pm$ 0.24 a
	3	6 $\pm$ 0.42 a
	5	7 $\pm$ 0.42 a
	p-valor	0.8124
	C.V. (%)	8.57
2.5 m	1	6 $\pm$ 0.54 a
	3	7 $\pm$ 0.52 a
	5	7 $\pm$ 0.64 a
	p-valor	0.6123
	C.V. (%)	16.65

*Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas ( $p <= 0.05$ ), según prueba de Tukey.*

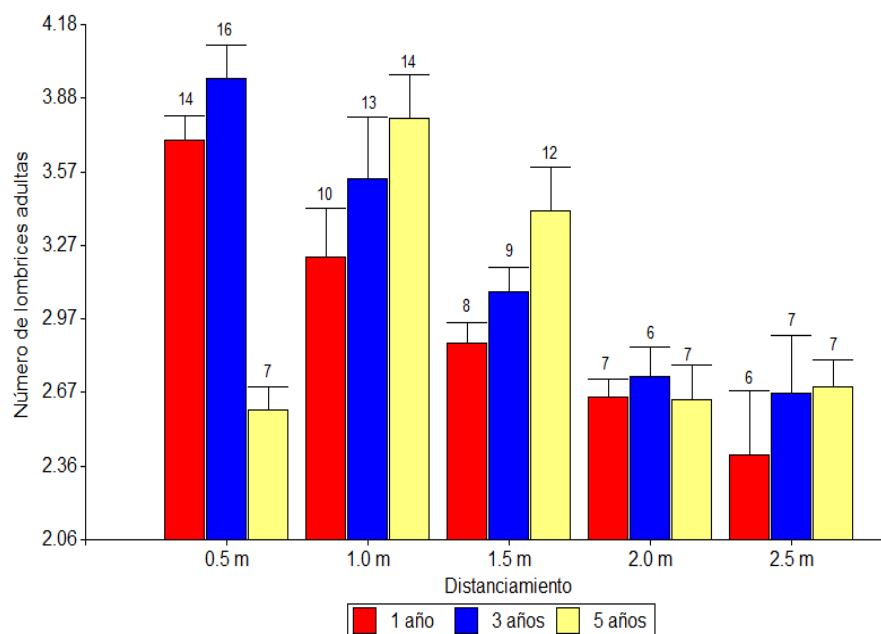


Figura 12. Distribución del número de lombrices en los suelos con plantaciones de palma aceitera, según distancia respecto a la hilera de la palma aceitera de 1, 3 y 5 años de instalación.

La distribución espacial del número de lombrices según la distancia respecto a la hilera de la palma aceitera de 1, 3 y 5 años de instalación presenta una tendencia descendente en el primer y tercer año de instalación (Figura 12), siendo mayor a los 0.5 m del eje de la palma aceitera, posteriormente empezando a declinar hasta la última medición, a los 2.5 m; sin embargo, por otra parte en el quinto año de instalación, el número de lombrices presentan una tendencia creciente hasta los 1.5 m, posteriormente descienden hasta la última medición, a 2.5 m de la palma aceitera

#### **4.3. Distribución de nutrientes en suelos con plantaciones de palma aceitera con edades de instalación de 1, 3 y 5 años y un suelo con macorilla.**

Estadísticamente para la prueba Tukey existió alta diferencia significativa ( $p$ -valor  $<0.0001$ ) para la reacción del suelo o pH, teniendo medias con valores que van desde 5.25 (Fuertemente ácido) a 6.90 (neutro), siendo menor en el suelo con macorilla y mayor en el suelo con palma aceitera de cinco años de instalación. De la misma manera, respecto al nivel de materia orgánica, para la prueba estadística existió diferencia significativa a un nivel de significancia del 95%, con medias ajustas que van desde un rango de 2.43% (contenido medio) para los suelos con macorilla e incrementando ligeramente de 3.10%, 3.53% y 3.61% (contenido medio) en los suelos de palma aceitera con 1, 3 y 5 años de instalación.

Del mismo modo para la prueba estadística existió diferencia significativa ( $p$ -valor=0.0101) entre las medias ajustadas para el nivel de nitrógeno en el suelo, ostentado valores mínimos (0.12%) para los suelos con macorilla, y con un comportamiento creciente a medida que se incrementa el año de instalación de la palma aceitera (0.15% y 0.18%); caracterizándose todos estos suelos con niveles medios de nitrógeno en el suelo. Para el nivel de fósforo disponible (ppm) de acuerdo a la prueba estadística muestra que existió diferencia significativa ( $p$ -valor=0.0033), observándose valores de 15.40 ppm (nivel normal) para los suelos con macorilla; por otro lado 24.15 ppm, 18,25 ppm y 14.95 ppm respectivamente para los suelos con palma aceitera de

1, 3 y 5 años de instalación. En relación al nivel de potasio disponible ( $\text{kg/ha}^{-1}$ ), la prueba estadística muestra que no existe diferencia significativa ( $p\text{-valor}=0.7842$ ) entre las medias ajustadas del nivel de potasio de los suelos en estudio; sin embargo estos se caracterizan en ostentar niveles bajo de este nutriente en el suelo (Cuadro 14).

Cuadro 12. Distribución de nutrientes en suelos con plantaciones de palma aceitera con edad de instalación de 1, 3 y 5 años y un suelo con macorilla

Variables	Uso actual de tierras				p - valor
	1 año	3 años	5 años	Macorilla	
pH	6.22 ± 0.37 a	6.67 ± 0.3 a	6.90 ± 0.37 a	5.25 ± 0.3 b	<0.0001
M.O (%)	3.10 ± 0.32 a	3.53 ± 0.66 a	3.61 ± 0.32 a	2.43 ± 0.66 b	0.0109
N (%)	0.15 ± 0.01 a	0.18 ± 0.03 a	0.18 ± 0.01 a	0.12 ± 0.03 b	0.0101
P (ppm)	24.15 ± 2.07 a	18.25 ± 2.5 a	14.95 ± 2.07 a	15.40 ± 2.5 a	0.0033
K <sub>2</sub> O (kg/ha)	172.89 ± 59.7 a	148.72 ± 89.8 a	165.09 ± 59.7 a	155.85 ± 89.8 a	0.7842
CIC	27.36 ± 0.81 a	34.16 ± 1.6 a	42.58 ± 0.81 b	40.86 ± 11.6 b	<0.0001
CM (mg/kg)	169.88 ± 0.12 a	145.60 ± 0.12 b	160.23 ± 0.12 c	139.45 ± 10.1 b	<0.0001
NM (mg/kg)	9.74 ± 0.13a	8.55 ± 0.24 a	12.04 ± 0.13b	6.86 ± 0.24 c	<0.0001

*Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), según prueba de Tukey.*

Para el contenido el nivel de capacidad de intercambio catiónico (Cuadro 14) la prueba estadísticamente refiere que existe alta diferencia significativa ( $p\text{-valor}<0.0001$ ) entre las medias ajustadas; encontrándose valores que van desde 27.36 y 34.16 (meq/100 gr de suelo) para los suelos con 1 y 3 años de instalación de palma aceitera.

Referente al carbono microbiano en el suelo se encontró alta diferencia significativa ( $p\text{-valor}<0.0001$ ) con promedios que van desde  $169.88\pm 0.12$  mg/kg en el primer año a  $141\pm 10.1$  mg/kg en el quinto año de instalación; así mismo los suelos con macorilla ostentan niveles promedios de  $139.45\pm 10.1$  mg/kg, siendo estos los más bajos.

Finalmente respecto al nitrógeno microbiano, se encontró alta diferencia significativa ( $p\text{-valor}<0.0001$ ) con promedios que van desde  $9.74\pm 0.13$  mg/kg en el primer año a  $12.04\pm 0.13$  mg/kg en el quinto año de instalación; así mismo los suelos con macorilla ostentan niveles promedios de  $6.86\pm 0.24$  mg/kg, siendo estos últimos los más bajos.

## **V. DISCUSIÓN**

### **5.1. Evaluación del efecto de la palma aceitera sobre la distribución espacial de nutrientes en suelos con instalación de palma aceitera con edades de 1, 3, 5 años.**

#### **5.1.1. Distribución del rango de pH en los suelos con plantaciones de palma aceitera con edades de 1, 3 y 5 años de instalación.**

Para la prueba tukey solo se encontró diferencias significativas entre el primer, tercer y quinto año de instalación respecto a 0.5 m y 2 m de distancia de la palma aceitera. De la distribución espacial del pH se tuvo que en el primer año, los rangos de pH aumentan hasta los 1.5 m, luego empieza a declinar hasta la última medición, a los 2.5 m. mientras que en el tercer año el pH desciende abruptamente hasta los 2.0 m, presentando un ligero incremento en la última medición (2.5 m). En el quinto año de instalación el rango de pH aumenta conforme se aleja de la palma aceitera hasta 1.0 m, luego empieza a descender hasta 1.5 m, posteriormente ascendiendo a los 2.0 m, para finalmente descender hasta la última medición, a los 2.5 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, percolándose a través del perfil del suelo. El 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). Al respecto de la distribución espacial del pH en los suelos para las tres etapas de instalación este tiene a incrementarse hasta 1.5 m respecto al eje del cultivo, 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  $\text{Ca}^{2+}$  con respecto al  $\text{Mg}^{2+}$  el pH tiende a aumentar. Así mismo es indispensable considerar que hasta 1.5 m de distancia se refleja un mayor aporte de la materia orgánica en el suelo, disminuyendo a medida que se aleja de la palma aceitera.

#### **5.1.2. Distribución del nivel de materia orgánica (%) en los suelos con plantaciones de palma aceitera con edades de 1, 3 y 5 años de instalación.**

Para la prueba tukey no existe razones suficientes para aceptar diferencias significativa entre las medias en relación al contenido de materia orgánica (%) entre el primer, tercer y quinto año de instalación respecto a los distanciamientos en estudio. Sin embargo, en el primer y quinto año de instalación los niveles de materia orgánica en el suelo aumentan conforme se aleja del árbol hasta una distancia de 1.5 m, luego empieza a declinar hasta la última medición, a los 2.5 m, por otra parte en el tercer año de instalación aumenta hasta una distancia de 2.0 m, luego empieza a declinar hasta la última medición (2.5 m). Al respecto 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. De nuestros resultados se evidenció mayor acumulación de materia orgánica a hasta 1.5 m de la palma aceitera, disminuyendo posteriormente (hasta 2.5 m); este comportamiento se asume al materia vegetal pos cosecha que es acumulado por los agricultores, tal como lo mencionado el autor, esto presenta un efecto positivo en la incorporación de la materia orgánica al suelo, supliendo los requerimientos de la planta, sin embargo a medida que se incrementa la distancia respecto a la palma aceitera, este nutriente tiende a disminuir debido a que no se realizan aportes de enmiendas orgánicas.

### **5.1.3. Distribución del nivel de nitrógeno (%) en los suelos con plantaciones de palma aceitera en edades de 1, 3 y 5 años de instalación.**

De los datos observados respecto a la distribución espacial del nivel de nitrógeno (%) en el suelo, para el análisis de varianza, estos no presentaron diferencia significativa a un nivel de significancia del 95%. Sin embargo entre las medias ajustadas en relación al nivel de nitrógeno entre el primer, tercer y quinto año de instalación de la palma aceitera. Sin embargo se tiene que en el primer y quinto año de instalación los niveles de nitrógeno aumentan conforme se aleja de la palma aceitera hasta una distancia de 1.5 m, luego empieza a declinar hasta la última medición, a los 2.5 m; no obstante por otra parte en el tercer año de instalación aumenta hasta una distancia de 2.0 m, luego empezando a declinar hasta la última medición (2.5 m). Al respecto NYAMAI (1992) refiere que existe una relación directa entre la velocidad de degradación de la materia orgánica con el incremento de los nutrientes en el suelo. De los resultados en la presente investigación se coincide con lo

mencionado por el autor, 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 palma aceitera. De la misma manera BROSS *et al.* (1995) y PALM y SÁNCHEZ (1990) indican que sus resultados demostraron esta misma relación. Por su parte AYARZA *et al.* (1994) refiere que en un pastizal, a pesar que existe nitrógeno proveniente de la excreción del animal, la mayor contribución es por parte de la descomposición de los residuos vegetales, en este caso los restos pos cosecha del cultivo de palma aceitera es la principal fuente de aporte de este nutriente en el suelo.

#### **5.1.4. Distribución del nivel de fósforo (ppm) en los suelos con plantaciones de palma aceitera en edades de 1, 3 y 5 años de instalación.**

Para la prueba tukey solo existe razones suficientes para aceptar diferencias significativa entre las medias ajustadas correspondiente al nivel de fósforo (ppm) entre el primer, tercer y quinto año de instalación correspondiente a 0.5 m y 2.5 m de distancia; con valores que van desde 11.50 ppm a 32.75 ppm a un distanciamiento de 0.5 m; y 12.25 ppm a 30.00 ppm a un distanciamiento de 2.5 m. Así mismo en el primer año de instalación los niveles de fósforo (ppm) en el suelo disminuyen conforme se aleja de la palma aceitera hasta una distancia de 1.5 m, luego asciende hasta la última medición, a los 2.5 m. Por otro lado, en el segundo año de instalación, los niveles de fósforo haciende hasta una distancia de 1.0 m, posteriormente empieza a declinar

hasta la última medición (2.5 m). En contra parte, en el quinto año de instalación, los niveles de fósforo (ppm) aumentan conforme se aleja de la palma aceitera hasta una distancia de 1.5 m, luego emprende a declinar hasta la última medición, a los 2.5 m.

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 de poda, ya que es en los puntos cercanos al árbol (1.0-1.5 m) donde se depositó la mayoría del material podado. Por su parte, la distribución espacial del fósforo en la presente investigación, ostenta niveles altos a 1.5 m, disminuyendo posteriormente a medida que se aleja del eje de la palma aceitera, corroborando lo encontrado por el autor; este comportamiento se atribuye al aporte de residuos de pos cosecha de la palma aceitera que son acumulados.

#### **5.1.5. Distribución del nivel de potasio (kg/ha) en los suelos con plantaciones de palma aceitera en edades de 1, 3 y 5 años de instalación.**

Para la prueba estadística (comparador de medias) solo existe razones suficientes para aceptar diferencias significativa ( $p$ -valor  $\leq 0.05$ ) entre las medias ajustadas correspondiente al nivel de potasio entre el primer, tercer y quinto año de instalación correspondiente a 1.5 m de distancia. De acuerdo a los valores observados en el primer y quinto año de instalación; los niveles de potasio (kg/ha) en el suelo aumentan conforme se aleja de la palma aceitera

hasta una distancia de 1.0 m, luego empieza a declinar hasta la última medición, a los 2.5 m; sin embargo, en el tercer año de instalación, los niveles de potasio disminuyen conforme se aleja de la palma aceitera hasta una distancia de 1.5 m, luego asciende hasta la penúltima medición, disminuyendo finalmente en la última medición, a los 2.5 m. 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 palma aceitera, 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 (por ejemplo los racimos de fruta fresca). Es por ello que la palma aceitera asimila el potasio en grandes cantidades debido a la necesidad de este nutriente, viéndose reflejado en la distribución espacial, que a pesar de amontonarse residuos pos cosecha y aplicar enmiendas (Súper fosfato triple de potasio) los niveles de potasio encontrados en el suelo de las tres etapas de instalación es muy bajo.

#### **5.1.6. Distribución del nivel de la capacidad de intercambio catiónico (meq/100 g) de los suelos con plantaciones de palma aceitera en edades de 1, 3 y 5 años de instalación.**

Para la prueba tukey solo existe razones suficientes para aceptar diferencias significativas entre las medias ajustadas respecto a la capacidad de intercambio catiónico entre el primer, tercer y quinto año de instalación a un distanciamiento de 0.5 m, 2.0 m y 2.5 m de distancia del eje del árbol. De ello,

en el primer y tercer año de instalación los niveles de la capacidad de intercambio catiónico en el suelo aumentan conforme se aleja del árbol hasta una distancia de 1.0 m, luego empieza a declinar hasta la última medición, a los 2.5 m; sin embargo por otra parte en el tercer año de instalación aumenta hasta una distancia de 1.5 m, luego empieza a declinar hasta la última medición (2.5 m). De acuerdo a los niveles de CIC encontrados, estos se definen en niveles altos; por lo que la distribución espacial respecto a esta variable muestra una relación directa con el contenido de materia orgánica en el suelo de tres etapas en investigación.

## **5.2. Efecto de la palma aceitera sobre la biomasa microbial, cantidad y número de oligoquetos en suelos con instalación de palma aceitera con edades de 1, 3, 5 años.**

### **5.2.1. Distribución del carbono microbiano en los suelos con plantaciones de palma aceitera en edades de 1, 3 y 5 años de instalación.**

No se encontró diferencias significativas entre el primer, tercer y quinto año de instalación en todos los distanciamientos en evaluación; por otra parte la distribución espacial del CM en el primer y quinto año de instalación presenta una tendencia creciente hasta una distancia de 2.0 m, luego empieza a declinar hasta la última medición, a los 2.5 m; no obstante, por otra parte en el tercer año de evaluación presenta una tendencia creciente hasta la última medición, a 2.5 m de la palma aceitera. HENROT y ROBERTSON (1994) determinaron que después de realizar la remoción de una cobertura de árboles

y arbustos de 20 años, aumenta la cantidad de biomasa microbiana, pero esta disminuye hasta un 35% de su valor original luego de dos años.

Por su parte VAN VEEN et al. (1989) menciona 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. De los resultados en la presente investigación se deduce que la mayor cantidad de biomasa microbiana encontrado en los suelos de palma aceitera (primer año) se debe a la poca intervención antropogénica que sufrió este ecosistema, sin embargo la disminución en el tercer año se debe a los microorganismos que degradan a los restos orgánicos del suelo, por otra parte en el quinto año puede corresponder a un equilibrio o restablecimiento del ecosistema suelo.

CAMPBELL y BIEDEBECK (1982) refiere que 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. De la distribución espacial se observó que existe niveles máximo a 1.5 m, de distancia respecto a la palma aceitera, disminuyendo a mayor distancia, este comportamiento se atribuyen a la acumulación de restos orgánicos (pos cosecha) de la palma aceitera.

MAZZARINO et al. (1993) indica que factores como la cobertura vegetal, la fertilización, el origen de los suelos y las fluctuaciones climáticas afectan el desarrollo de la actividad microbial.

### **5.2.2. Distribución del nitrógeno microbiano en los suelos con plantaciones de palma aceitera en edades de 1, 3 y 5 años de instalación.**

La prueba tukey mostró diferencias significativas entre el primer, tercer y quinto año de instalación de la palma aceitera en todos los distanciamientos en evaluación. La distribución espacial del nitrógeno microbiano (NM) en el primer, tercer y quinto año de instalación presentan una tendencia creciente hasta la última medición, a los 2.5 m.

TORRES (1995) reportó mayor cantidad de nitrógeno microbiano en *B. humidicola* y *D. ovalifolium* que en una pastura con solo *B. brizantha*; los mayores niveles de biomasa microbiana está asociado a la densidad del suelo producto de la compactación a la que están sometidas algunas pasturas, repercutiendo en la actividad microbiana al dificultar su movilidad para actuar en el sustrato. Por su parte UMAÑA (1996) reporta los mayores niveles de carbono y nitrógeno microbiano para el bosque primario (1032.8 mg C/kg). Por otro lado, no encontró diferencia estadísticas entre los sistemas *B. brizantha* y *Arachis pintoi* y *B. brizantha* con *Erythrina berteroana*, teniendo 730.6 y 840.3 mgC/kg respectivamente. Estos altos niveles de biomasa microbiana se atribuyen a la composición de restos orgánicos del ecosistema bosque, a diferencia de los suelos con palma aceitera (suelos descubiertos). Así mismo a las bacterias y hongos (microorganismos) que atacan con mayor rapidez los residuos orgánicos existentes en el suelo, liberando en el proceso CO<sub>2</sub> a la atmósfera y produciendo variaciones en el nitrógeno total del suelo.

### **5.2.3. Distribución del número de oligoquetos en los suelos con plantaciones de palma aceitera en edades de 1, 3 y 5 años de instalación.**

Existió diferencias significativa entre las medias respecto a número de lombrices entre el primer, tercer y quinto año en los distanciamientos de 0.5 m y 1.5 m de la hilera de la palma aceitera; Siendo mayor el promedio de número de lombrices en el quinto año de instalación. Por otra parte, la distribución espacial del número de lombrices según la distancia respecto a la hilera de la palma aceitera presenta una tendencia descendente en el primer y tercer año de instalación siendo mayor a los 0.5 m del eje de la palma aceitera, posteriormente empezando a declinar hasta la última medición, a los 2.5 m; sin embargo, por otra parte en el quinto año de instalación, el número de oligoquetos presentan una tendencia creciente hasta los 1.5 m, posteriormente descienden hasta la última medición, a 2.5 m de la palma aceitera.

FRAGOSO y LAVELLE (1992) refieren que los factores que afectan jerárquicamente en la cantidad de lombrices en los suelos son: la temperatura, nutrientes en el suelo y los factores estacionales (lluvias, sequías). La distribución espacial de los oligoquetos en los suelos de palma aceitera en las tres etapas de instalación concuerda con lo mencionado por el autor, debido a que la cantidad de lombrices es mayor a 1.5 m, de distancia, posteriormente disminuyendo a medida que se aleja de la palma. Este comportamiento se atribuye al mayor aporte de residuos orgánicos (material pos cosecha) acumulados en esta distancia, mejorando las condiciones ambientales del

suelo (humedad, textura) e incorporación de materia orgánica que sirve como alimento para estos organismos.

Los oligoquetos de tierra modifican la biomasa microbiana, afectando en consecuencia a la estructura de las comunidades de la microflora y de la microfauna (DOMÍNGUEZ *et al.*, 2003; LORES *et al.*, 2006). De los datos observados en la presente investigación, estos son directamente proporcionales de acuerdo a las variables en estudio (materia orgánica, nitrógeno, biomasa microbiana y número de oligoquetos) encontrándose equilibrio de estos a 1.5 m de distancia respecto al eje de la palma aceitera. Tal como lo menciona AIRA *et al.* (2008) refiriendo que la actividad directa de los oligoquetos aumenta significativamente la mineralización del carbono y nitrógeno en el sustrato, y tales efectos son proporcionales a la densidad de lombrices.

### **5.3. Distribución de nutrientes en suelos con plantaciones de palma aceitera con edad de instalación de 1, 3 y 5 años y un suelo con macorilla.**

Existió diferencia significativa para la reacción del suelo o pH con valores que van desde 5.25 (Fuertemente ácido) a 6.90 (neutro), siendo menor en el suelo con macorilla y mayor en el suelo con palma aceitera de cinco años de instalación. De la misma manera, respecto al nivel de materia orgánica existió diferencia significativa con medias ajustas que van desde un rango de 2.43% (contenido medio) para los suelos con macorilla e incrementando ligeramente de 3.10%, 3.53% y 3.61% (contenido medio) en los suelos de

palma aceitera con 1, 3 y 5 años de instalación. Del mismo modo respecto al nivel de nitrógeno existió diferencia significativa ostentando valores mínimos (0.12%) para los suelos con macorilla, y con un comportamiento creciente a medida que se incrementa el año de instalación de la palma aceitera (0.15% y 0.18%) caracterizándose todos estos suelos con niveles medios de nitrógeno en el suelo.

Para el nivel de fósforo disponible (ppm) existió diferencia significativa observándose valores de 15.40 ppm (nivel normal) para los suelos con macorilla; por otro lado 24.15 ppm, 18,25 ppm y 14.95 ppm respectivamente para los suelos con palma aceitera de 1, 3 y 5 años de instalación.

En relación al nivel de potasio disponible ( $\text{kg/ha}^{-1}$ ), existe diferencia significativa sin embargo estos se caracterizan en ostentar niveles bajo de este nutriente en el suelo.

Para el nivel de capacidad de intercambio catiónico existe alta diferencia significativa entre las medias ajustadas; encontrándose valores que van desde 27.36 y 34.16 (meq/100 gr de suelo) para los suelos con 1 y 3 años de instalación de palma aceitera, siendo menor en los suelos con macorilla. Referente al carbono microbiano en el suelo se encontró alta diferencia significativa con promedios que van desde  $169.88 \pm 0.12$  mg/kg en el primer año a  $141 \pm 10.1$  mg/kg en el quinto año de instalación; así mismo los suelos con macorilla ostentan niveles promedios de  $141.45 \pm 10.1$  mg/kg, siendo estos los más bajos.

Finalmente respecto al nitrógeno microbiano existe alta diferencia significativa con promedios que van desde  $9.74 \pm 0.13$  mg/kg en el primer año a  $12.04 \pm 0.13$  mg/kg en el quinto año de instalación; así mismo los suelos con macorilla ostentan niveles promedios de  $6.86 \pm 0.24$  mg/kg.

SURRE y ZILLER 81969) refiere que el suelo cumple una importante labor en las explotaciones de palma, las mejores plantaciones crecen en suelos en donde no existen impedimentos físicos, químicos o biológicos, para un buen desarrollo del sistema radical. La gran mayoría de las plantaciones de palma aceitera instaladas en el sector Palmeras (distrito de Nuevo Progreso) se instalaron en suelos con presencia de especies indicadoras de suelos degradados como es el caso de la macorilla, sin embargo, la palma aceitera ha prosperado a pesar de haber sido instalada en suelos con bajos contenidos de nutrientes. De acuerdo a los datos observados, las propiedades químicas evaluadas presentan un efecto positivo, estadísticamente para el comparador de medias (prueba tukey) existe diferencia significativa positiva de los suelos con palma aceitera sobre los suelos con macorilla. Por su parte PARAMANANTHAN (2003) refiere que el grado de rusticidad de la palma aceitera, permite su adaptación a una amplia gama de condiciones agroecológicas con diversidad de suelos.

## VI. CONCLUSIONES

1. Estadísticamente la palma aceitera no afecta en la distribución espacial de nutrientes, sin embargo numéricamente se observa un ligero incremento de los nutrientes hasta 1.5 m de distancia de la hilera de la palma aceitera, disminuyendo a medida que se aleja, a los 2.5 m.
2. El carbono microbiano en el primer y quinto año presentó una tendencia creciente hasta una distancia de 2.0 m, luego declinando hasta la última medición, a los 2.5 m; no obstante el tercer año presentó una tendencia creciente hasta la última medición de la hilera de la palma aceitera. Por su parte la distribución espacial del nitrógeno microbiano (NM) en el primer, tercer y quinto año de instalación presentó una tendencia creciente hasta la última medición. El número de oligoquetos presentó una tendencia descendente en el primer y tercer año siendo mayor a los 0.5 m de distancia respecto al eje de la palma aceitera, posteriormente empezando a declinar hasta la última medición. Sin embargo el quinto año de instalación presentó una tendencia creciente hasta 1.5 m, posteriormente descienden hasta la última medición.
3. Los suelos con palma aceitera presentaron diferencias significativas positivas en las propiedades químicas (pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, CIC) y biológicas (biomasa microbiana) respecto a los suelos con macorilla.

## **VII. RECOMENDACIONES**

1. Recolectar datos en diferentes estaciones del año, épocas de producción de biomasa y nutrientes en las hojas y tallos, complementarían la información obtenida a nivel de suelo.
2. Es importante analizar el efecto de las raíces y de los diferentes componentes del suelo (microorganismos), ya que en los suelos juegan un papel importante en la disponibilidad del nutriente en la solución de intercambio.
3. 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.

**"DISTRIBUTION OF NUTRIENTS , MICROBIAL BIOMASS AND DENSITY OF SOILS oligochaete INSTALLATION WITH DIFFERENT AGES PALM OIL**

**(*Elaeis guineensis* )"**

**VIII. ABSTRACT**

The research was conducted in four plots of agricultural plant oil palm cultivation with 01, 03 and 05 years of installation and degraded land plot (macorilla), located in politically sector Palmeras, district Nuevo Progreso, province Tocache, region San Martin. In order to determine the distribution of nutrients, microbial biomass and oligochaete. To determine the microbial biomass and density oligochaete the methodology employed by Anderson and Ingram (1993) was used. For each sample plot with trees 30 cm deep were taken on a transect of 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 and 2.5 meters of oil palm trees. Regarding the spatial distribution Tukey test for significant difference for pH (0.5 and 2.0 m away); phosphorus (0.5 to 2.5 m away); potassium (1.5 m away) CIC (0.5 and 2.0 m away) and Oligochaeta density (0.5 to 1.5 m away); however significant difference in all spacings in evaluation for microbial carbon and nitrogen. Also the behavior of nutrients indicates that in the years of assessment nutrients tend to increase up to 1.5 m, approximately, then begins to decline until the last measurement, the 2.5 m. Finally floors with one, three and five years of installation of oil palm showed positive significant difference in the chemical properties (pH, organic matter, nitrogen, phosphorus, potassium, CIC) and biological (microbial biomass) for soils with macorilla.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, M. 1977. Introduction to soil microbiology. 2 ed. New York, Wiley, 472 p.
- ABARCA, E. 1997. Changes in mineral N and number of bacteria and actinomycetes during two year under wheat fallow in southwestern Saskatchewan. Canadian Journal of Soil Science. 125 p.
- AIRA, L; RUSSO, R; BOTERO, B. 2008. El componente arbóreo como recurso forrajero en los sistemas silvopastoriles. Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda, EARTH, San José, Costa Rica. 36 p.
- AIRA, T; DOMINGUEZ, T. 2009. Growth, production and carbon sequestration of silvopastoral systems with native timber species in the dry lowlands of costa rica. plant and Soil, 308 p.
- ANDERSON, T; INGRAM, J. 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.
- BOUCHE, R. 1977. Experiencias sobre recuperación de áreas degradadas con pasturas en el trópico húmedo. In CA Duran, J.G. Salinas, R. Schaus (eds.) Talleres sobre establecimiento pasturas en la selva Peruana. (1987, Cali, CoL) .. [Memorias]INIAA-IVITA-CIAT, Col. 161 p.
- BROOKES, P; LANDMAN, A; PRUDEN, G; JENKINSON, D. 1985. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method for measuring microbial nitrogen in soil. *Soil Biology*. 17 p.
- BROSS, E; GOLO, M; 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.
- CARVALHO, M. 1997 . Melhoramento de fertilidade do solo com pastagem de *Brachiaria decumbens* asociada con leguminosas arbóreas. *Rev. Pasturas Tropicales*. 25 p.
- CIAT. 1989. Informa Anual. Programa de Pastos Tropicales; Sección de Fijación y Reciclaje de Nitrógeno. 432 p.
- COLE, O.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, J. 1993. Nitrogen mineralization patterns of leaftwig mixtures from tropical leguminous trees. *Agroforestry Systems* 223 p.
- COOPERBAND, 1992. Total nitrogen analysis 01 soil and plant tissues. *Journal 01 the Association 01 Official Analytical Chemists (EE.UU.)* 78 p.
- CHARLEY, JL; RICHARDS, B.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.
- CHINCHILLA y DURAN, 1997. Problems of shade in tea. *Tea and Rubber Mail*, Oec. 15th. 48 p.
- CURRY, K. 1986. Cornpatibility, persisten ce and productivity of grass-legurne mixtures for sustainable animal production in the Atlantic Zone of Costa Rica. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen. The Netherlands. 129 p.
- DOMINGUEZ, T; BROOKES, P; JENKINSON, D. 2004. Effects 01 earth worms and ryegrass on respiratory and enzyrne activities 01 soils. *Soil Biology and Biochemistry* 587 p.
- DUXBURY, J; SMITH, M; DORAN, J; JORDAN, C; SZOTT,L; VENCE, E. 1996. 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 p. 33 p.

- EDWARDS, E; BOHLEN, T. 1996. Eleito de sucessoes de culturas e tipo de adubacao na densidad e, populacao e atividade rnicrobiana do solo. Revista Brasileira de Ciencia do Solo. 203 p.
- ETHERINGTON, J. 1982 .. Environmental and plant ecology. Chichester, U.K.Willey. 487 p.
- FAO 2007. Ganadería y deforestación. Políticas Pecuarias – 3. Disponible en línea: (<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a0262s/a0262s00.pdf> Consultado el 01 de Noviembre de 2014.)
- 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.
- FINEGAN, B. 1996. La descomposición en ecosistemas terrestres. Tema#5. Apuntes de clases. 11 p.
- FRAGOSO, C; LAVELLE, P. 1992. Earthworm communities of tropical rain forests. Soil Biology and Biochernistry 408 p.
- GLOVER, N; BEER. J. 1986. Nitrogen cycling in two traditional Central Arnerican agroforestry systems. Agroforestry Systems 87 p.
- HENROT, J; ROBERTSON, G. 1994. Vegetation renoval in two soil of the hurnid tropics: Effect on microbial biornass. Soil Biology and Biochernistry. 116 p.

- IMBACH, A. 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.
- INRENA 1976. Mapa Ecológico del Perú (guía explicativa). Oficina Nacional de Evaluación d los Recursos Naturales. Lima, Perú. 146 p.
- SENAMHI. 2012. Boletín regional del SENAMHI. Ministerio del Ambiente. Análisis estadístico. Año IX, número 12. Huánuco, Perú. 17 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.
- LAVELLE, B; PASHANAKI, H. 1989. The development of alley cropping as a promising agroforestry technology. In HA Stepler, P-K. Nair (eds.). Agroforestry: a Decade of Development. International Center for Research on Agroforestry, Nairobi 243 p.
- LADD, J; AMATO, M; ZHOU U-KAI; SHULTZ, J. 1994. Differential effects of rotation, plant residue and nitrogen fertilizer on microbial biomass and organic matter in an Australian alfisol. Soil Biology and Biochemistry (GB.) 26(7) 831 p.

- LAVELLE, P; SPAIN, G. 2001. Soil macrolauna and land management in the Peruvian Amazon (Yurimaguas, Loreto). *Pedobiologia (Alemania)*. 33 p.
- LAVELLE, P.; SWIFT, M; OTER, J. 1997. 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.
- LORES, Y; HARMAND, H; BLANCHART, E; SKIBA, U; HÉNAULT, C. 2006. Changes in carbon stock and greenhouse gas balance in a coffee (*Coffea arabica*) monoculture versus an agroforestry system with *Inga densiflora*, in Costa Rica. 110 p.
- MAGFOR, F. 2005. Concept, components, and strategies of soil health in agroecosystems. *Journal of Nematology* 33(4):169-172. 28 p.
- MAZZARINO, M; SZOTT, L; JIMENEZ, M. 1993. 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. 1994. Recent considerations of grassland "soil quality" in temperate regions .. In *International Grassland Congress (1993, Palmerston North, New Zealand)*. [Congreso]. N.I. 418 p.
- MEENTEMEYER, V. 1978. Macroclimate and lignin control of litter decomposition rates. *Ecology*. 59 p.
- MOORE, J; ASCATELLI, K; AREVALO, L; SONCCO, C. 2004. Manual de laboratorio para análisis físicoquímico de suelos. ICRAF. Lima, Perú. 56 p.

- NYGREN, Q. 1995. Carbon dynamics in managed tropical pastures: the effect of stocking rate on soil properties and on above and below ground carbon inputs. Ph-D. Thesis. Raleigh, NC. North Carolina State University. 175 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. Decomposition and nutrient release patterns of the leaves of three tropical legumes. Biotropica 222 p.
- PANIAGUA, Q. 1991. Soil phosphorus dynamics in a Humid Tropical silvopastoral system. PhD. Thesis, Ohio, Ohio State University, U.S. 400 p.
- PARAMANANTHAN, H. 2003. Tecnología para la Producción de Palma de Aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en México. INIFAP. Libro Técnico No. 4. Veracruz, México. 177p.
- PEZO, D; IBRAHIM, M; REKS, T. 1992. Sistemas silvopastoriles: Módulo de enseñanza agroforestal No. 2. 2 ed. Turrialba, CR, CATIE. 79 p.
- PROYECTO ESPECIAL ALTO HUALLAGA (PEAH). 2012. Estudio de suelos del distrito Luyando – proyecto de reforestación con fines de recuperación de suelos degradados - 1300 has. Proyecto Especial alto Huallaga. Informe final – Direst - Peah. Tingo María, Perú. 125 p.
- SÁNCHEZ, M; SALINAS, E. 1983. Agroforestería pecuaria en América Latina. En: Agroforestería para la producción animal en América Latina. Edit. D.M Sánchez y M. Rosales. FAO. Roma. 10 p.

- SZOTT, L. T; FERNANDES, E; SANCHEZ, P. 2000. Soil-plant interactions in agroforestry Systems. Forest ecology and Management. 152 p.
- SPRENT, J. 1983. Agricultural and horticultural systems: Implications in forestry In JCo Gordon, CT Wheeler (edso)o Biochemichal Nitrogen Fixation in Forest: Foundations Nihjoff/Junko The Hagueo TheNetherlands. 320 p.
- SURRE y ZILLER, 1969. International standarization of soil quality measurements. In Soil and plant analysis in sustainable agriculture and environment. Eds. Hood, TM; Jones, Jr, JB. 864 p.
- SWIFT, M; RUSSELL-SMITH, A; PERFECT, T. 1981. Decomposition and mineral nutrient dynamics of plant litter in a regenerating bush-fallow in subhumidropical Nigerialo Journal of Ecologyo 995 p.
- ROAS, L; CAIMS, L; PINZON, F; REYNEL, C. 1982. Árboles útiles de la Amazonía peruana y sus usos. Manual de identificación ecológica de las especies. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. 509p. [En línea]: (<http://www.scribd.com/doc/17139180/caracteristicas-fenologicas-> , documento 24 de Jun 2011).
- RUIZ, M. 1983. Avances en la investigación en sisternas silvopastoriles. In L. Babbar (ed.). Curso corto intensivo Agroforestal (1983, Turrialba, CR.) Turrialba, CR, CATIE. s.p. ) 321 p.
- TIAN, G; GRUSSAARD, L; KANG, B. 1995 Breakdown of plant residues withcontrasting chemical compositions under humrid tropical conditions: Effects of earthworms and rnillipedeso Soil Biology and Biochernistryo 297 p.

- TIAN, G. 1997 Effect of mulch quality on earthworm activity and nutrient supply in the humid tropics. *Soil Biology and Biochemistry* .29(3/4): 369 p.
- TORRES, M. 1995. Características físicas, químicas y biológicas en suelos bajo pasturas de *Brachiaria brizantha* sola y en asociación con *Arachis pintoi*. Costa Rica Tesis MagoSco Turrialba, CR, 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, University. 421 p.
- UMAÑA, C. 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.
- SWIFT, R; VANCE, E; BROOKES, P.; JENKINSON, D. 1979. An extraction method for measuring soil microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry* (GB» 19 (6): 70 p.
- VAN VEEN, J.; ELSAS, J; KTER, T. 1986. Impact of soil structure on the activity and dynamics of the soil microbial population .. In Megus'ar (ed.) Perspectives in Microbial Ecology> International Symposium on Microbial Ecology Malinska Knjiga, Ljubljanao ppo 481 p.
- WILD, D; WILSON, J; STUR, W; SHELTON, H. 1994. Shading increases yield of nitrogen-limited tropical grasso In International Grassland Congress, North, New Zealand Grassland Society of Australia/New Zealand Society of Animal Production fAustralian Society of Animal Productionf New Zealand Institute of Agricultural Science. 62 p.

**ANEXO**

## Anexo 1. Actividades de campo y laboratorio



Figura 13. Parcela con instalación de palma aceitera de 5 años de instalación.



Figura 14. Demarcación del área de estudio



Figura 15. Ubicación de puntos de muestreo



Figura 16. Establecimiento de puntos de muestreo



Figura 17. Muestreo de suelo de la parcela con 3 años de instalación de palma



Figura 18. Mullido de muestras de suelo



Figura 19. Determinación de pH del suelo



Figura 20. Pesado de muestras para análisis químico



Figura 21. Determinación de la materia orgánica



Figura 22. Determinación de fósforo del suelo