

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
DEPARTAMENTO ACADEMICO DE CIENCIAS EN CONSERVACIÓN DE
SUELOS Y AGUA



CUANTIFICACIÓN DE LA MACROFAUNA EN RELACIÓN CON LAS
PROPIEDADES DE LOS SUELOS RESIDUALES DE LA LAGUNA LOS
MILAGROS - AUCAYACU

TESIS

Para optar el título de:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
MENCIÓN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

Presentado por:

EDUARDO JOSÉ CAMAYO SALAZAR

PROMOCIÓN: 2006 – II

"Jóvenes Unasinos competentes y Preparados para los Cambios de la Globalización"

Tingo María – Perú

2011



P34

C22

Camayo Salazar, Eduardo José

Cuantificación de la Macrofauna en Relación con las Propiedades de los Suelos Residuales de la Laguna Los Milagros - Aucayacu

63 h.; 17 cuadros; 23 figs.; 25 ref.; 30 cm.

Tesis (Ing. Recursos Naturales Renovables Mención : Conservación de Suelos y Agua) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú). Facultad de Recursos Naturales Renovables.

SUELOS RESIDUALES / CUANTIFICACIÓN / MACROFAUNA
DEL SUELO / PROPIEDADES / CULTIVOS / SISTEMAS DE USO
TINGO MARIA / RUPA RUPA / LEONCIO PRADO / HUANUCO /



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María – Perú



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 25 de marzo de 2010, a horas 07:00 a.m. en la Sala de Conferencias de la Facultad de Recursos Naturales de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para calificar la tesis titulada:

“CUANTIFICACIÓN DE LA MACROFAUNA EN RELACIÓN CON LAS PROPIEDADES DE LOS SUELOS RESIDUALES DE LA LAGUNA LOS MILAGROS - AUCAYACU”

Presentado por el Bachiller: **EDUARDO JOSÉ CAMAYO SALAZAR**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobado con el calificativo de **"REGULAR"**.

En consecuencia la sustentante queda apta para optar el **Título de INGENIERO en RECURSOS NATURALES RENOVABLES**, mención **CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para la otorgación del título correspondiente.

Tingo María, 14 de Abril de 2010

Ing. Mg. **ROBERTO OBREGÓN PEÑA**
Presidente

Blgo. MSc. **LUIS VIVAR LUQUE**
Vocal



Ing. **LUIS MANSILLA MINAYA**
Vocal

Ing. M.Sc. **JOSÉ LÉVANO CRISÓSTOMO**
Asesor

DEDICATORIA

A mis queridos y amados Padres.

DOMINGO CAMAYO y HILDA SALAZAR

Gracias por sus buenos consejos,

experiencias y confianza que

depositaron en mí

y que cada día guían mi camino en el estudio y el trabajo.

Estoy eternamente agradecido madre santa y padre querido.

A mis queridos hermanos.

FREDDY, OMAR, EDWIN (Mino)

y RUBEN CAMAYO SALAZAR

Por su apoyo continuo en mi formación,

también a mis amadas sobrinas.

STEFANY, JUMIRA, ANGIE

y SANDRA CAMAYO

Por su alegría constante.

AGRADECIMIENTOS

- Primer lugar a Dios, por su iluminación y el guía en mi camino.
- A mis padres, por darme la vida, gracias por su esfuerzo, su amor y confianza y a mis hermanos; ejemplos de superación y lucha constante para el bien de mi familia, gracias por todo.
- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Recursos Naturales Renovables y a su plana docente, que contribuyeron en mi formación profesional.
- Al Ing. M.Sc. LEVANO CRISOSTOMO, José, por sus valiosas orientaciones, técnicas y científicas en la culminación de la presente tesis.
- Al Ing. M.Sc. HUAMANI YUPANQUI, Hugo, por sus valiosas consejos y experiencia científicas en la culminación de la presente tesis.
- A mis compañeros de la Universidad como Michel Campos, Jorge Gracey, Jhony Arvildo, Jorge Hidalgo, María Ofelia Hosokay, Jakely Ríos, Charo Malpartida, quienes apoyaron en la recolección de muestras, datos campo y análisis de suelos, por su apoyo en la realización del estudio de Investigación.

3.1.2. Características ambientales.....	18
3.1.3. Suelos.....	19
3.1.4. Fisiografía.....	19
3.1.5. Geomorfología.....	19
3.1.6. Accesibilidad.....	20
3.2. Métodos.....	20
3.2.1. Disposición experimental.....	20
3.2.1.1. Bosque secundario.....	20
3.2.1.2. Cultivo de coca.....	21
3.2.1.3. Cultivo de café.....	22
3.2.1.4. Cultivo de yuca.....	22
3.2.2. Análisis de las características físicas, químicas y biológicas de : suelos.....	23
3.2.3. Ejecución del experimento.....	24
3.2.3.1. Muestreo de suelos.....	24
3.2.3.2. Determinación de las propiedades físicas y químicas....	25
3.2.3.3. Muestreo de la macrofauna.....	25
3.2.3.4. Metodología de conteo y estructura de la comunidad del suelo.....	26
3.2.4. Índice de diversidad de especies.....	27
3.2.5. Análisis estadístico de los datos.....	28
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
4.1. Propiedades físicas.....	29
4.1.1. Textura del suelo.....	29

4.1.2. Densidad aparente.....	30
4.1.3. Densidad real.....	32
4.1.4. Temperatura del suelo.....	33
4.1.5. Resistencia a la penetración.....	34
4.1.6. Humedad.....	36
4.1.7. Espacio poroso.....	37
4.2. Propiedades químicas.....	38
4.3. Propiedades biológicas.....	40
4.3.1. Densidad de la macrofauna en los sistemas de uso.....	40
4.3.2. Diversidad de especies.....	42
4.3.3. Biomasa de la macrofauna en los sistemas de uso.....	43
4.4. Relación entre los indicadores físicos, químicos y biológicos.....	45
4.4.1. Modelo.....	45
4.4.2. Simulación del modelo.....	47
V. CONCLUSIONES.....	54
VI. RECOMENDACIONES.....	56
VII. ABSTRACT.....	57
VIII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
IX. ANEXO.....	63
1. Cuadros.....	64
2. Metodología de modelos de regresión múltiple.....	67
El modelo de regresión múltiple.....	67
Variable dependiente.....	67
Variables independientes.....	67

Variables independientes dicotómicas.....	68
Variables independientes físico.....	68
Variables independientes químicos.....	68
La prueba de Breusch-Pagan.....	72
Probabilidad (P).....	75
3. Fotografías.....	76

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadros	Página
1. Clasificación de la macrofauna del suelo.....	11
2. Propiedades físicos, químicos y biológicos del suelo.....	23
3. Textura de los suelos en los cuatro sistemas de uso.....	30
4. Densidad aparente (g/cm ³) en los cuatro sistemas de uso.....	31
5. Densidad real (g/cm ³) en los cuatro sistemas de uso.....	32
6. Temperatura de los suelos encontradas en los cuatro sistemas de uso...	34
7. Resistencia a la penetración.....	35
8. Porcentaje de humedad de los cuatro sistemas de uso.....	36
9. Porcentaje de espacio poroso en los cuatro sistemas de uso.....	38
10. Propiedades químicas de los cuatro sistemas de uso del caserío de los Milagros – Aucayacu.....	39
11. Densidad de individuos de la macrofauna.....	41
12. Diversidad de la macrofauna por el método de Simpson y Shannon – Wiener en los cuatro sistemas de uso.....	43
13..Número de individuos de la macrofauna encontrados en el bosque secundario.....	64
14. Número de individuos de la macrofauna encontrados en el cultivo de coca.....	64
15. Número de individuos de la macrofauna encontrados en el cultivo de yuca.....	64

16. Número de individuos de la macrofauna encontrados en el cultivo de café.....	65
17. Análisis del suelo.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figuras	Página
1. Vista del bosque secundario.....	21
2. Vista del cultivo de coca.....	21
3. Vista del cultivo de café.....	22
4. Vista del cultivo de yuca.....	23
5. Diseño esquemático del método TSBF.....	25
6. Densidad aparente de los cuatro sistemas de uso del caserío Los Milagros.....	31
7. Densidad real de los cuatro sistemas de uso del caserío Los Milagros.....	33
8. Temperatura del suelo de los cuatro sistemas de uso del caserío Los Milagros.....	34
9. Resistencia a la penetración del suelo en los cuatro sistemas de uso....	35
10. Porcentaje de humedad del suelo en los cuatro sistemas de uso.....	37
11. Porcentaje de espacio poroso del suelo en los cuatro sistemas de uso.	38
12. Densidad total de la macrofauna del suelo en los cuatro sistemas de uso del caserío Los Milagros.....	40
13. Densidad de los principales grupos taxonómicos de la macrofauna del suelo de los cuatro sistemas de uso del caserío Los Milagros.....	42
14. Biomasa total de la macrofauna del suelo.....	44
15. Crecimiento de los organismos vivos, según tipo de terreno y espacio-efecto total.....	48

16. Crecimiento de los organismos vivos, según aspectos físicos y químicos - efecto parcial.....	51
17. Nivel de confianza.....	70
18. Materiales empelados (monolitos).....	76
19. Muestra para determinar densidades.....	76
20. Parcela de café.....	77
21. Determinando la resistencia de penetración.....	77
22. Conteo de microorganismos.....	78
23. Macrofauna del suelo.....	78

RESUMEN

El presente trabajo de investigación fue llevado a cabo en los suelos residuales de la Laguna los Milagros- Aucayacu en cuatro sistemas de uso del suelo como son bosque secundario, cultivo de coca, cultivo de café y cultivo de yuca; en el cual se realizó la cuantificación de la macrofauna y su relación con las propiedades de los suelos. Para el presente estudio se evaluaron las propiedades físicas como es: textura del suelo, densidad aparente, temperatura del suelo y resistencia a la penetración. En cuanto a las propiedades químicas, se evaluaron el contenido de materia orgánica, reacción del suelo (pH), nitrógeno total del suelo, fósforo disponible, potasio disponible en Kg/Ha y la capacidad de intercambio cationico. Las propiedades biológicas que se evaluaron fueron: biomasa y la diversidad de especies de macro fauna del suelo. Se observó que la textura del suelo en los cuatro sistemas de uso fue de franco arenoso. Sin embargo se observa una variación de la densidad aparente, densidad real, temperatura, resistencia a la penetración, porcentaje de Humedad, y porcentaje de espacio poroso en los cuatro sistemas de uso del suelo. De igual manera en los indicadores de las propiedades químicas del suelo difirieron en los cuatro sistemas de uso de los suelos. En cuanto a las propiedades biológicas Se identificaron 8 grupos taxonómicos, como son Himenópteros, los oligoqueta, isópoda, isóptera, chillopoda, aranea, coleóptero y larvas. Los organismos del suelo alteran de buena manera las propiedades físicas y las propiedades químicas del suelo.

I. INTRODUCCIÓN

Una de las fases fundamentales para el desarrollo de estudios sobre la calidad del suelo es la definición de la misma y la identificación y selección de las propiedades que puedan servir como indicadores de esa calidad (CARRASCO *et al.*, 2005).

La calidad del suelo se puede evaluar empleando indicadores que reflejen los cambios en la capacidad del suelo y en su función. Los indicadores dependen del ecosistema considerado, debiendo determinarse características que sirvan como indicadores de su sustentabilidad (ACEVEDO *et al.*, 2005).

Las comunidades de macrofauna del suelo son amenazadas por los cambios ligados a una intensificación de la agricultura cuya secuela es la disminución de la biodiversidad. La mayoría de las prácticas de manejo de suelos, independiente de su efecto sobre el pH, tiene un efecto negativo sobre la macrofauna, esto se debe a que las comunidades de macrofauna son muy sensibles a los cambios de cobertura de los suelos (AHUMADA *et al.*, 2005).

El presente estudio está enfocado a la distribución de la macrofauna edáfica en diferentes sistemas de uso del suelo en la laguna Los

Milagros, permitiendo así definir que tipo de cobertura vegetal influye en la diversidad, densidad y biomasa de la macrofauna según el uso del suelo (GONZÁLES *et al.*, 2005).

1.1. Objetivos

1.1.1. General

- Cuantificar la macrofauna y relacionar las propiedades de los suelos residuales de la laguna Los Milagros - Aucayacu

1.1.2. Específicos

- Identificar las propiedades físicas químicas y biológicas de los suelos residuales.
- Identificar las relaciones de las propiedades de los suelos residuales con la macrofauna en estudio.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Suelos

Los suelos son sistemas naturales abiertos y complejos, que se forman en la superficie de la corteza terrestre donde viven las plantas y gran diversidad de seres vivos y cuyas características y propiedades se desarrollan por la acción de los agentes climáticos y bióticos actuando sobre los materiales geológicos, acondicionados por el relieve y drenaje durante un período de tiempo (LOUGHNAN, 1969).

2.1.1. Composición del suelo

Al estudiar los componentes del suelo, se observa que el 50% corresponde a huecos o espacios ocupados por el aire y/o agua. El resto está conformado por fragmentos tales como piedras, piedrecillas, arena y limo. Otros elementos de tamaño microscópico son las arcillas. Igualmente, forman parte del suelo los restos de todos los organismos vivos que habitan en él y que al morir constituyen la materia orgánica. La materia orgánica al descomponerse forma una sustancia llamada humus que es muy importante, ya que brinda fertilidad al suelo poniendo a disposición de las raíces de las

plantas los nutrientes necesarios para la nutrición. La materia orgánica y el humus participan en la capacidad que tiene el suelo de retener agua para que pueda ser utilizada por las plantas. Si un suelo no es utilizado adecuadamente, el humus se destruye y se pierde su fertilidad. La composición del suelo varía entre localidades geográficas diferentes. En algunos lugares habrá rocas más pesadas y otras más livianas; algunas serán más oscuras y otras de un color más claro. Hay lugares más fríos donde la roca se descompone más lentamente. Otros lugares son más lluviosos y más calurosos y la roca se descompone con más facilidad, por lo que se forman en cada lugar suelos diferentes. Así mismo, habrá suelos delgados y suelos profundos, de variados colores, de mayor o menor fertilidad, con mayor cantidad de restos orgánicos o bien, formados sólo por arena o de pequeñas piedras. Esta característica permite clasificar los suelos de acuerdo a su textura (SUÁREZ, 2001).

2.1.2. Suelos residuales

La definición de suelo residual varía de un país a otro pero una definición razonable podría ser la de un suelo derivado por la meteorización y descomposición de la roca in situ, no ha sido transportado de su localización original. Los términos residual y tropical se usan indistintamente pero en los últimos años se está utilizando con mayor frecuencia el término residual (BLIGHT, 1997).

2.2. Propiedades del suelo

2.2.1. Propiedades físicas

Las propiedades físicas de los suelos, determinan en gran medida, la capacidad de muchos de los usos a los que el hombre los sujeta. La condición física de un suelo, determina, la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes. Se considera necesario para las personas involucradas en el uso de la tierra, conocer las propiedades físicas del suelo, para entender en qué medida y cómo influyen en el crecimiento de las plantas, en qué medida y cómo la actividad humana puede llegar a modificarlas, y comprender la importancia de mantener las mejores condiciones físicas del suelo posibles. Las principales propiedades físicas del suelo son el color, la textura, la estructura y las relacionadas con la capacidad de retención de agua en el suelo (RUCKS, *et al.*, 2004).

La textura indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño, como la arena, el limo y la arcilla, en el suelo. La textura tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, ayuda a determinar la facilidad de abastecimiento de los nutrientes, agua y aire que son fundamentales para la vida de la planta. Para conocer la textura de una muestra de suelo, separe primero la tierra fina, todas las partículas de menos

de 2 mm, de las partículas mayores como la grava y las piedras. La tierra fina es una mezcla de arena, limo y arcilla. Para realizar los ensayos de campo siguientes asegúrese de utilizar sólo tierra fina (SUÁREZ, 2001).

La densidad aparente puede ser incluida dentro del grupo mínimo de parámetros a medir para evaluar la calidad de un suelo, como indicador de la estructura, la resistencia mecánica y la cohesión del mismo. Cambios en la densidad aparente reflejan cambios en la estructura del suelo, debido a la relación existente entre la densidad aparente y la porosidad total (DORAN, *et al.*, 1999).

La temperatura del suelo dependerá de la cantidad de radiación neta que llegue a la superficie terrestre resultado de considerar el balance energético de onda corta y de onda larga. La cantidad de radiación neta que llega a la superficie del suelo depende de factores externos al mismo, entre ellos la radiación global disponible, el albedo, y del balance resultante de radiación infrarroja que dependerá de la temperatura y de las emisividades de la atmósfera y la Tierra.

La resistencia a la penetración se ve afectada por la compactación del suelo que ocurre cuando se aplica presión o carga a la superficie del suelo, como resultado de pisoteo de animales y personas, la inadecuada utilización de equipos como tractores, especialmente cuando el suelo está húmedo (SANDOVAL, *et al.*, 2006).

2.2.2. Propiedades químicas

Las propiedades químicas del suelo afectan las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo y la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas y microorganismos (ACEVEDO *et al.*, 2005).

Se recomienda como indicadores el contenido de materia orgánica (MO), carbono y nitrógeno orgánico, pH, conductividad eléctrica (CE), y el N, P y K disponible. Los indicadores que reflejan estándares de fertilidad (pH, MO, N, P y K) son factores importantes en términos de producción de cultivos.

La materia orgánica del suelo se considera como el indicador más significativo de la calidad del suelo, siendo el componente más importante a seleccionar entre un grupo de datos mínimos y necesarios para definir la calidad del suelo. La materia orgánica del suelo es fundamental para mantener la estructura del suelo, retener el agua necesaria, presencia de organismos y actuar como reserva nutritiva (CHEN, 2000).

La reacción del suelo (pH) es un índice de la acidez, neutralidad o alcalinidad del suelo. Se representa mediante el logaritmo negativo de la concentración de H^+ expresada en moles por litro. El pH genera una escala numérica que va desde el 0 al 14. Cuando en una solución

predominan los cationes de H^+ sobre los aniones OH^- , se dice que es ácida, es básica cuando predominan los OH^- y es neutra cuando se encuentran en concentraciones iguales (MARTINEZ, 2003).

Las formas minerales del nitrógeno en el suelo provienen generalmente de la descomposición de los residuos orgánicos de Nitrógeno, materiales frescos orgánicos, abonos orgánicos, humus etc. Estas formas por lo general son Nitrógeno Amónico ($N-NH^4$) y Nitrógeno Nítrico ($N-NO^3$). Estos procesos biológicos y minerales ocurren debido a la influencia de los macro y microorganismos existentes en el suelo. La determinación de Nitrógeno total en el suelo se realiza mediante el método de Kjeldhal clásico o Kjeldhal modificado en algunas ocasiones (CALDERÓN, 1999).

La deficiencia del fósforo (P) en los suelos del trópico y subtropical es un problema de reconocida importancia, cuya magnitud constituye una de las limitantes de mayor trascendencia en la producción de cosechas. El fósforo total del suelo es provisto por el material parental o por el agregado de fertilizantes y abonos. La mayoría de los materiales parentales contienen principalmente fosfato de calcio los que se hidrolizan durante el desarrollo del suelo (ARZUAGA *et al.*, 2005).

Para analizar el potasio del suelo hay diferentes métodos que son utilizados en diferentes partes del mundo. Un importante método muy utilizado es el del ácido sulfúrico.

La determinación de la capacidad de intercambio catiónico de un suelo implica la saturación de dicha capacidad por medio del Sodio, el lavado del exceso de Sodio, (Sodio soluble no intercambiable) por medio del alcohol y la medida de dicha capacidad mediante extracción de todo el sodio con acetato de amonio y la lectura del sodio por absorción atómica (CALDERÓN, 1999).

2.2.3. Propiedades biológicas

Las propiedades biológicas del suelo son muy importantes, ya que está constituida por los organismos que existen en el suelo, como hongos, bacterias, nematodos, insectos y lombrices, los cuales mejoran las condiciones edáficas del suelo de tal manera que aceleran la descomposición y mineralización de la materia orgánica, además que entre ellos ocurren procesos de antagonismo o sinergia que permite un balance entre poblaciones dañinas y benéficas que disminuyen los ataques de plagas a las plantas (SALVADOR, 2007).

2.3. Organismos del suelo

En el suelo viven muchos organismos como insectos, lombrices y microorganismos (bacterias y hongos). Estos organismos nacen, crecen y mueren en el suelo, son parte de él y mientras más organismos existan en él, mayor es su fertilidad. Esto además permite la acumulación de restos orgánicos que favorecen la vida de las plantas. Las regiones áridas y frías

tienen muy poca vida en el suelo. Mientras más fértil es el suelo, mayor cantidad de vida habrá en él. Los organismos viven en el suelo, trabajan y se movilizan permanentemente, crecen, entregan sus secreciones y excrementos, digieren y elaboran sustancias, mueren y entregan sus residuos orgánicos. Los gusanos perforan constantemente el suelo y al desplazarse movilizan los nutrientes produciendo mezclas de materia orgánica e inorgánica. Los microorganismos se alimentan de restos orgánicos y al morir pasan a integrar la materia orgánica del suelo. Debido a la acción de los microorganismos (bacterias y hongos), los restos orgánicos se transforman en materia orgánica, enriqueciendo el suelo y facilitando la nutrición de las plantas (SUÁREZ, 2001).

2.3.1. Macrofauna del suelo

Son organismos macroinvertebrados (Cuadro 1) que componen la fracción orgánica del suelo, animales visibles a la vista con diámetro variable, generalmente mayor a 2 mm y longitud de 1 cm a 2 cm o más; desarrollan parte de su ciclo de vida en el suelo y/o mantillo superficial (hojarasca, tronco de la vegetación), son importantes por su actividad en los siguientes procesos: 1. Depredación de los microbios, 2. Modificación de la estructura del suelo, 3. Descomposición de la materia orgánica, 4. Mezcla de la materia orgánica descompuesta con la tierra, 5. Incrementan la formación de agregados; procesos que mejoran las propiedades físicas del suelo y definen el hábitat de otras comunidades, algunos de estos grupos de organismos se muestran en el Cuadro 1. (PORTA *et al.* 1999).

Cuadro 1. Clasificación de la macrofauna del suelo

GRUPOS
Arácnida
Isópoda
Miriápoda
Hymenoptera
Coleóptera
Gasterópoda

Fuente: PORTA *et al.* (1999)

2.3.1.1. Clasificación de la macrofauna y su importancia funcional

La fauna del suelo está constituida por organismos que pasan toda o una parte de su vida sobre la superficie inmediata del suelo, en los troncos podridos y la hojarasca superficial y bajo la superficie de la tierra, incluyendo desde animales microscópicos hasta vertebrados de talla mediana. Para vivir en el suelo, estos organismos han tenido que adaptarse a un ambiente compacto, con baja concentración en oxígeno y luminosidad, pocos espacios abiertos, baja disponibilidad y calidad de alimentos y fluctuaciones microclimáticas que pueden llegar a ser muy fuertes. En los trópicos la macrofauna es la fauna animal más conspicua del suelo e incluye los invertebrados con un diámetro mayor de 2 mm y fácilmente visibles en la superficie o interior del suelo. Entre sus miembros se encuentran los termes,

las lombrices de tierra, los escarabajos, las arañas, las larvas de mosca y de mariposa, los caracoles, los milpiés, los ciempiés y las hormigas. De estos organismos, los escarabajos suelen ser los más diversos (con mayor número de especies), aunque en abundancia predominan generalmente los termites y las hormigas y en biomasa las lombrices de tierra. La abundancia de toda la macrofauna puede alcanzar varios millones de individuos por ha y su biomasa varias toneladas por ha. Su diversidad podría llegar a superar el millar de especies en ecosistemas complejos (como la selva tropical), aunque todavía carecemos de datos exactos sobre la diversidad específica de la macrofauna tropical edáfica en un ecosistema dado (Lavelle *et al.*, 1992 citado por BROWN *et al.*, 2001).

La macrofauna puede además subdividirse en organismos epigeos, endógeos y anécicos, presentando cada categoría un papel diferente en el funcionamiento del ecosistema edáfico, aunque miembros de una misma categoría, pueden también tener efectos distintos sobre el suelo (*e.g.* compactantes y descompactantes). Los epigeos viven y comen en la superficie del suelo; la mayor parte se alimentan de la hojarasca (macro artrópodos detritívoros, pequeñas lombrices de tierra pigmentadas), otros comen plantas vivas (larvas de mariposas, caracoles) y otros (arañas, hormigas, ciempiés y algunos escarabajos) son predadores del resto de la fauna. La función primordial de los epigeos es fragmentar la hojarasca y promover su descomposición (LAVELLE *et al.*, 1992).

2.4. Características de los suelos en diferentes unidades

2.4.1. Bosques secundarios

Los bosques secundarios en la actualidad han tomado interés en la investigación, debido a que son vegetación leñosa que se establece luego que el suelo ha sido abandonado por acción de la agricultura migratoria, en su mayoría pasan por varias fases de sucesión vegetal, llamado en la zona como "purmas". Quizás sea la composición florística uno de los rasgos más llamativos, puesto que se expresa generalmente la cantidad de especies vegetales, así como el número de individuos que está representado en cada especie (BUTLER, 2000).

La recuperación del suelo bajo un bosque secundario es probablemente una medida de su progreso hacia el estado estable, tan bueno como las características de la vegetación. La sucesión de las especies pioneras de una asociación son las primeras en establecerse, porque presentan características de colonizadoras, como tal son de rápido crecimiento, invierten alta energía en la producción de biomasa, consecuentemente abundante producción anual de semillas y la elevada capacidad de disposición colonizadora conocidos como especies de estrategia de vida "r", las mismas que se establecen en condiciones hostiles y en ambientes altamente perturbados. A medida que la sucesión avanza es conocido que la diversidad suele ser alta en comunidades más viejas y bajas

en las de nuevo establecimiento (ODUM, 1983).

2.4.2. Suelos con cultivo de coca

En el Alto Huallaga 194.000 has son consideradas aptas para cultivos en limpio, 59.00 has para cultivos permanentes, 418.00 has para pastos, 737.00 has aptas para forestales y 1'966.00 has de tierras de protección. En esta región las tierras de uso agrícola están ubicadas en laderas (colinas) con pendientes que superan el 30% (suelos con aptitud forestal y de protección). La opción de los cultivos anuales no es recomendada (INFOREGION, 2007).

En esta parte del Alto Huallaga, la mayoría de los suelos han sido y son erosionados mediante las prácticas de la agricultura migratoria, básicamente por el cultivo de la coca, deforestación (tala indiscriminada de bosques) por la plantación de cultivos anuales como la "yuca", "maíz", "papaya", conducidos en surco en el sentido de la pendiente y suelos sin cobertura vegetal. Estos suelos ocupan más del 50% de esta zona. Estos suelos son ácidos con alta saturación de aluminio y bajo contenido de fósforo las especies de Macorilla (*Pteridium aquilinum*); Rabo de Zorro (*Andropogon bicornis*); Cashaucsha o Chicula (*Imperata brasiliensis*) (HUAMANÍ *et al.*, 1998).

2.4.3. Suelos con cultivo de café

El café se cultiva en lugares con una precipitación que varía desde los 750 mm anuales ($7.50 \text{ m}^3/\text{ha}$) hasta 3000 mm ($30.00 \text{ m}^3/\text{ha}$), si bien el mejor café se produce en aquellas áreas que se encuentran en altitudes de 1200 a 1700 metros, donde la precipitación pluvial anual es de 2000 a 3000 mm y la temperatura media anual es de 16° a 22° . Pero aún más importante es la distribución de esta precipitación en función del ciclo de la planta. Podemos decir que el cultivo requiere una lluvia (o riego) abundante y uniformemente distribuida desde comienzos de la floración hasta finales del verano para favorecer el desarrollo del fruto y de la madera (SALAS, 2004).

El café prospera en un suelo profundo, bien drenado, que no sea ni demasiado ligero ni demasiado pesado. Los limos volcánicos son ideales. La reacción del suelo debe ser más ácida. Además, la respuesta fotosintética y síntesis bioquímica de la planta se ve muy influida por el período climático del año. Así los diferentes niveles de clorofilas, carotenóides, se ven modificados en función de las temperaturas, de la intensidad luminosa (DAMATTA, 1997).

El mantenimiento de las reservas adecuadas de humedad del suelo, es importante para el bien del café. En tanto que es benéfico, desde el punto de vista de la floración y la cosecha, que las capas superficiales del suelo se sequen hasta cierto grado antes de la presencia de la temporada lluviosa, al

mismo tiempo las raíces más profundas, que algunas veces penetran a profundidades de 4 a 5 m del suelo, deben abastecerse con una cantidad de agua. El problema más difícil en el cultivo del café, especialmente en las regiones tropicales de las tierras altas, es la conservación del suelo. Es esencial al establecer una plantación de café, proteger al suelo de la acción erosiva de las lluvias tropicales, torrenciales, tan pronto como se realice el desmonte. En las áreas montañosas y en las pendientes más inclinadas, se pueden plantar a lo largo de los contornos, setos vivos de *Leucaena*. El deshierbe selectivo, eliminando aquellas plantas que pueden competir con los árboles de café junto con los arbustos leguminosos de crecimiento erecto, y/o las hierbas para enriquecer y proteger al suelo, se pueden utilizar con ventaja en las pendientes más inclinadas (NUNES, 1993).

2.4.4. Suelos en el cultivo de yuca

La yuca se caracteriza por producir en suelos ácidos y pobres. Muchas veces es el último cultivo que se siembra en un programa de rotación, debido a la capacidad de producir, a pesar de la falta de nutrientes de suelos empobrecidos. Las siembras consecutivas pueden inducir a que los patógenos y las plagas se incrementen progresivamente. Por esta razón es necesario dejar o rotar el terreno después de la segunda o tercera cosecha consecutiva de yuca. Si se siembra otro cultivo después de la yuca, es aconsejable fertilizar apropiadamente. Para obtener una buena brotación y enraizamiento de las estacas, se requiere, además de humedad adecuada, de una buena

preparación del suelo. En suelos con topografía plana, se puede preparar la tierra de manera similar como para la siembra de maíz, evitando de esta forma la germinación de las semillas de maleza (SEVERINO, 2004).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

3.1.1. Ubicación de la zona en estudio

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo, en el caserío los Milagros – Aucayacu, ubicado políticamente en el departamento de Huánuco, provincia de Leoncio Prado, distrito de José Crespo y Castillo, sector los Milagros - Aucayacu y ubicado geográficamente con coordenadas UTM (E: 0398860 y N: 8997650), a una altitud 636 msnm.

3.1.2. Características ambientales

La zona de investigación de acuerdo al mapa ecológico y el sistema de Holdridge, corresponde a la formación de bosque muy húmedo pre montano tropical (Bmh – pt), donde se desarrollan y cultivan especies de gran valor alimenticio, medicinales y comerciales, caracterizados por presentar las siguientes características climáticas.

- Humedad relativa : 80%

- Temperatura media anual : 24 °C.
- Precipitación : 3300 mm

3.1.3. Suelos

Son suelos desarrollados posiblemente por la naturaleza del material parental ya que el suelo se formó a partir de las rocas sedimentarias donde predominan las areniscas, ubicadas en terrazas medias, moderadamente profundos, con perfiles tipo A (B) C, de textura media (franca arenosa), de drenaje y permeabilidad moderada, son de reacción moderadamente ácida a neutra, con bajo contenido de materia orgánica en la superficie y en los horizontes inferiores.

3.1.4. Fisiografía

Se caracteriza por su topografía plana y accidentada con pendientes que varían entre 5 a 45%, presentando un paisaje montañoso las mismas que están conformadas por colinas y pendientes pronunciadas.

3.1.5. Geomorfología

Está representado por un relieve ondulado con colinas de origen residual, encontrándose al margen derecho del Río Tulumayo. Comprende secuencias litológicas principalmente de naturaleza sedimentaria.

3.1.6. Accesibilidad

La vía de acceso principal a la zona de trabajo es a través de la carretera Fernando Belaunde Terry, vía asfaltada Tingo María – Aucayacu, a 30 minutos de recorrido en vehículo motorizado.

3.2. Métodos

3.2.1. Disposición experimental

Para la ejecución del presente trabajo de investigación, se tomaron cuatro sistemas de uso que son los siguientes:

3.2.1.1. Bosque secundario

Esta área presenta un bosque en recuperación (Figura 1). En esta área predominan especies como *Schizolobium sp.* (pashaco), *Cecropia sp.* (cético), *Nectandra sp.* (moena), *Ficus insipida* Willd (ojé), *Ormosia coccínea* (huayruro), *Triplaris peruviana* (tangarana), *Eritrina falcata* Benth. (eritrina), especies que representan un Bosque Secundario. La fisiografía es de característica de zona montañosa con una pendiente de 15 %.



Figura 1. Vista del bosque secundario

3.2.1.2. Cultivo de coca

Presenta las especies *Eritroxylon coca* (coca), *Pteridium aquilinum* (macorilla), *Andropogon bicornis* (rabo de zorro), *Imperata brasiliensis* (cashruesha o chicula) (Figura 2). La fisiografía es de una pendiente de 10 %.



Figura 2. Vista del cultivo de Coca

3.2.1.3. Cultivo de café

Presenta el cultivo de café *Coffea arabica* familia Rubiaceae que fue implantado hace 3 años (Figura 3). La fisiografía es de pendiente inclinada de 25 %.



Figura 3. Vista del cultivo de Café

3.2.1.4. Cultivo de yuca

Presencia de *Manihot esculenta* (yuca), familia (EUPHORBIACEAE) que fue plantado hace 2 años (Figura 4). La fisiografía es ligeramente plana con pendiente de 5 %.



Figura 4. Vista del cultivo de yuca

3.2.2. Análisis de las características físicas, químicas y biológicas de los suelos.

Para poder determinar algunas propiedades físicas, químicas y biológicas que se enumeran en el cuadro 2.

Cuadro 2. Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo

PROPIEDADES DEL SUELO	
Indicadores físicos	Método de su determinación
Textura del suelo	Método del hidrómetro de bouyucous
Densidad aparente	Por volumen, peso húmedo y seco
Densidad real	Por volumen, peso húmedo y seco
Temperatura del suelo	Método directo (termómetro)
Resistencia a la penetración	Método directo (penetrómetro)
Humedad	Peso húmedo y seco

Cuadro 2. (Continuación...)

Indicadores químicos	
Porosidad	Densidad aparente, densidad real
Materia orgánica	Método de Walkley y Black
Reacción del suelo	Método del potenciómetro
Aluminio intercambiable	Método de Yuan
Nitrógeno Total	Método de Kjeldahl
Fósforo disponible	Método de Olsen
Potasio disponible	Método del Acido sulfúrico 6N
Bases Intercambiable.	Método del Acetato
Cap. de intercambio catiónico	Método del Acetato
Indicadores biológicos	
Densidad de la Macrofauna	Método directo por conteo
Biomasa de la macrofauna	Método directo por conteo
Diversidad de especies	Método de Simpson y Shannon - Wiener

Fuente:(Doran y Lincoln, 1999; (Acevedo *et al.*, 2005).

3.2.3. Ejecución del experimento

El presente trabajo de investigación se realizó desde el 01 de abril al 30 de septiembre del 2008. Para su realización se llevó a cabo las siguientes labores de campo:

3.2.3.1. Muestreo de suelos

Se ubicaron y georeferenciaron las áreas de los

diferentes sistemas con ayuda de un GPS digital y la carta nacional para realizar el muestreo correspondiente. Las muestras de suelo se extrajeron al azar con la ayuda de un tubo muestreador.

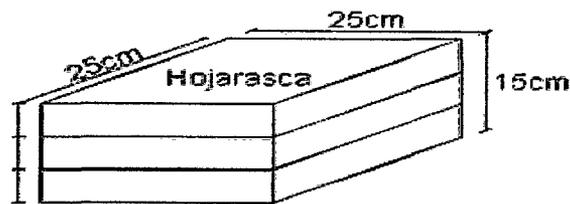
3.2.3.2. Determinación de las propiedades físicas y químicas

Tomadas las muestras de suelo de los diferentes sistemas de uso, algunas propiedades se determinaron en el Laboratorio de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para su respectivo análisis.

3.2.3.3. Muestreo de la macrofauna

Para el muestreo de la fauna del suelo, se tomaron 3 muestras de cada sistema de uso del suelo.

El método de muestreo utilizado fue el recomendado por el Programa Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) (LAVELLE, 1984). (Figura 5).



MONOLITO TSBF

Figura 5. Diseño esquemático del método TSBF

El monolito tiene la siguiente dimensión: 25 x 25 x 15 cm. De cada estrato se recolectaron los macroinvertebrados y se depositaron en soluciones de alcohol al 80%, para insectos de cuerpo endurecido y en formol del 4-10% las larvas e insectos de cuerpo no endurecido (DECAËNS *et al.*, 1994).

3.2.3.4. Metodología de conteo y estructura de la comunidad del suelo

El conteo de la macrofauna se realizó en Laboratorio de Conservación de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva de manera directa. De los organismos colectados, se cuantificó la biomasa (g/m^2) y densidad (individuos/m^2) de todos los macroinvertebrados por medio del estereoscopio y una balanza de precisión.

Dado que para cada muestreo se utiliza un cuadrado de 25 cm de lado, lo que representa $1/16 \text{ m}^2$, los datos de cada punto de muestreo son multiplicados por 16 para obtener las unidades de número de individuos por m^2 (ind.m^{-2}) (CORREIA Y OLIVEIRA, 2000).

Al igual que en la densidad, los datos (pesos) de cada punto de muestreo son multiplicados por 16 para obtener las unidades de gramos por m^2 (g.m^{-2}) (CORREIA Y OLIVEIRA, 2000).

3.2.4. Índice de Diversidad de especies

La diversidad se representa como la riqueza o diversidad de la comunidad de un área, siendo ésta el número de especies presentes para un nivel taxonómico prefijado. Para determinar el índice de diversidad de especies se utilizó el método de Simpson y Shannon Wiener.

Riqueza de especies (S): Es el número de especies o unidades taxonómicas encontradas en los diferentes sistemas de uso del suelo

Índice de Shannon-Wiener (H')

$$H' = -\sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

Donde:

S = Número de especies o unidades taxonómicas

$p_i = n_i/N$

n_i = Abundancia de la especie i

N = Abundancia total

ln = logaritmo natural

Índice de Equidad (J):

$$J = \frac{H'}{\ln S}$$

Donde:

H' = Índice de diversidad de Shannon-Wiener

S = Número de especies o unidades taxónomicas

\ln = logaritmo natural

3.2.5. Análisis estadísticos de los datos

Para determinar el análisis estadístico y ver el nivel de relación que existe entre las propiedades y los organismos del suelo usamos el método de Regresión Múltiple por medio del programa Paquete Econométrico E Views

3.0.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Propiedades físicas

4.1.1. Textura del suelo

La textura del suelo en los cuatro sistemas de uso en el caserío Los Milagros (Cuadro 3), encontramos que el bosque secundario, cultivo de coca, cultivo de yuca y cultivo de café, todos presentaron suelos franco arenosos. Este resultado tiene relación con la roca madre. Según LOUGHNAN (1969), desde el punto de vista general, los suelos se han formado de materiales madres por la influencia de los procesos de desintegración y traslocación durante largos periodos. Las actividades físicas y químicas desintegran las rocas y los fragmentos de estos, transformándolas en minerales, gruesos y finos que vienen a ser lo que se conoce posteriormente como suelo.

La composición elemental de los suelos también varía de acuerdo a la naturaleza de la roca madre y los cambios producidos durante la meteorización, acumulación de materia orgánica y prácticas de manejo (SUÁREZ, 2001).

Cuadro 3. Textura de los suelos encontrados en los cuatro sistemas de uso

Análisis mecánico	ANÁLISIS DE SUELO			
	Bosque secundario	C. coca	C. yuca	C. café
Arena (%)	51,0	53,0	53,0	57,0
Limo (%)	38,0	33,0	32,0	28,0
Arcilla (%)	11,0	15,0	15,0	15,0
Textura	Fo.Ao.	Fo.Ao.	Fo.Ao.	Fo.Ao.

Fuente: Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (2008).

4.1.2. Densidad aparente

La densidad aparente del suelo en los cuatro sistemas de uso como se muestra en el (Cuadro 4) fueron de 1.69 g/cm^3 en el bosque secundario, 1.86 g/cm^3 en el cultivo de coca, 1.75 g/cm^3 en el cultivo de yuca y 1.68 g/cm^3 en el cultivo de café respectivamente.

La relación de la densidad aparente con la textura que pueda presentar el suelo, con el incremento que tenga la densidad aparente, la porosidad disminuye, la resistencia mecánica tiende a aumentar; es decir, el grado de compactación pasa a un estado crítico y el crecimiento radicular se ve limitado (SUÁREZ, 2001).

Las densidades aparentes del suelo varían entre 1.0 y 1.7 g/cm^3 y valores mayores a 1.7 g/cm^3 pueden afectar el crecimiento radicular. Y como

se puede observar los que se encuentra en los rangos ideales son el bosque secundario y el cultivo de yuca con 1.7 g/cm^3 (USDA, 1999).

Cuadro 4. Densidad aparente (g/cm^3) en los cuatro sistemas de uso

Indicador	Sistemas de uso			
	Bosque secundario	Cultivo coca	Cultivo yuca	Cultivo café
Densidad aparente (g/cm^3)	1.693	1.866	1.756	1.688

Fuente: Elaboración propia (2008).

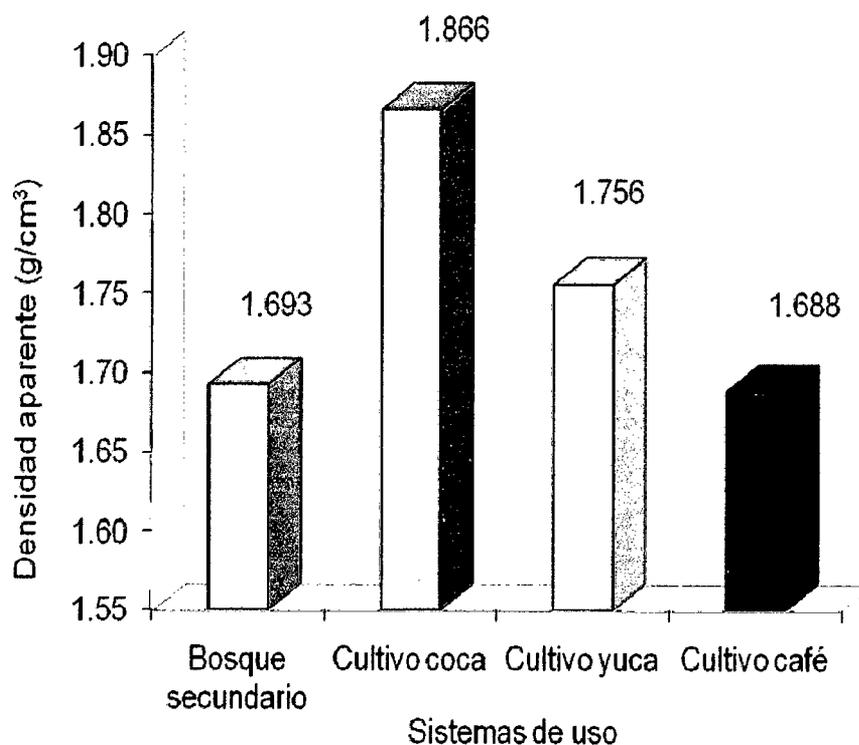


Figura 6. Densidad aparente de los cuatro sistemas de uso del caserío Los Milagros

4.1.1. Densidad real

La densidad real de los cuatro sistemas de uso del suelo fueron de 2.822 g/cm³ en el bosque secundario, 2.488 g/cm³ en el cultivo de coca, 2.702 g/cm³ en el cultivo de yuca y 2.680 g/cm³ en el cultivo de café correspondientemente.

La densidad real (DR), mide el grado de compactación de un determinado suelo cuando éste ha sido sometido a trabajos constantes de maquinaria pesada sobre la capa arable, pudiendo mostrarse esa compactación en esa misma capa o en la subyacente (LOUGHNAN, 1969).

Definen a la densidad real o también llamada peso específico real como el peso o densidad de las partículas que forman un suelo y la composición mineral es más o menos constante en la mayoría de los suelos, por tanto se estima que normalmente su cifra es próxima a 2.6 g/cm³ (2.5 a 2.7 g/cm³) (RUCKS *et al.*, 2004).

Cuadro 5. Densidad real (g/cm³) en los cuatro sistemas de uso

Indicador	Sistemas de uso			
	Bosque secundario	Cultivo coca	Cultivo yuca	Cultivo café
Densidad real (g/cm ³)	2.822	2.488	2.702	2.680

Fuente: Elaboración propia (2008).

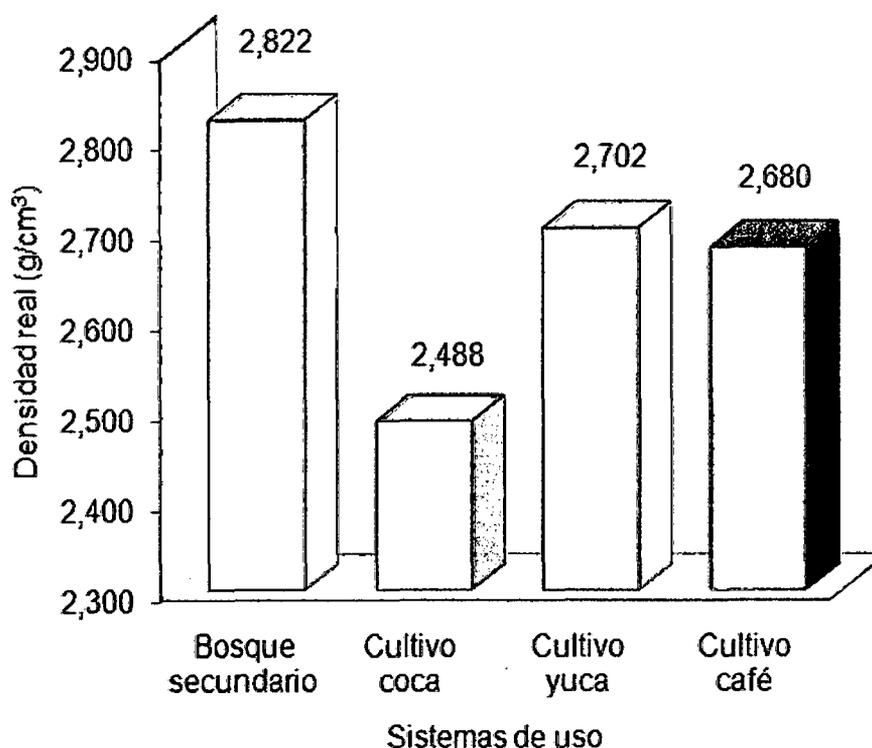


Figura 7. Densidad real de los cuatro sistemas de uso del caserío Los Milagros

4.1.3. Temperatura del suelo

La temperatura del suelo de los diferentes sistemas de uso como se muestra en el (Cuadro 6), podemos apreciar que en el bosque secundario obtuvimos 21.60 °C, en cultivo de coca 25.80 °C, en el cultivo de yuca con 25.70 °C seguido del cultivo de café con 24.83 °C. Según los resultados podemos decir que la temperatura es mayor en suelos con menor cobertura como lo menciona RUCKS *et al.* (2004). La cobertura tiene mucha influencia con respecto a la temperatura del suelo ya que mientras el suelo se encuentre más descubierto estará expuesto a los rayos solares que penetran hasta los minerales y estos absorben calor por eso es que tienen mayor temperatura.

Cuadro 6. Temperatura de los suelos encontrados en los cuatro sistemas de uso

Indicador	Sistemas de uso			
	Bosque secundario	Cultivo coca	Cultivo yuca	Cultivo café
Temperatura del Suelo °C	21.60	25.80	25.70	24.83

Fuente: Elaboración propia (2008).

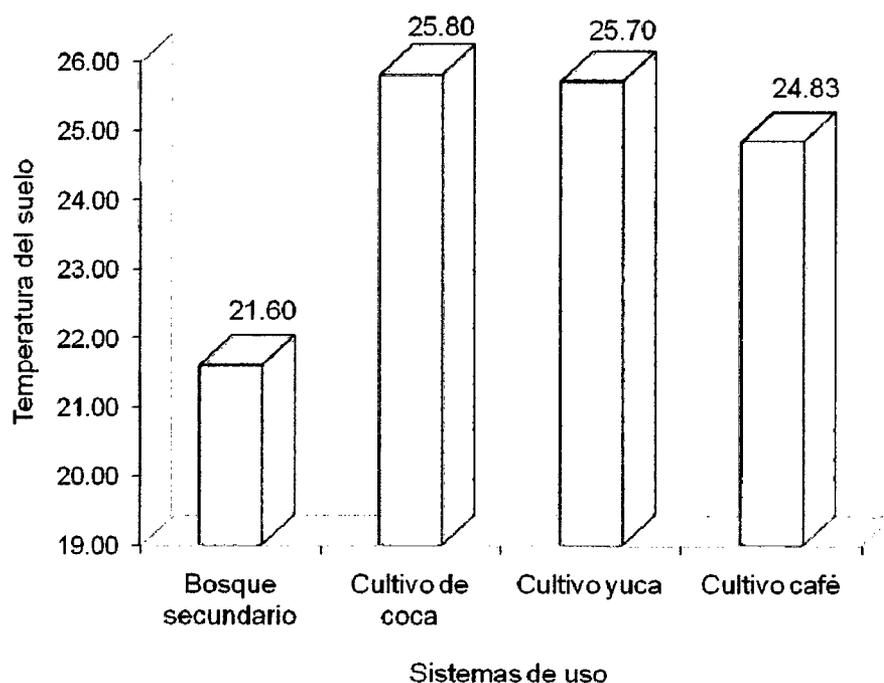


Figura 8. Temperatura del suelo de los cuatro sistemas de uso del caserío los Milagros

4.1.4. Resistencia a la penetración

La resistencia a la penetración del suelo, de los cuatro sistemas de uso (Cuadro 7), encontramos en el bosque secundario 1.690 kg/cm^2 , cultivo de coca 2.978 kg/cm^2 , en el cultivo de yuca con 2.167 kg/cm^2 en el cultivo de

café 2.096 kg/cm². Según LOUGHNAN (1969), la influencia del contenido de materia orgánica en las propiedades del suelo es mayor de lo que se pudiera esperar de su bajo porcentaje. La materia orgánica actúa como granulador en las partículas minerales. La materia orgánica y la babaza microbiana forman migajones, los mismos que crean una estructura desmenuzable, característica de los suelos productivos. En el cultivo de coca se perdió la materia orgánica por erosión lo que hace de este suelo más resistente o más compacto.

Cuadro 7. Resistencia a la penetración kg/cm²

Indicador	Sistemas de uso			
	Bosque secundario	Cultivo coca	Cultivo yuca	Cultivo café
Resistencia a la penetración kg/cm ²	1.690	2.978	2.167	2.096

Fuente: Elaboración propia (2008).

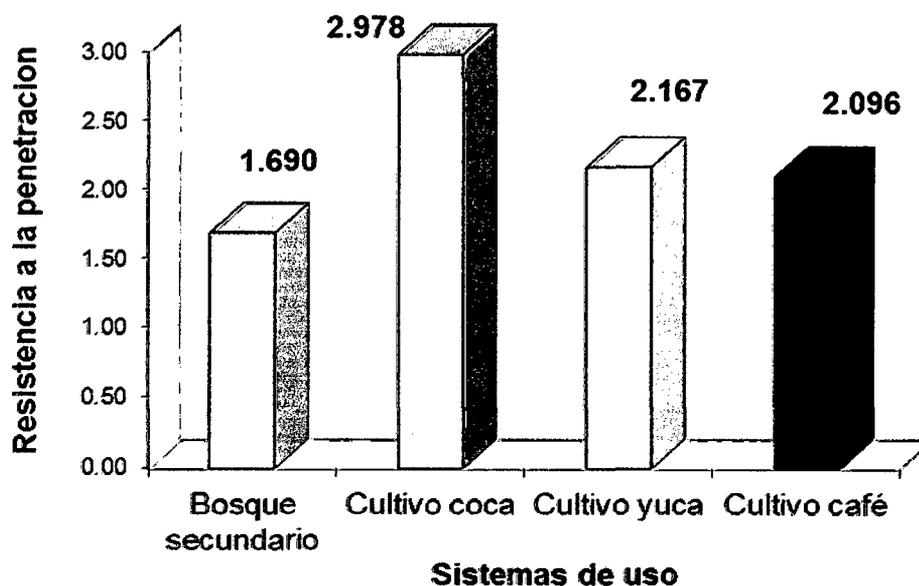


Figura 9. Resistencia a la penetración del suelo en los cuatro sistemas de uso

4.1.1. Humedad

El porcentaje de humedad de los cuatro sistemas de uso como se muestra en el Cuadro 8, SANDOVAL *et al.* (2006). La humedad del suelo también depende de la textura del suelo, mientras esté presente cierto porcentaje de arcilla el suelo se mantendrá húmedo, puesto que las arcillas ayudan a la retención de agua por presentar actividad fisicoquímica y en exceso esta fracción de arcilla produce saturación de agua en el suelo lo que no contribuiría al desarrollo radicular de los cultivos.

El contenido de agua es uno de los factores muy relacionados al grado de compactación que presentan los suelos. Los suelos en estado natural presentan más o menos resistencia de acuerdo a la mayor o menor presencia de humedad, fenómeno que se agudiza en los Vertisoles donde, por su composición montmorrillonítica, ocurren procesos tales de dilatación - contracción que provocan agrietamientos en la capa superficial durante los períodos prolongados de sequía (GARCÍA, 1999).

Cuadro 8. Porcentaje de humedad de los cuatro sistemas de uso

Indicador	Sistemas de uso			
	Bosque secundario	Cultivo coca	Cultivo yuca	Cultivo café
% Humedad	10.162	12.614	18.906	24.898

Fuente: Elaboración propia (2008).

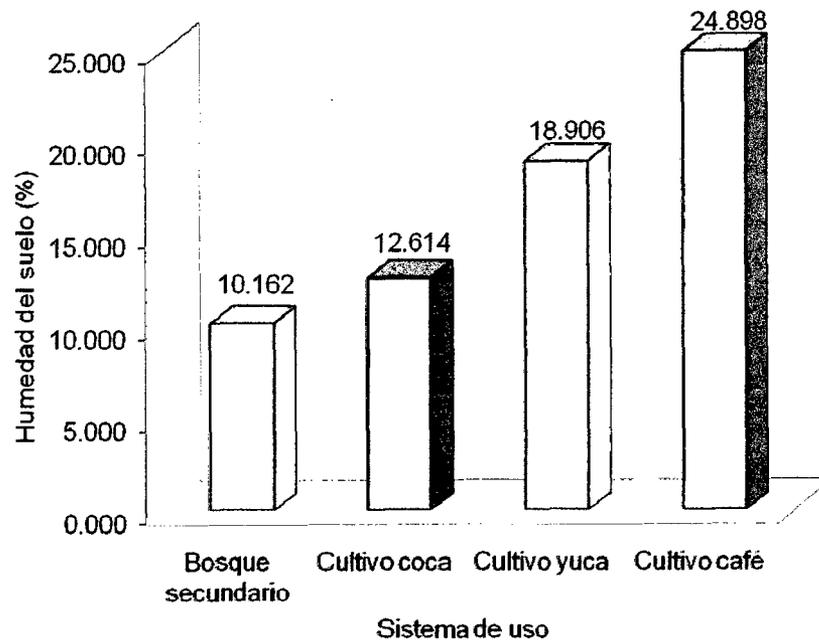


Figura 10. Porcentaje de humedad del suelo en los cuatro sistemas de uso

4.1.2. Espacio poroso

Para el porcentaje de espacio poroso de los cuatro sistemas de uso obtuvimos los siguientes datos con valores más altos en el bosque secundario con 40% al cultivo de café con 37%, al cultivo de yuca con 35% y con menor porcentaje tenemos al cultivo de coca con 25% respectivamente.

El espacio poroso del suelo está muy relacionado con la resistencia a la penetración; es decir, con el grado de compactación del suelo, mientras más compactado este el suelo menos será el espacio poroso en él y menor será la disposición para un buen desarrollo radicular (SUÁREZ, 2001).

Cuadro 9. Porcentaje de espacio poroso de los cuatro sistemas de uso

Indicador	Sistemas de uso			
	Bosque secundario	Cultivo coca	Cultivo yuca	Cultivo café
% Porosidad	40	25	35	37

Fuente: Elaboración propia (2008).

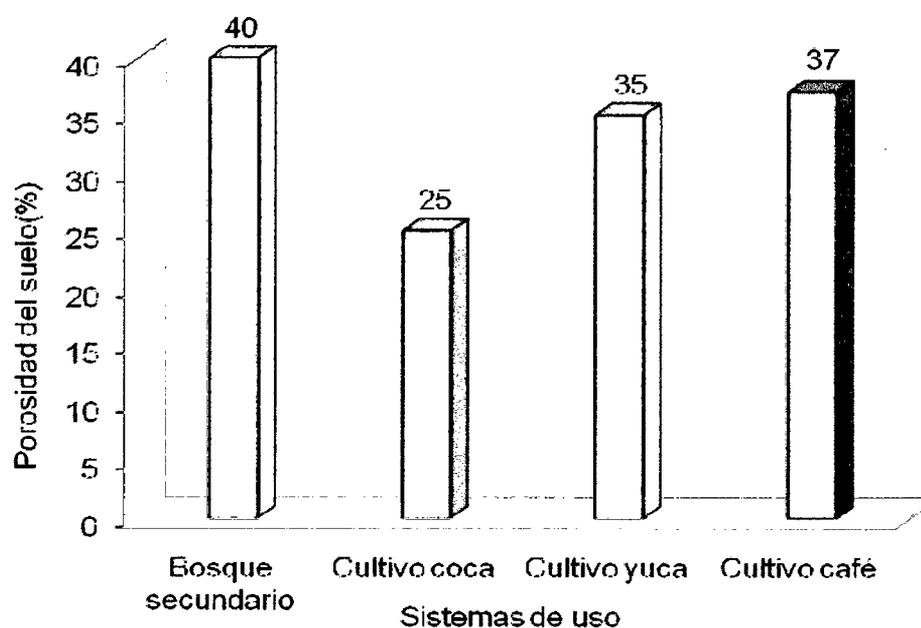


Figura 11. Porcentaje espacio poroso del suelo en los cuatro sistemas de uso

4.2. Propiedades químicas

Las propiedades químicas de los cuatro sistemas de uso suelos (Bosque secundario, cultivo coca, cultivo de yuca, cultivo de café) se muestran en el (Cuadro 10) en el cual podemos observar el pH del suelo, contenido de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, aluminio, hidrógeno, capacidad de intercambio catiónico, bases cambiables y acides cambiables. El establecimiento de todo cultivo hacen disminuir el pH del suelo

posiblemente porque los minerales quedan expuestos al proceso de meteorización química especialmente en la hidrólisis, como consecuencia se liberan las bases cambiables y por existir altas precipitaciones en la zona estas bases se lixivian. La pérdida de cobertura favorece la pérdida de la materia orgánica, lo que se observa en los cultivos de yuca, café y aumentándose en el cultivo de coca, teniendo mayor contenido de materia orgánica y la misma tendencia en el N. Mientras tanto en el mismo cuadro podemos observar que el contenido medio de P, K, Ca, pueden atribuirse al alto contenido de materia orgánica en el bosque secundario. En los otros cultivos de coca, yuca, café, se encuentran en menor proporción porque también ha disminuido la materia orgánica (SANDOVAL, 2006).

Cuadro 10. Propiedades químicas del suelo de los cuatro sistemas de uso del caserío de los Milagros – Aucayacu.

	Bosque secundario	Cultivo coca	Cultivo yuca	Cultivo café
Ph	6.50	3.80	3.80	3.80
M.O. (%)	5.40	1.70	4.50	4.60
N (%)	0.24	0.08	0.20	0.21
P (ppm)	11.30	8.40	8.40	8.10
K ₂ O (kg/ha)	305	254	254	224
Ca. (me/100g)	3.80	1.30	1.30	1.20
Mg. (me/100g)	2.0	0.40	0.40	0.30
Al (me/100g)	0	3.20	3.50	3.30
H (me/100g)	0	1.50	1.40	1.50
CICe (me/100g)	0	6.40	6.60	6.30
Bas.Cam (%)	100	26.56	25.76	23.81
Ac.Camb (%)	0	73.44	74.24	76.19

Fuente: Elaboración propia (2008).

4.3. Propiedades biológicas

4.3.1. Densidad de la macrofauna en los sistemas de uso

La densidad de la macrofauna en los cuatro sistemas de uso (Figura 12), se observó que en el cultivo de café se presentó la más alta densidad de población de 587 ind * m², el cultivo del coca la más baja, siendo esta 123 ind. * m², el cultivo de yuca se encontró 213 ind. * m², y en bosque secundario 224 ind. * m².



Figura 12. Densidad total de la macrofauna del suelo de los cuatro sistemas de uso.

En el caserío los Milagros – Aucayacu, se encontró 8 grupos taxonómicos y las comunidades de Himenópteros constituyeron el mayor componente de la densidad en los cuatro sistemas de uso (65.60 %), seguido

por oligoqueta (12.0%), isópoda (3.20%), isóptera (1.40%), chillopoda (5.60%), aranea (3.70%), coleóptero (7.5%) y con menor porcentaje larvas con (1.0%); en el cultivo de café predominaron las hormigas, en el cultivo de yuca predominaron las lombrices, en el cultivo de coca predominaron las hormigas, y en bosque secundario predominaron las hormigas lo que se muestra en el (Cuadro 11). Las hormigas son organismos que se adaptan a todo tipo de hábitat y en todo tipo de sistemas. Se dice que las hormigas al igual que los arácnidos pueden ser regeneradoras de bosques quemados, ya que atraen a otras especies por ser presas de fácil adquisición. El cultivo de café es un sistema muy integrado, y el néctar que presentan sus frutos, la disposición de su follaje y tallo hacen de este un albergue propicio para estos pequeños inquilinos.

Cuadro 11. Densidad de individuos de la macrofauna

Grupo Taxonómico	Densidad por grupo				Total	%
	Bosque secundario	Cultivo coca	Cultivo yuca	Cultivo café		
Himenópteros (hormigas)	133	85	59	475	752	65.6
Oligoqueta (lombriz)	5	0	117	16	138	12.0
Isópoda (cochinilla)	21	0	0	16	37	3.2
Isóptera (termita)	0	16	0	0	16	1.4
Chillopoda (cien pies)	27	0	16	21	64	5.6
Aranea (arañas)	16	11	0	16	43	3.7
Coleóptera (escarabajo)	11	11	21	43	86	7.5
Larvas	11	0	0	0	11	1.0
Total (ind. x m ²)	224	123	213	587	1147	100

Fuente: Elaboración propia (2008).

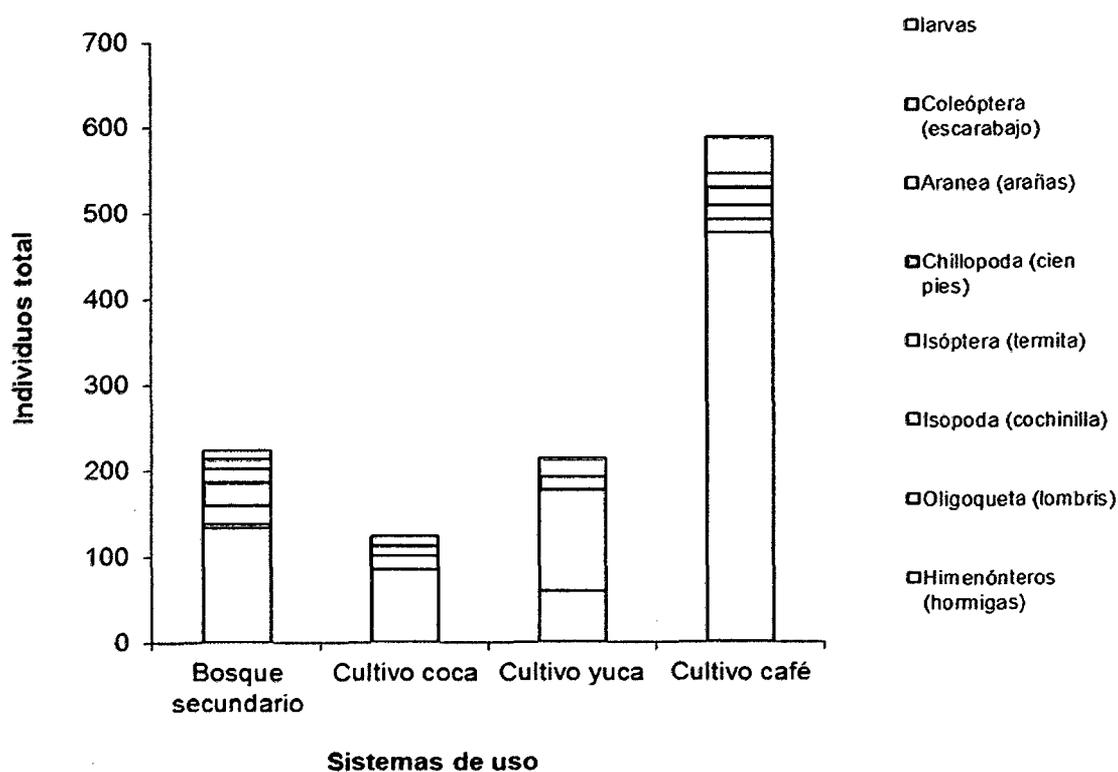


Figura 13. Densidad de los principales grupos taxonómicos de la macrofauna del suelo de los cuatro sistemas de uso del caserío los Milagros

4.3.2. Diversidad de especies

La diversidad de la macrofauna en los cuatro sistemas de uso del caserío los Milagros – Aucayacu (Cuadro 12) nos muestra los resultados obtenidos de la macrofauna por el método de Simpson y el método de Shannon – Wiener, donde podemos observar que en dos métodos para el cultivo del yuca, bosque secundario y cultivo de coca son los valores altos, siendo estos de 65.80%, 63.30% y 59.4% respectivamente y encontrándose el valor más bajo de diversidad en el cultivo de café 33.3%.

La pérdida de biodiversidad podría obedecer a la aplicación de los pesticidas en la agricultura que matan a los organismos en este caso en el cultivo de café tienen menor diversidad porque posiblemente se ha aplicado mayor cantidad de pesticidas, insecticidas, entre otros productos químicos.

Cuadro 12. Diversidad de la macrofauna por el método de Simpson y Shannon – Wiener en los cuatro sistemas de uso

Sistemas de uso	Método Simpson		Método de Shannon - Wiener	
	D	%	H'	E
Bosque secundario	0.633	63.3%	1.352	0.75
Cultivo de coca	0.594	59.4%	0.859	0.62
Cultivo de yuca	0.658	65.8%	1.27	0.92
Cultivo de café	0.333	33.3%	0.76	0.43

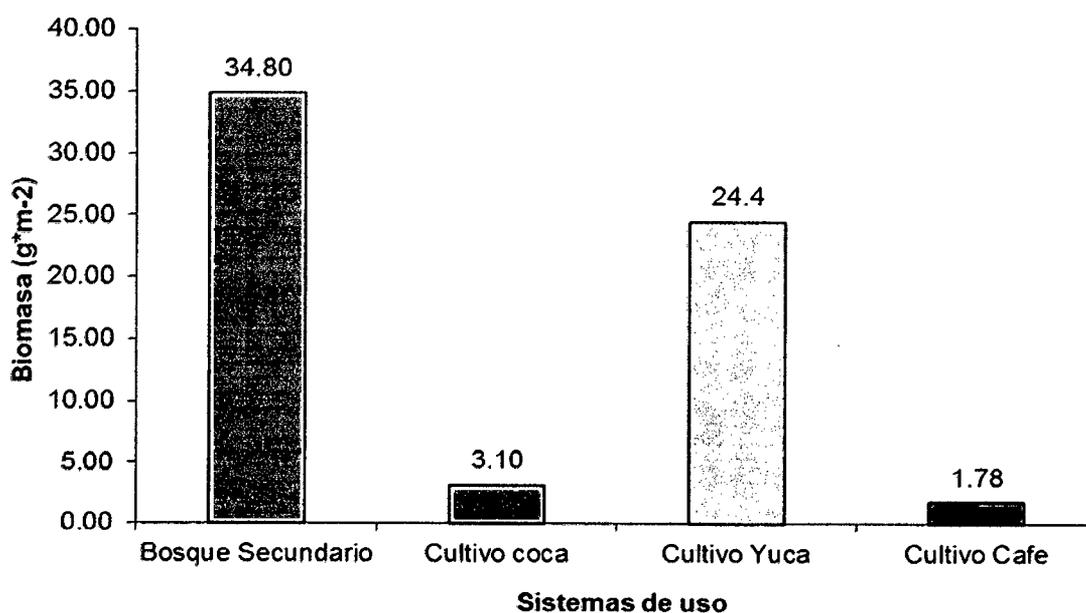
Fuente: Elaboración propia (2008).

4.3.3. Biomasa de la macrofauna en los sistemas de uso

La biomasa de la macrofauna en los cuatro sistemas de uso (Figura 14), podemos observar que en suelos de bosque secundario se presento la más alta biomasa de 34.80 gr x m², seguido por el cultivo de yuca 24.40 gr. x m², y los más bajos el cultivo de coca con el cultivo de café con 3.10 gr. x m² y 1.78 gr. x m² respectivamente.

Este resultado puede obedecer a que los organismos tienen

mayor comida y aumentan su peso corporal. Es decir, el suelo presenta una dinámica tal que podríamos afirmar que es el ecosistema más estable y sustentable para el grupo de organismos que habitan en el, los aportes de materia orgánica e inorgánica mantienen una inmensa cantidad de organismos los cuales apenas estamos comenzando a descubrir. Directa o indirectamente los desechos humanos y animales, sus cuerpos y los tejidos de vegetales llegan a la tierra y allí 'se desaparecen' al transformarse en tierra, todo este trabajo es realizado por los organismos; además, estos organismos liberan sustancias útiles para las plantas de tal manera que sin la actividad microbiana



del suelo la vida se extinguiría gradualmente.

Figura 14. Biomasa total de la macrofauna del suelo.

4.4. Relación entre los indicadores físicos, químicos y biológicos

4.4.1. Modelo

El modelo, que mejor explica las variables del crecimiento de organismos en las diferentes evaluaciones de macrofauna, está en función de algunos aspectos, tanto, físico como químicos del terreno y que a continuación se detalla el modelo ver anexo 2 (cuadro17).

Modelos estimados por cada sistema de uso

- Si la muestra fue tomado de una densidad de macrofauna del bosque secundario, entonces, $X_{1i}=1$, el modelo es como sigue:

$$\begin{aligned} \text{Log}O &= 15.26 + 0.10 * (1) + 5.40 * \log DA + 0.15 * \log T + 0.94 * \log EP \\ &\quad + 0.50 * \log RP + 2.33 * \log PH + 0.18 * \log N \end{aligned}$$

$$\text{Log}PH = 0.50 + 0.20 * \log MO$$

$$\text{Log}N = -0.93 + 0.34 * \log MO$$

$$\begin{aligned} \text{Log}MO &= -0.41 + 0.21 * \log P + 0.29 * \log K2O + 0.13 * \log Ca - 0.03 * \text{Log}Mg \\ &\quad + 0.30 * \text{Log}H + 0.06 * \log Bas \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Log}O &= 15.36 + 5.40 * \log DA + 0.15 * \log T + 0.94 * \log EP \\ &\quad + 0.50 * \log RP + 2.33 * \log PH + 0.18 * \log N \end{aligned}$$

$$\text{Log}PH = 0.50 + 0.20 * \log MO$$

$$\text{Log}N = -0.93 + 0.34 * \log MO$$

$$\begin{aligned} \text{Log}MO &= -0.41 + 0.21 * \log P + 0.29 * \log K2O + 0.13 * \log Ca - 0.03 * \text{Log}Mg \\ &\quad + 0.30 * \text{Log}H + 0.06 * \log Bas \end{aligned}$$

- Si la muestra fue tomado de una densidad de cultivo de coca, entonces, $X_{1i}=2$, el modelo es como sigue:

$$\begin{aligned} \text{Log}O &= 15.26 + 0.10 * (2) + 5.40 * \log DA + 0.15 * \log T + 0.94 * \log EP \\ &+ 0.50 * \log RP + 2.33 * \log PH + 0.18 * \log N \end{aligned}$$

$$\text{Log}PH = 0.50 + 0.20 * \log MO$$

$$\text{Log}N = -0.93 + 0.34 * \log MO$$

$$\begin{aligned} \text{Log}MO &= -0.41 + 0.21 * \log P + 0.29 * \log K2O + 0.13 * \log Ca - 0.03 * \text{Log}Mg \\ &+ 0.30 * \text{Log}H + 0.06 * \log Bas \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Log}O &= 15.46 + 5.40 * \log DA + 0.15 * \log T + 0.94 * \log EP \\ &+ 0.50 * \log RP + 2.33 * \log PH + 0.18 * \log N \end{aligned}$$

$$\text{Log}PH = 0.50 + 0.20 * \log MO$$

$$\text{Log}N = -0.93 + 0.34 * \log MO$$

$$\begin{aligned} \text{Log}MO &= -0.41 + 0.21 * \log P + 0.29 * \log K2O + 0.13 * \log Ca - 0.03 * \text{Log}Mg \\ &+ 0.30 * \text{Log}H + 0.06 * \log Bas \end{aligned}$$

- Si la muestra fue tomado de una densidad de cultivo de yuca, entonces, $X_{1i}=3$, el modelo es como sigue:

$$\begin{aligned} \text{Log}O &= 15.26 + 0.10 * (3) + 5.40 * \log DA + 0.15 * \log T + 0.94 * \log EP \\ &+ 0.50 * \log RP + 2.33 * \log PH + 0.18 * \log N \end{aligned}$$

$$\text{Log}PH = 0.50 + 0.20 * \log MO$$

$$\text{Log}N = -0.93 + 0.34 * \log MO$$

$$\begin{aligned} \text{Log}MO &= -0.41 + 0.21 * \log P + 0.29 * \log K2O + 0.13 * \log Ca - 0.03 * \text{Log}Mg \\ &+ 0.30 * \text{Log}H + 0.06 * \log Bas \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Log}O &= 15.56 + 5.40 * \log DA + 0.15 * \log T + 0.94 * \log EP \\ &+ 0.50 * \log RP + 2.33 * \log PH + 0.18 * \log N \end{aligned}$$

$$\text{Log}PH = 0.50 + 0.20 * \log MO$$

$$\text{Log}N = -0.93 + 0.34 * \log MO$$

$$\begin{aligned} \text{Log}MO &= -0.41 + 0.21 * \log P + 0.29 * \log K2O + 0.13 * \log Ca - 0.03 * \text{Log}Mg \\ &+ 0.30 * \text{Log}H + 0.06 * \log Bas \end{aligned}$$

- Si la muestra fue tomado de una densidad de cultivo de café, entonces, $X_{1i}=4$, el modelo es como sigue:

$$\begin{aligned} \text{Log}O &= 15.26 + 0.10 * (4) + 5.40 * \log DA + 0.15 * \log T + 0.94 * \log EP \\ &+ 0.50 * \log RP + 2.33 * \log PH + 0.18 * \log N \end{aligned}$$

$$\text{Log}PH = 0.50 + 0.20 * \log MO$$

$$\text{Log}N = -0.93 + 0.34 * \log MO$$

$$\begin{aligned} \text{Log}MO &= -0.41 + 0.21 * \log P + 0.29 * \log K2O + 0.13 * \log Ca - 0.03 * \text{Log}Mg \\ &+ 0.30 * \text{Log}H + 0.06 * \log Bas \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Log}O &= 15.66 + 5.40 * \log DA + 0.15 * \log T + 0.94 * \log EP \\ &+ 0.50 * \log RP + 2.33 * \log PH + 0.18 * \log N \end{aligned}$$

$$\text{Log}PH = 0.50 + 0.20 * \log MO$$

$$\text{Log}N = -0.93 + 0.34 * \log MO$$

$$\begin{aligned} \text{Log}MO &= -0.41 + 0.21 * \log P + 0.29 * \log K2O + 0.13 * \log Ca - 0.03 * \text{Log}Mg \\ &+ 0.30 * \text{Log}H + 0.06 * \log Bas \end{aligned}$$

4.4.2. Simulación del modelo

En su mayoría, las variables independientes mantienen una relación directa con el crecimiento de los organismos, ya sea, de manera directa (como se muestra en la primera ecuación) (Ver Anexo 2) e indirecta (como se muestran en las ecuaciones secundarias), con excepción de la

variable de magnesio (Mg). Es muy importante hacer un análisis, cuando es el caso, que se incrementase los factores externo que condicionan el crecimiento de los organismos vivos, es decir, cuando se incrementa las variables independientes, planteándose, lo siguiente:

$$\frac{\partial \log Y_i}{\partial \log X_i} = \frac{\left(\frac{1}{Y_i \ln 10} \right) \partial Y_i}{\left(\frac{1}{X_i \ln 10} \right) \partial X_i} \Rightarrow \frac{\partial \log Y_i}{\partial \log X_i} = \left(\frac{\partial Y_i}{\partial X_i} \right) \left(\frac{X_i}{Y_i} \right),$$

Entonces, la deducción, nos conlleva a comentar, que se refiere, a una elasticidad y que a continuación se realiza el análisis siguiente:

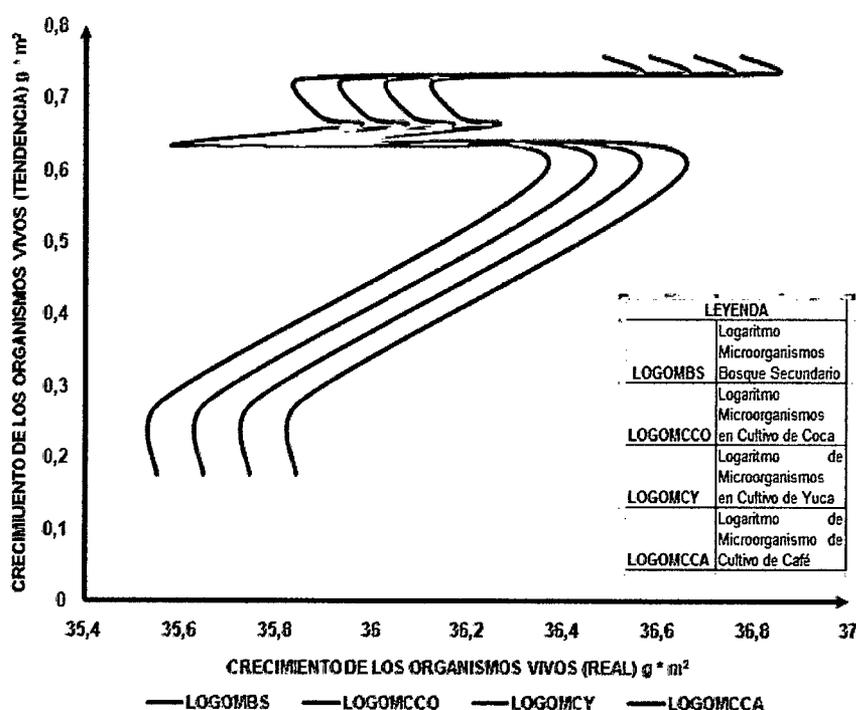


Figura 15. Crecimiento de los organismos vivos, según tipo de terreno y espacio-efecto total.

Los organismos vivos (Figura 14), de acuerdo, a los factores condicionantes, tanto, físicos como químicos, la existencia o de su rápido

crecimiento, se encuentra evidencia en que crece en 40% en el cultivo de café (LOGOMCCA), en el cultivo de yuca (LOGMCY) es más moderado y que representa el 30% de crecimiento, en el cultivo de cicales (LOGOMCCO) en un 20% y en el bosque secundario (LOGOMBS) en 10%, entonces, siendo su crecimiento menor, ya que, presenta una proyección con poca inclinación. Pero, existe también una buena evidencia que, a través, que va en incremento de los factores independientes (factores físicos y químicos), el aumento de los organismos, convergen aun sólo crecimiento y que crece en un 1.65% (36 organismos) de manera aproximado. Además, si observamos los factores independientes que se incrementan, entonces, se tiene el siguiente análisis:

$$\frac{\partial \log O}{\partial \log DA} = 5.40$$

Cada vez que se incrementase la densidad aparente (DA) en un 1%, los organismos crecerán en 5.40%, aproximadamente.

$$\frac{\partial \log O}{\partial \log T} = 0.15$$

La temperatura del ambiente, si experimentara un incremento de 1°C, entonces, esto tendrá un efecto en un aumento de los organismos en 0.15%.

$$\frac{\partial \log O}{\partial \log EP} = 0.94$$

Por cada 1% más, de espacio poroso, el incremento en los organismos será del 0.94%.

$$\frac{\partial \log O}{\partial \log RP} = 0.50$$

La resistencia a la presión, es cada vez mayor, entonces, el crecimiento de los organismos será del 0.50%.

$$\frac{\partial \log O}{\partial \log PH} = 2.33$$

Si el PH del suelo pasa de ácido a alcalino, entonces, el incremento de los organismos será del 2.33%, aproximadamente.

$$\frac{\partial \log O}{\partial \log N} = 0.18$$

Cuánto más nitrógeno posee el suelo, entonces, el crecimiento de los organismos será de un 0.18%, aproximadamente.

Así como las variables independientes, el PH de suelo, % de nitrógeno y % de materia orgánica, son variables dependientes, de otras variables independientes, lo cual se detalla los efectos, siguientes:

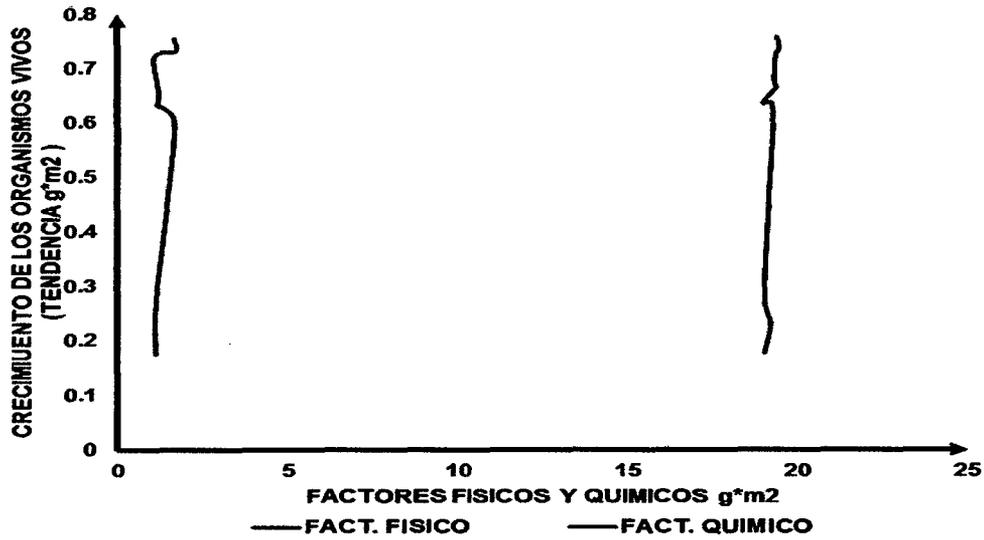


Figura 16. Crecimiento de los organismos vivos, según aspectos físicos y químicos-efecto parcial

Los componentes, tanto, físicos como químicos, constituyen a que se desarrollen de manera normal, así como en su crecimiento y reproducción de los organismos vivos, en los diferentes terrenos de la macrofauna (bosque secundario, cultivo en cocal, cultivo en yuca y cultivo en café). El factor físico, es un componente que representa el 93.67% para su normal crecimiento de los organismos vivos, mientras lo químico, sólo es influyente en el 66.33%. Por lo que, a continuación, se verá los efectos:

$$\frac{\partial \log PH}{\partial \log MO} = 0.20$$

Sí todos los componentes de la materia orgánica, crecieran en promedio del 1%, entonces, el PH del suelo de ácido a alcalino, convergen con una rapidez del 20%, aproximadamente.

$$\frac{\partial \log N}{\partial \log MO} = 0.34$$

La materia orgánica, aproximadamente en todos los componentes químicos que lo conforman; crecieron en promedio del 1%, entonces, el nitrógeno se verá en aumento del 34%.

$$\frac{\partial \log MO}{\partial \log P} = 0.21$$

El fosforo es un componente que es parte de la materia orgánica, mientras exista en mayores cantidades o si se va en aumento del 1%, entonces, la materia orgánica se incrementará en 21%, aproximadamente.

$$\frac{\partial \log MO}{\partial \log K_2O} = 0.29$$

En un incremento del 1% en el óxido de potasio, genera un incremento del 29% en la materia orgánica.

$$\frac{\partial \log MO}{\partial \log Ca} = 0.13$$

Cada vez que se incrementa en un 1% de calcio, entonces, la materia orgánica se incrementará en 13%.

$$\frac{\partial \log MO}{\partial \log Mg} = -0.03$$

El aporte del magnesio es casi nulo en el incremento de la materia orgánica, por lo tanto, puede que esté ocurriendo que la existencia de magnesio no es muy importante, debido a que otros factores químicos son mayores en su aportación.

$$\frac{\partial \log MO}{\partial \log H} = 0.30$$

El incremento del 1% del componente de hidrógeno, genera, un aumento del 30% de materia orgánica.

$$\frac{\partial \log MO}{\partial \log Bas} = 0.06$$

Si en 1% se incrementa el Bas, entonces, se incrementa la materia orgánica en 6%.

V. CONCLUSIONES

1. La textura del suelo en los cuatro sistemas de uso fue de franco arenoso, Se muestra una variación en relación de la densidad aparente, densidad real, temperatura, resistencia a la penetración, porcentaje de Humedad, y porcentaje de espacio poroso en los cuatro sistemas de uso del suelo. De igual manera en los indicadores de las propiedades químicas del suelo difirieron en los cuatros sistemas de uso de los suelos
2. En las propiedades biológicas se identificaron 8 grupos taxonómicos, dentro de ellos: el 65.60 % corresponden a los Himenópteros, 12.0% a los oligoqueta, 3.20%, isópoda, 1.40% isóptera, 5.60% chillopoda, 3.70% aranea, 7.5% coleóptero y 1.0%.
3. Los organismos del suelo correlacionan bien con las propiedades físicas y las propiedades químicas del suelo. Así el factor físico, es un componente que influyen el 93.67% para el normal crecimiento de los organismos vivos. Mientras que en lo químico, sólo es influyente en el 66.33%.
4. La diversidad de especies en el cultivo del yuca, bosque secundario y cultivo de coca fueron de 65.80%, 63.30% y 59.4% respectivamente y el valor más bajo de diversidad lo presenta el cultivo de café con 33.3%, la

densidad de la macrofauna la encontramos que en el cultivo de café presentó la más alta densidad de población $587 \text{ Ind} * \text{m}^2$ y la biomasa en suelos de bosque secundario es de $34.80 \text{ gr} * \text{m}^2$.

VI. RECOMENDACIONES

1. Profundizar el estudio a nivel de las propiedades físicas y biológicas para incorporar dentro del plan de manejo de suelos.
2. Continuar la línea de investigación sobre microfauna, mesofauna y macrofauna del suelo y ampliar el área de estudio, para que de esta manera saber la extensión de territorio que ocupan estos determinados organismos.
3. Replicar el trabajo de investigación en diferentes lugares, comparando los resultados obtenidos para proponer nuevas metodologías con mayor detalle.

VII. ABSTRACT

The present investigation work was developed at residual soils from the Laguna Los Milagros-Aucayacu in four soil use systems such as secondary forest, coca crop, coffee crop and yucca crop; where the quantitation of the macrofauna was made and the relationship with properties of soils. In this investigation the soils physical properties of the soils such as: texture, apparent density, temperature, and penetration resistance. In terms of chemical properties the organic material content, reaction (pH), total nitrogen, available phosphorus, available potassium in Kg/Ha and the cation exchange capacity were evaluated. The biological properties evaluated were: biomass and the macrofauna species diversity. The texture of soil in the four use system was uniquely sandy loam. However there was a variation in the four use system between apparent density, real density, temperature, penetration resistance, relative humidity, percentage of pore space. Eight taxonomic groups were identified such as tubifids, isopod, isopter, chillopoda, aranea, coleopteran and larvas. Soil organisms modify in good way the physical and chemical properties of soils.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ACEVEDO, E., CARRASCO, A., LEÓN, O., SILVA, P., CASTILLO, G., BORIE, G., MARTINEZ, E., GONZÁLEZ, S., AHUMADA, I. 2005. Criterios de calidad del suelo agrícola. [En línea]: (<http://soils.usda.gov/sqi/soil/>, dctos, 8 Nov 2009).
- ARZUAGA, S., LOPEZ, F., DALURZO, C., VASQUEZ, S. 2005. Fósforo total fósforo orgánico y fosfatasa acida, en entisoles, alfisoles y vertisoles de corrientes con diferentes usos agrícolas. Universidad nacional del nordeste. Cátedra de edafología. A-066.
- BLIGHT G.E. 1997 "Mechanics of residual soils". Balkema/Rotterdam, 237 p.
- BURGUES, A. y RAW, F. (eds). 1971. Biología del suelo. Edit. Paraninfo. Edic. Omega. SA. Barcelona-España. 470p.
- BUTLER, R. 2000. Suelos de bosque secundario. [En línea]: (<http://es.mongabay.com/rainforests/0103.htm>, dctos, 3 Nov 2009).

- BROWN y FRAGOSO 2001. Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. *Acta Zool. Mex.* (n.s) Número especial 1:79-110.
- CALDERÓN, F. 1999. Metodologías para el análisis químico del suelo. [En línea]: (<http://www.fftc.agnet.org/>, dctos, 12 Nov 2009).
- CHEN, Z. 2000. Relationship between heavy metal concentrations in soils of Taiwan and uptake by crops. [En línea]: (<http://www.fftc.agnet.org/>, dctos, 12 Nov 2009).
- DAMATTA, M. 1997. El cultivo de café. [En línea]: (http://www.agrobanco.com.pe/cultivo_del_cafe.pdf, dctos, 3 Dic 2009).
- DECAENS, T., LAVELLE, P., JIMÉNEZ-JAEN, J.J., ESCOBAR, G.; RIPPSTEIN, G. 1994. Impact of land management on soil macrofauna in the Oriental Llanos of Colombia. *European Journal Soil Biology*, 30(4):157-168.
- DORAN, J., LINCOLN, N. 1999. Guía para la evaluación de la calidad del suelo. [En línea]: USDA (<http://soils.usda.gov/sqi>), dctos, 22 Nov 2009).

GARCÍA, I. 1999. Resistencia a la penetración de los suelos cambisoles en estado natural y alterado y su relación con la humedad. Centro Agrícola, Nº 3: 57-61.

HUAMANÍ, H., MANSILLA, L., ZAVALA, W. 1998. Evaluación de enmiendas orgánicas e inorgánicas en la recuperación de suelos degradados bajo sistemas de cultivos en fajas. CIUNAS. Tingo María-Perú.

INFOREGION, 2007. Narcotráfico destruyó 2 millones de hectáreas de bosques y contaminó ríos del VRAE y Alto Huallaga. [En línea]: (http://www.inforegion.pe/region/noticia_detalle.php?v_idnoticia=19847&v_idlocacion=1&v_idcategoria=28, dctos, 10 Nov 2009).

LAVELLE, P. and PASHANASI, B. 1992. Soil macrofauna and land management in Peruvian Amazonia (Yurimaguas, Loreto). *Pedobiologia*, 33:283-291.

LOUGHNAN, F. 1969. Génesis del suelo y características generales. [En línea]: (<http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Genesis%20del%20suelo%20y%20caracteristicas%20generales.pdf>, dctos, 5 Nov 2009).

MARTÍNEZ, E. 2003. Reacción del suelo (pH). Rev. Batuco. Universidad de Chile. 1-34.

NATIONAL RESOURCE CONSERVATION SOIL (NRCS) 2004. What is soil quality. [En línea]: USDA (http://soils.usda.gov/sqi/soil_quality/what_is/, dctos, 15 Nov 2009).

NUNES, J. 1993. Manejo del cultivo de café. [En línea]: http://webmail.radiomaranon.org.pe/radiomaranon.org.pe/redmaranon/archivos/cafe_manual_cultivo.pdf, dctos, 2 Nov 2009).

ODUM, E. 1983. Ecología del Suelo. Editorial. Interamericana. México. 295p.

RUCKS, L. GARCIA, F., KAPLAN, A., PONCE, J., HILL, M. 2004. Propiedades físicas del suelo. [En línea]: (<http://www.fagro.edu.uy/~edafologia/curso/Material%20de%20lectura/FISICAS/fisicas.pdf>, dctos, 8 Nov 2009).

SALAS, L. 2004. Características peculiares del Café. [En línea]: (<http://cafeperuano.galeon.com/productos1115094.htm>, dctos, 5 Dic 2009).

SALVADOR, C. 2007. Efectos biológicos en el suelo. [En línea]:

(http://www.cma.gva.es/comunes_asp/documentos/agenda/val/4.4.%20efectos%20biologicos.pdf, dctos, 20 Oct 2009).

SANDOVAL, J., POCASANGRE, L., ROSALES, F., y DELGADO, E.

2006. Importancia de los indicadores físico-químicos en la calidad del suelo para la producción sustentable del banano en Costa Rica. Rev. Costa Rica. Edafología. 25p.

SEVERINO, J. 2004. El cultivo de la yuca. [En línea]:

(http://www.sica.gov.ec/agronegocios/Biblioteca/Ing%20Rizzo/perfiles_productos/YUCA.pdf, dctos, 10 Nov 2009).

SUÁREZ, R. 2001. Composición del suelo. [En línea]:

(http://www.conama.cl/educacionambientalysaluddelsuelo/1142/articles-29099_recurso_6.pdf, dctos, 8 Nov 2009).

ANEXO

Anexo 1. Cuadros.

Cuadro 13. Número de individuos de la macrofauna encontrados en el Bosque secundario.

Individuos	Himenópteros (hormigas)			Oligoqueta (lombriz)			Isópoda (cochinilla)			Isóptera (termita)			Chilopoda (ciempiés)			Aranea (arañas)			Coleóptero (escarabajo)			Larvas		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Nº de muestras	10	10	5	1	0	0	4	0	0	0	0	0	1	3	1	1	2	0	0	2	0	1	0	1
Nº de Individuos	10	10	5	1	0	0	4	0	0	0	0	0	1	3	1	1	2	0	0	2	0	1	0	1
Densidad	160	160	80	16	0	0	64	0	0	0	0	0	16	32	0	16	32	0	0	32	0	16	0	16

Cuadro 14. Número de individuos de la macrofauna encontrados en el cultivo de coca.

Individuos	Himenópteros (hormigas)			Oligoqueta (lombriz)			Isópoda (cochinilla)			Isóptera (termita)			Chilopoda (ciempiés)			Aranea (arañas)			Coleóptero (escarabajo)			Larvas		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Nº de muestras	7	4	5	0	0	0	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0
Nº de Individuos	7	4	5	0	0	0	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0
Densidad	112	64	80	0	0	0	0	0	0	0	48	0	0	0	0	0	0	32	32	0	0	0	0	0

Cuadro 15. Número de individuos de la macrofauna encontrados en cultivo de yuca.

Individuos	Himenópteros (hormigas)			Oligoqueta (lombriz)			Isópoda (cochinilla)			Isóptera (termita)			Chilopoda (ciempiés)			Aranea (arañas)			Coleóptero (escarabajo)			Larvas		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Nº de muestras	7	4	0	5	5	12	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	2	0	2	0	0	0
Nº de Individuos	7	4	0	5	5	12	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	2	0	2	0	0	0
Densidad de Macrofauna	112	64	0	80	80	192	0	0	0	0	0	0	16	16	16	0	0	0	32	0	32	48	0	0

Cuadro 16. Número de individuos de la macrofauna encontrados en el cultivo de café.

Individuos	Himenópteros (hormigas)			Oligoqueta (lombriz)			Isópoda (cochinilla)			Isóptera (termita)			Chilopoda (ciempiés)			Aranea (arañas)			Coleóptero (escarabajo)			Larvas		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Nº de muestras																								
Nº de Individuos	1	5	83	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	4	1	1	1	5	2	1	0	0	0
Densidad	16	80	1328	0	48	0	3	0	0	0	0	0	0	0	4	1	1	1	80	32	16	0	0	0

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María

Facultad de Agronomía-Laboratorio de Análisis de Suelos

Av. Universitaria s/n Telef. (064) 562342 Anexo 283 fax (064) 561156 Apto. 156

ANALISIS DE SUELOS

Procedencia : Tingo María Los Milagros

Solicitante:

Número de Muestra		CE mmh/cm	ANALISIS MECANICO				pH 1:1	CO ₃ C a %	M.O %	N %	P ppm	K ₂ O kg/ha	CAMBIABLES me/100g									
Laborat.	Campo		Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura							CIC	Ca	Mg	K	Na	Al	H	CICe	% bas. Camb	% Ac. Camb
M601-08	M1	Yuca	53,00	32,00	15,00	Fo,Ao	3,8		4,5	0,2	8,40	254		1,3	0,4			3,50	1,40	6,6	25,76	74,24
M602-08	M2	Café Res.	57,00	28,00	15,00	Fo,Ao	3,8		4,6	0,21	8,10	224		1,2	0,3			3,30	1,50	6,3	23,81	76,19
M621-08	M1	Coca	53,00	33,00	15,00	Fo,Ao	3,8		1,7	0,08	8,40	254		1,3	0,4			3,20	1,50	6,4	26,56	73,44
M622-08	M2	Bosque	51,00	38,00	11,00	Fo,Ao	6,5		5,4	0,24	11,30	305	6,93	3,8	2,0	1,1	0,03				100	0,00

Para: % Bases Cambiables=Ca+Mg+K+Na/CICt x 100

Para: % Bases Cambiables=Al+H/CICe x 100

Observaciones: Muestras proporcionadas por el interesado

Fecha; Tingo María, 20 de Noviembre del 2008

Ing Luis G. Mansilla Minaya
JEFE DE LABORATORIO

Anexo 2. Metodología de modelos de regresión múltiple

El modelo de regresión múltiple

Las investigaciones de hoy en día, está referido en comprobar una hipótesis causal, que puede ser contrastable con diferentes pruebas estadísticas, lo cual, en el caso de nuestra investigación es la adopción de modelos simultáneos. Entonces, es explicar el comportamiento de una variable dependiente (Y), en términos, de más de una variable independiente (X_S), lo que se quiere es explicar la influencia, tanto el aspecto, físico como químico de manera significativa, en los microorganismos vivos tomados en los cuatro sistemas de uso de suelo, como son; bosque secundario, cultivo de coca, cultivo de yuca y cultivo de café, lo que sigue, se detalla las variables, tanto, dependiente como las independientes a utilizar en la regresión:

Variable dependiente

Y_i , para todo $i=1, 2, \dots, 11$, muestras.

Y_i = Expresado en logaritmo y se refiere a la cantidad de organismo vivos (hormiga, lombriz, isópoda, termita, chilopoda, arañas, coleóptero, larvas).

Variables independientes

X_{ji} , para $j=1,2,\dots, 20$ variables y Para todo $i=1, 2, \dots, 11$, muestras.

Variables independientes dicotómicas

X_{1i} = Hace de referencia, a la muestra que fue tomado de una densidad de macrofauna del, bosque secundario (=1), cultivo coca (=2), cultivo yuca (=3), cultivo café (=4).

Variables independientes físico

Están expresados en logaritmo de base 10.

LogDA= Esta expresado en logaritmo y hace de referencia a la densidad aparente.

LogT= Esta expresado en logaritmo y hace de referencia a la temperatura en grados centígrados.

LogEP= Esta expresado en logaritmo y hace de referencia al % de espacio poroso.

LogRP= Esta expresado en logaritmo y hace de referencia a la resistencia en la penetración.

Variables independientes químicos

Están expresados en logaritmo de base 10.

LogPH= Esta expresado en logaritmo y hace de referencia al PH del suelo.

LogMO= Esta expresado en logaritmo y hace de referencia al % de M.O.

LogN= Esta expresado en logaritmo y hace de referencia al % de N.

LogP= Esta expresado en logaritmo y hace de referencia a ppm de P.

LogK₂O=Esta expresado en logaritmo y hace de referencia a Kg/Ha de K₂O.

LogCa= Esta expresado en logaritmo y hace de referencia de Me/100 de Ca.

LogMg= Esta expresado en logaritmo y hace de referencia de Me/100 de Mg.

LogBasCam= Esta expresado en logaritmo y hace de referencia al % de Bas. Cam.

LogH= Esta expresado en logaritmo y hace de referencia de Me/100 de H.

El modelo

El modelo, que mejor explica las variables del crecimiento de organismos en las diferentes evaluaciones de macrofauna, está en función de algunos aspectos, tanto, físico como químicos del terreno y que a continuación se detalla el modelo:

Cuadro 17. Crecimiento de los organismos vivos

Nº	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	15.26076	3.781100	4.036064	0.0004
C(2)	0.096507	0.015284	6.314357	0.0000
C(3)	5.396506	1.022481	5.277855	0.0000
C(4)	0.153683	0.654356	0.234861	0.8160
C(5)	0.941753	0.220377	4.273368	0.0002
C(6)	0.504079	0.238787	2.110999	0.0435
C(7)	2.325647	0.231741	10.03556	0.0000
C(8)	0.179235	0.081482	2.199680	0.0360
C(9)	0.503132	0.092030	5.467044	0.0000
C(10)	0.201429	0.154156	1.306661	0.2016
C(11)	-0.927303	0.253719	-3.654851	0.0010
C(12)	0.339682	0.424993	0.799266	0.4306
C(13)	-0.412986	0.280859	-1.470439	0.1522
C(14)	0.209854	0.062307	3.368062	0.0022
C(15)	0.291949	0.108260	2.696747	0.0115
C(16)	0.127105	0.030705	4.139536	0.0003
C(17)	-0.025007	0.007741	-3.230334	0.0031
C(18)	0.304990	0.007616	40.04707	0.0000
C(19)	0.060726	0.018125	3.350471	0.0023

Fuente: Paquete econométrico E views 3.0.

Determinant residual covariance 8.32E-12

Equation:

$$\text{LOGO} = \text{C}(1) + \text{C}(2) * X_1 + \text{C}(3) * \text{LOGDA} + \text{C}(4) * \text{LOGT} + \text{C}(5) * \text{LOGEP} + \text{C}(6) * \text{LOGRP} + \text{C}(7) * \text{LOGPH} + \text{C}(8) * \text{LOGN}$$

Observations: 12

R-squared	0.991674	Mean dependent var	1.113665
Adjusted R-squared	0.977104	S.D. dependent var	0.301555
S.E. of regression	0.045629	Sum squared resid	0.008328

Durbin-Watson stat 2.099293

$$\text{Equation: LOGPH}=\text{C}(9)+\text{C}(10)*\text{LOGMO}$$

Observations: 12

R-squared	0.145837	Mean dependent var	0.616519
Adjusted R-squared	0.060420	S.D. dependent var	0.109542
S.E. of regression	0.106182	Sum squared resid	0.112745
Durbin-Watson stat	0.576092		

$$\text{Equation: LOGN}=\text{C}(11)+\text{C}(12)*\text{LOGMO}$$

Observations: 12

R-squared	0.060047	Mean dependent var	-0.736093
Adjusted R-squared	-0.033949	S.D. dependent var	0.287887
S.E. of regression	0.292733	Sum squared resid	0.856927
Durbin-Watson stat	1.340200		

Equation:

$$\text{LOGMO}=\text{C}(13)+\text{C}(14)*\text{LOGP}+\text{C}(15)*\text{LOGK20}+\text{C}(16)*\text{LOGCa}+\text{C}(17)*\text{LOGMg}+ \\ \text{C}(18)*\text{LOGH}+\text{C}(19)*\text{LOGBas}$$

Observations: 12

R-squared	0.999013	Mean dependent var	0.562909
Adjusted R-squared	0.997828	S.D. dependent var	0.207680
S.E. of regression	0.009680	Sum squared resid	0.000469
Durbin-Watson stat	2.693013		

El crecimiento de los organismos vivos (Y_{1i}) (hormiga, lombriz, isópoda, termita, chillopoda, arañas, coleóptero, larvas), en los terrenos de bosque secundario, cultivo de coca, de yuca y de café, se debe, a los aspectos físicos y químicos, que son; la densidad aparente (DA), a la temperatura ambiente (T), al % de espacio poroso (EP), a la resistencia de la penetración

(RP), al PH del suelo (PH) y al % de nitrógeno (N), ya que, es muy significativo por tener un coeficiente de correlación del 99.17%. A demás, el PH del suelo y él % de nitrógeno depende de la materia orgánica (MO), así, como éste último, está en función de ppm de fosforo (P), a Kg/Ha de K₂O (k₂O), Me/100 de Calcio (Ca), a Me/100 de Magnesio (Mg), a Me/100 de hidrogeno (H) y al % de Bas. (Bas). Si observamos, la Determinant residual covariance (la determinación de la covarianza residual) es de 0.00 aproximadamente, esto quiere decir, no existe correlación contemporánea entre las variables independientes de las ecuaciones simultaneas.

La prueba de Breusch-Pagan

Nos sirve para verificar, la existencia de correlación entre los errores de ecuación a ecuación de sus variables independientes (ecuaciones simultáneas), es decir, la correlación entre variables independientes, lo cual, no debe existir éste problema. Planteándose, la siguiente hipótesis:

<p>H o:</p>	<p>La matriz V es diagonal ($\sigma_{ij}=0$, para todo $i \neq j$), por tanto, es consistente usar MCO, porque, no existe correlación contemporáneo.</p>
<p>H a:</p>	<p>La matriz V no es diagonal ($\sigma_{ij} \neq 0$, para todo $i \neq j$), por tanto, es consistente usar MCGF, porque, existe correlación contemporánea.</p>

Donde:

		LOGO	LOGPH	LOGN	LOGMO
V=	LOGO	1	0.075493	0.046178	0.460141
	LOGPH	0.075493	1	0.432999	0.267022
	LOGN	0.046178	0.432999	1	0.165001
	LOGMO	0.460141	0.267022	0.165001	1

$$gl = \frac{n(n-1)}{2} \Rightarrow gl = \frac{12(12-1)}{2} \Rightarrow gl = 66$$

$$\alpha = 5\% \Rightarrow \alpha = 0.05$$

$$\chi_{gl,\alpha}^2 = \chi_{66,5\%}^2 = 95.96$$

$$\lambda = n \sum_{i=2}^N \sum_{j=1}^{i-1} r_{ij}^2, \quad r_{ij} = \frac{\sigma_{ij}}{\sqrt{\sigma_{ii} \sigma_{jj}}}, \quad \forall i \neq j$$

$$\lambda = 12((0.0755)^2 + (0.0462)^2 + (-0.4601)^2 + (-0.4330)^2 + (0.2670)^2 + (0.1655)^2)$$

$$\lambda = 6.07$$

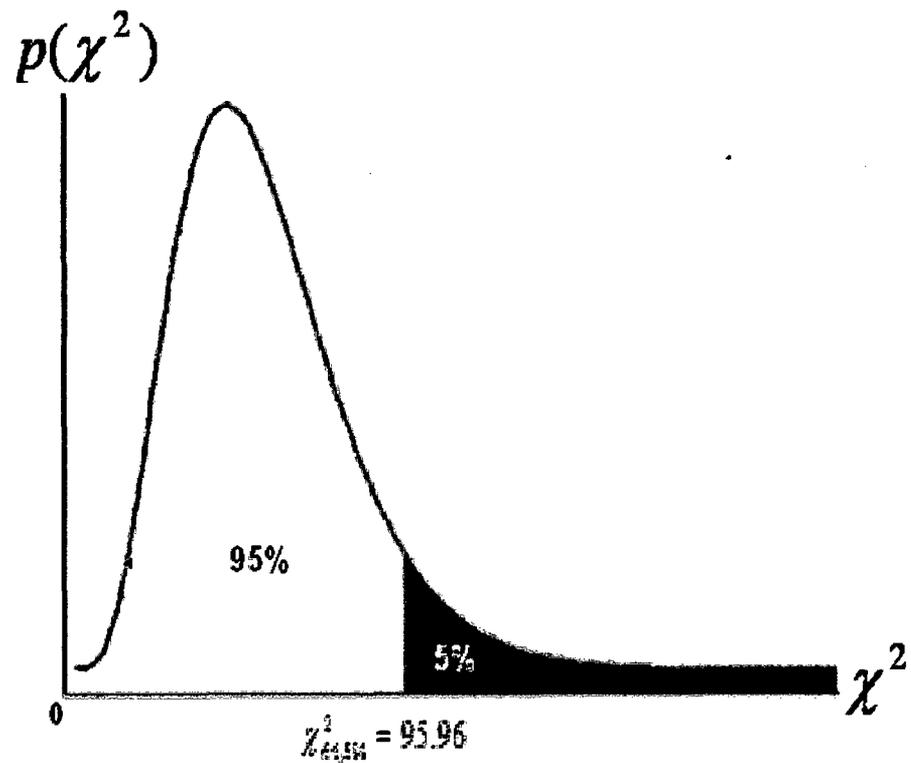


Figura 17. Nivel de confianza.

$\chi^2 > \lambda \cong 95.96 > 6.07$, entonces, se acepta la hipótesis nula, es decir, es consistente usar MCO, porque, no existe correlación contemporáneo entre los errores. A un nivel de confianza del 95%.

A continuación, se detalla el modelo respectivo:

$$\text{Log}O = 15.26 + 0.10 * X_{it} + 5.40 * \log DA + 0.15 * \log T + 0.94 * \log EP \\ + 0.50 * \log RP + 2.33 * \log PH + 0.18 * \log N$$

$$\text{Log}PH = 0.50 + 0.20 * \log MO$$

$$\text{Log}N = -0.93 + 0.34 * \log MO$$

$$\text{Log}MO = -0.41 + 0.21 * \log P + 0.29 * \log K2O + 0.13 * \log Ca - 0.03 * \text{Log}Mg \\ + 0.30 * \text{Log}H + 0.06 * \log Bas$$

Probabilidad (P)

Si observamos, el cuadro 17, la prob. (Probabilidad) casi en todas las variables independientes son muy significativas, a la confiabilidad del 99%, con excepción de la variable independiente del tiempo del ambiente, como, de materia orgánica, ya que, a medida que se incrementa la muestra, se convierten significativos.

Anexo 3. Fotografías



Figura 18. Materiales empleados (Monolitos)



Figura 19. Muestra para determinar densidades.



Figura 20. Parcela de café



Figura 21. Determinando la resistencia de penetración del suelo



Figura 22. Conteo de microorganismos



Figura 23. Macrofauna del suelo