

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACION DE**  
**SUELOS Y AGUA**



**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO EN SISTEMAS DE USO DE LA**  
**TIERRA EN EL DISTRITO DE PADRE ABAD, REGIÓN UCAYALI**

**Tesis**

**Para optar el título de:**

**INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**

**PRESENTADO POR:**

**JULIO CESAR RIVERA BRAVO**

**Tingo María – Perú**

**2023**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
Tingo María – Perú



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°007-2023-FRNR-UNAS

Los que suscriben, miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 27 de enero de 2023 a horas 07:00 p. m. de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la Tesis titulada:

### **“EVALUACION DE LA CALIDAD DEL SUELO EN SISTEMAS DE USO DE LA TIERRA EN EL DISTRITO DE PADRE ABAD, REGION UCAYALI”**

Presentado por la Bachiller: **RIVERA BRAVO, Julio Cesar**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“BUENO”**

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN CONSERVACION DE SUELOS Y AGUA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título correspondiente.

Tingo María, 06 de febrero de 2023

**Dr. ROBERTO OBREGON PEÑA**  
**PRESIDENTE**

**Dr. WILFREDO ALVA VALDIVIEZO**  
**MIEMBRO**



**Ing. JAIME TORRES GARCÍA**  
**MIEMBRO**

**Ing. M.Sc. JOSE DOLORES LEVANO CRISOSTOMO**  
**ASESOR**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL**  
(RIDUNAS)

Correo: [repositorio@unas.edu.pe](mailto:repositorio@unas.edu.pe)



“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

**CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 035 - 2023 - CS-RIDUNAS**

El Coordinador de la Oficina de Repositorio Institucional Digital de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

**CERTIFICA QUE:**

El trabajo de investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Facultad:


Facultad de Recursos Naturales Renovables

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de investigación	
-------	---	--------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO EN SISTEMAS DE USO DE LA TIERRA EN EL DISTRITO DE PADRE ABAD, REGIÓN UCAYALI	JULIO CESAR RIVERA BRAVO	<b>18%</b> <b>Dieciocho</b>

Tingo María, 21 de febrero de 2023

  
**Mg. Ing. García Villegas, Christian**  
Coordinador del Repositorio Institucional  
Digital (RIDUNAS)



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACION  
OFICINA DE INVESTIGACION**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**


**REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCION DEL  
TITULO UNIVERSITARIO, INVESTIGACIÓN DOCENTE  
Y TESISISTA**


**(Resol. N° 113-2019-CU-R-UNAS)**

**I. Datos Generales de Pregrado**

**Universidad** : Universidad Nacional Agraria de la Selva.  
**Facultad** : Facultad de Recursos Naturales Renovables.  
**Título de tesis** : Evaluación de la calidad del suelo en sistemas de uso de la tierra en el distrito de Padre Abad, región Ucayali.  
**Autor** : Rivera Bravo Julio Cesar.  
**Asesor de tesis** : Ing. M.Sc. Lévano Crisóstomo Jose Dolores.  
**Escuela Profesional** : Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua.  
**Programa de investigación** : Manejo y Conservación de Suelos  
**Línea(s) de investigación** : Evaluación de parámetros físico químicos y biológicos  
**Eje Temático** : Agroforestería comunitario  
**Lugar de ejecución** : Caserío Mariela, distrito de Padre Abad.  
**Duración** : Inicio : Octubre 2021  
Término : Enero 2023  
**Financiamiento** : FEDU : S/0.00  
Propio : S/2 525 soles  
Otros : S/0.00

**Tingo María, Perú, enero 2023.**

  
Rivera Bravo Julio Cesar  
**Tesista**

  
Jose Dolores Levano Crisostomo  
**Asesor**

## DEDICATORIA

A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi padre Yony.

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien.

A mi hermana Erika.

Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

A mis familiares.

A mi tía Alicia por ser el ejemplo de una persona mayor y de la cual aprendí aciertos y de momentos difíciles; a mi tío Carlos, a mi sobrina Thaila, a mi sobrino Yovani y a todos aquellos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis.

**¡Gracias a ustedes!**

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva y en especial a la Facultad de Recursos Naturales Renovables por permitirme ser parte de una generación de triunfadores y gente productiva para el país, por haberme forjado como profesional.

A mis maestros por su gran apoyo y motivación para la culminación de nuestros estudios profesionales y para la elaboración de esta tesis; al Ing. José Lévano Crisóstomo por su apoyo ofrecido en este trabajo, por su tiempo compartido y por impulsar el desarrollo de nuestra formación profesional.

A mis amigos que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y que, hasta ahora, seguimos siendo amigos: Kevin Reátegui, Anthony Meza, Alcibiades Gutiérrez, Roció Vicuña, Mishell Ríos, Johana Potesta, Rogelio Carro y a Liz por haberme ayudado a realizar este trabajo.

A todos los forjadores de las bases de conocimiento, y a mis amigos que acompañaron y apoyaron de la forma directa e indirectamente en la cristalización de la investiga

## ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Objetivo general .....	2
1.2. Objetivos específicos.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. El recurso suelo .....	3
2.1.1. Fertilidad del suelo .....	4
2.2. La calidad del suelo .....	4
2.2.1. Indicadores físicos.....	5
2.2.2. Indicadores químicos .....	5
2.2.3. Macrofauna del suelo .....	6
2.3. Degradación del suelo .....	8
2.3.1. Deterioro de la estructura edáfica .....	8
2.3.2. Pérdida de nutrientes en el suelo.....	8
2.4. Los sistemas agroforestales (SAF) .....	9
2.5. Bosques secundarios.....	10
2.6. Suelos con ex cicales .....	10
2.7. Investigaciones realizadas .....	11
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	13
3.1. Lugar de ejecución .....	13
3.1.1. Ubicación política .....	13
3.1.2. Ubicación geográfica de las parcelas en estudio.....	14
3.2. Materiales, insumos y equipos .....	14
3.2.1. Materiales y equipos de campo .....	14
3.2.2. Materiales, equipos e insumos de laboratorio .....	14
3.3. Metodología.....	14
3.3.1. Fase de gabinete - campo .....	15
3.3.2. Etapa de campo - gabinete .....	15
3.3.2.1. Ejecución de calicatas .....	16
3.3.2.2. Muestreo de suelos.....	18
3.3.2.3. Muestreo de macrofauna.....	20
3.3.3. Determinación de las propiedades físico químicas del suelo.....	21

3.3.4. Variables a evaluar .....	22
3.3.4.1. Variables independientes .....	22
3.3.4.2. Variables dependientes .....	22
3.3.5. Análisis de datos .....	22
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	23
4.1. Indicadores físicos del suelo.....	23
4.2. Indicadores químicos del suelo .....	27
4.2.1. Reacción del suelo o pH.....	27
4.2.2. Materia orgánica.....	28
4.2.3. Nitrógeno .....	28
4.2.4. Fósforo disponible.....	29
4.2.5. Potasio .....	30
4.2.6. Capacidad de intercambio catiónico .....	31
4.3. Propiedades biológicas del suelo.....	32
4.3.1. Abundancia de individuos por sistema de uso .....	32
4.3.2. Biomasa.....	36
4.3.3. Riqueza y diversidad de especies .....	36
V. CONCLUSIONES .....	39
VI. PROPUESTAS A FUTURO.....	40
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41
VIII. ANEXO.....	43



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Ubicación geográfica en coordenadas UTM de las parcelas en estudio .....	14
2. Parámetros físicos y químicos del suelo a evaluar.....	21
3. Indicadores físicos del suelo por unida experimental a través de la profundidad del suelo .....	25
4. Análisis de varianza (ANOVA) para variable reacción del suelo o pH.....	27
5. Promedio de reacción del suelo o pH en los diferentes sistemas de uso.....	27
6. Análisis de varianza (ANOVA) para variable materia orgánica.....	28
7. Promedio de materia orgánica en el suelo (%) de diferentes sistemas de uso .....	28
8. Análisis de varianza (ANOVA) para variable nitrógeno disponible en el suelo .....	29
9. Promedio de nitrógeno disponible (%) en el suelo .....	29
10. Análisis de varianza (ANOVA) para variable fósforo disponible en el suelo (ppm) .....	30
11. Promedio de fósforo disponible (ppm) en el suelo de diferentes sistemas de uso.....	30
12. Análisis de varianza (ANOVA) para variable potasio en el suelo (kg/ha) .....	31
13. Promedio de potasio en el suelo.....	31
14. Análisis de varianza (ANOVA) para variable capacidad de intercambio catiónico del suelo .....	31
15. Promedio de capacidad de intercambio catiónico .....	32
16. Análisis de varianza (ANOVA) para variable abundancia de macrofauna (ind/m <sup>2</sup> ) en el suelo de diferentes sistemas de uso .....	32
17. Promedio de abundancia de macrofauna (ind/m <sup>2</sup> ) en el suelo .....	33
18. Promedio de abundancia de macrofauna (ind/m <sup>2</sup> ) en el suelo por ordenes.....	33
19. Análisis de varianza (ANOVA) para variable biomasa (g/m <sup>2</sup> ) en el suelo.....	36
20. Promedio de abundancia de biomasa (g/m <sup>2</sup> ) en el suelo.....	36
21. Promedio de riqueza específica (S), índice de Shannon – Weaver (H') e índice de equidad (J).....	37

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Composición del suelo .....	3
2. Composición del suelo .....	4
3. Clasificación de los organismos del suelo .....	7
4. Sistema silvopastoril .....	10
5. Suelos degradados con presencia de macorilla .....	11
6. Metodología de ejecución de proyecto .....	15
7. Cartel de identificación de parcela de estudio.....	16
8. Demarcación del área de la calicata a excavar.....	17
9. Excavación de calicata en parcela con plantación de guaba.....	17
10. Identificación de estratos.....	18
11. Metodología empleada para toma de muestra de suelo en Zigzag.....	19
12. Limpieza del área a realizar el muestreo de suelos .....	19
13. Promedio de abundancia de macrofauna (ind/m <sup>2</sup> ) en el suelo .....	35
14. Cartel de identificación de parcela.....	44
15. Trazado de área de calicata en parcela agroforestal.....	44
16. Identificación y medición de estratos en parcela de bosque secundario.....	45
17. Trazado de área de calicata en parcela de guaba.....	45
18. Identificación y medición de estratos en parcela de cocal .....	46
19. Excavación de calicata en parcela de guaba .....	46
20. Identificación y medición de estratos en parcela agroforestal .....	47
21. Muestreo de suelos en parcela de cocal .....	47
22. Muestreo de suelos en parcela de cocal .....	48
23. Determinación de materia orgánica del suelo .....	48
24. Pesado de muestras de suelo .....	49

## RESUMEN

La investigación se realizó en cuatro parcelas diferenciadas por el sistema de uso (sembríos de coca, agroforestal, leguminosas (*Inga edulis*), y bosque secundario) situados en el caserío Mariela, distrito de Padre Abad. Con la finalidad de evaluar el efecto de cuatro sistemas de uso en las propiedades físico química y biológica en la recuperación de suelos en el caserío Mariela, distrito de Padre Abad. El desarrollo de la investigación estuvo enmarcado en dos fases: campo y gabinete. El procedimiento consistió en recopilar aquella información existente de la zona de estudio, referente a información de suelos, los sistemas de manejo empleados, así como la ocultación del perfil del suelo. El estudio de suelos requerido del muestreo del mismo a una profundidad de 30 cm por el método de zigzag; la ejecución de calicatas con dimensiones de un área de 50 m x 25 m, respectivamente.

Los suelos con sistema con bosque secundario, agroforestal e *Inga edulis* mostraron mejor calidad de los indicadores físicos y químicos del suelo. El sistema con bosque secundario mostro mayor promedio de abundancia de macrofauna, seguido por el sistema agroforestal sistema con *Inga edulis*, mientras que el sistema con cultivo de coca mostro menor promedio. La abundancia de los sistemas de uso en estudio estuvo representada por los órdenes Orthoptera , Hemiptera, Dermaptera, Hymenoptera, Lepidoptera, Diptera, Coleoptera, Diplopoda, Araneae, Acari, Isopoda, Haplotaxida. Existio un sobre los indicadores químicos del uso mediante el uso de sistemas con bosque secundario y agroforestal, siendo el sistema de uso con cultivo de coca el que mostro menor calidad de suelos. Concluyéndose que la recuperación de suelos degradados con sistemas agroforestales ejerce un efecto positivo en las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo.

**Palabras claves:** Producción, hojarasca, sistemas, uso, propiedades, químicas, suelo.

## ABSTRACT

The research was carried out in four plots differentiated by the use system (coca crops, agroforestry, legumes (*Inga edulis*), and secondary forest) located in the Mariela farmhouse, Padre Abad district. In order to evaluate the effect of four use systems on the physical, chemical and biological properties in the recovery of soils in the Mariela farmhouse, Padre Abad district. The development of the research was framed in two phases: field and cabinet. The procedure consisted of compiling existing information from the study area, reference to soil information, the management systems used, as well as the concealment of the soil profile. The required soil study of the same to a depth of 30 cm by the zigzag method; the execution of pits with dimensions of an area of 50 m x 25 m, respectively.

The soils with system with secondary forest, agroforestry and *Inga edulis* showed better quality of the physical and chemical indicators of the soil. The system with secondary forest showed the highest average abundance of macrofauna, followed by the agroforestry system with *Inga edulis*, while the system with coca cultivation showed the lowest average. The abundance of the use systems under study was represented by the orders Orthoptera, Hemiptera, Dermaptera, Hymenoptera, Lepidoptera, Diptera, Coleoptera, Diplopoda, Araneae, Acari, Isopoda, Haplotaxida. There was an over the chemical indicators of the use through the use of systems with secondary forest and agroforestry, being the system of use with coca cultivation the one that showed the lowest quality of soils. Concluding that the recovery of degraded soils with agroforestry systems has a positive effect on the physicochemical and biological properties of the soil.

**Keywords:** Production, litter, systems, use, properties, chemicals, soil.

## I. INTRODUCCIÓN

Año tras año, a través de las imágenes satelitales del “Proyecto de Monitoreo de la Amazonía Andina (MAAP)” se observa un enorme incremento de la deforestación de nuestra selva peruana, con mayor índice en las regiones de Amazonas, Madre de Dios, Huánuco, cusco y la región San Martín. Existiendo una reducción considerable de la cobertura vegetal o boscosa, la cual es indispensable y primordial para lograr mantener el equilibrio de la ecología. Este fenómeno por lo general antrópico, en su complejidad está perjudicando considerablemente el régimen hídrico, puesto que la cantidad y calidad del recurso hídrico no es la misma como hace décadas atrás, existiendo sequías constantes, generalmente con agua turbia. Asimismo, al ocurrir las precipitaciones, el impacto es mayor en las poblaciones por la mala situación del suelo.

Durante 30 años el distrito de Padre Abad estuvo dominado por cultivos ilícitos como es la hoja de coca articulada con el narcotráfico, siendo la principal fuente de ingresos de la población, lo cual conllevaba una ampliación de área para su instalación, realizando la deforestación de manera colosal en bosques. El uso excesivo de pesticidas utilizado en el manejo del cultivo de coca para el control de malezas ocasionó la pérdida de la capa superficial de los suelos, dando como resultado las degradaciones estas.

Durante el año 2017, los reportes del Ministerio del Ambiente refieren pérdidas de la amazonia peruana en un promedio de 143 425 hectáreas, siendo las principales causas debido a la intervención del ser humano, mediante actividades agropecuarias, agricultura y ganadería extensiva, sin sistemas de manejo de conservacionistas; sumado a todo ello, en las últimas décadas se suscita la expansión considerable de la instalación de la palma aceitera y la minería ilegal. En la actualidad, los índices de deforestación de nuestra amazonia peruana siguen siendo altos, e incluso se siguen detectando nuevas extensiones deforestadas, en las que se han perdido significativamente grandes extensiones de bosques.

En la provincia de Ucayali, distrito de Padre Abad, las instituciones públicas como: las municipalidades a través de los PIRDAIS (DESARROLLO ALTERNATIVO INTEGRAL Y SOSTENIBLE); la Comisión Nacional para el Desarrollo y Vida sin Drogas – DEVIDA; vienen ejecutando proyectos con fines de recuperación de suelos degradados mediante la instalación de especies forestales en asociación con cultivos agrícolas. Sin embargo, se carece de información respecto al efecto de estos sistemas agroforestales sobre las propiedades fisicoquímicas biológicas del suelo. Por lo antes mencionado, se plantea como problema de investigación: ¿la recuperación de suelos degradados con diferentes sistemas de uso ejerce un

efecto positivo sobre las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo?; Por ello, se planteó la siguiente hipótesis: la recuperación de suelos degradados con sistemas agroforestales ejerce un efecto positivo en las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo. Para demostrar esto se plantea los siguientes objetivos:

### **1.1. Objetivo general**

Evaluar la influencia de cuatro sistemas de uso en las propiedades físico química y biológica en la recuperación de suelos en el caserío Mariela, distrito de Padre Abad.

### **1.2. Objetivos específicos**

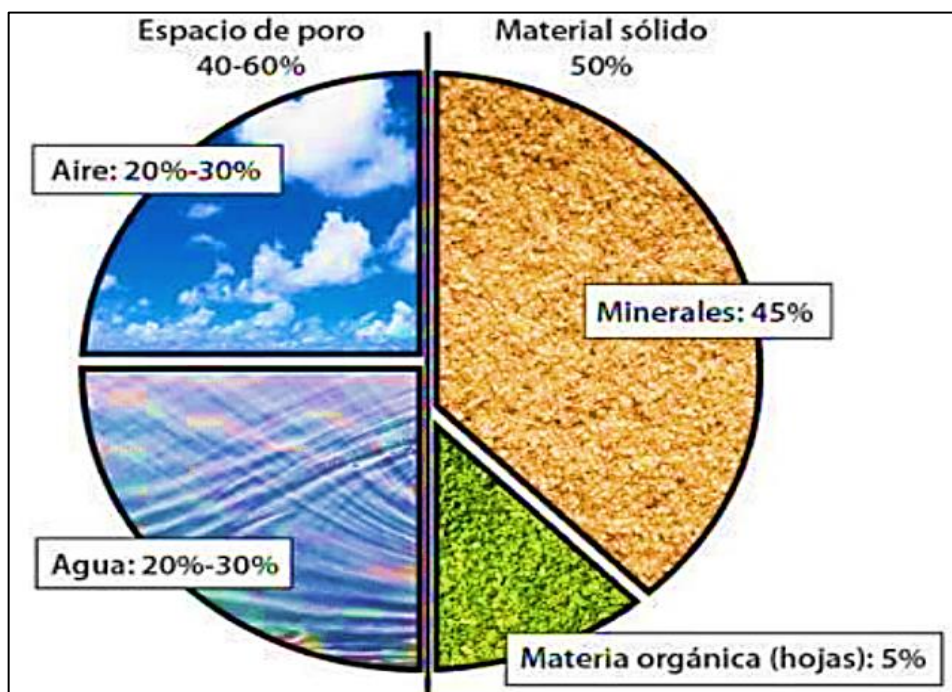
- Determinar las propiedades físicas (textura, densidad aparente, resistencia a la penetración) en sistemas de uso en parcelas con sembríos de coca, agroforestal, leguminosas (*Inga edulis*), y bosque *secundario*.
- Determinar las propiedades químicas del suelo (materia orgánica, nitrógeno total, fósforo *disponible*, potasio disponible, capacidad de intercambio catiónico), en los distintos usos de suelos.
- Determinar las propiedades biológicas (la diversidad y la densidad de macrofauna) en parcelas con distintos usos de suelos.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. El recurso suelo

El suelo es considerado uno de los recursos naturales más importantes que logran la subsistencia de la vida en el planeta. Siendo fundamentalmente la base para lograr la explotación forestal, agrícola y pecuaria. Por tanto, la producción de alimentos está directamente relacionado al tipo de uso al que se les da (Martin y Adad, 2006).

A través de los años, la roca madre o roca originaria sufren una serie de procesos complejos para su formación, dichos cambios engloban procesos físicos, químicos y biológicos. Los cambios físicos conllevan a la reducción del tamaño de partículas, sin embargo, no sufren alteraciones químicas durante este proceso. Por lo general, son causados por etapas de hielo-deshielo, precipitaciones y algunos efectos ambientales. Estos cambios químicos son causados por la separación o disgregación de partículas minerales, con procesos de alteración y/o destrucción y en ocasiones a la resíntesis a compuestos sólidos de naturaleza más estable, estos se deben a factores influyentes como el agua, oxígeno, compuestos orgánicos y al dióxido de carbono (Budhu, 2007).



**Figura 1.** Composición del suelo

Fuente: Martin, N; Adad, I. 2006.

### 2.1.1. Fertilidad del suelo

En la actualidad, la fertilidad del suelo a recibido una serie de conceptos, una de ellas es considerarlo como “suelo fértil”, usado de manera tradicional o convencional para estudiar y comprender el estado de la salud del suelo en un fin práctico de contexto agropecuario y forestal. Comúnmente se plantea al suelo fértil como aquel componente que dispone de la capacidad de dar suministro de nutrientes a las plantas, asegurando un crecimiento y desarrollo óptimo (Havlin et al., 1999).



**Figura 2.** Composición del suelo

Fuente: Hazelton, S.; Murphy, W. 2007.

Las propiedades biológicas están directamente relacionadas con las propiedades físicas, entre ellas tenemos la disponibilidad de nutrientes y la capacidad de intercambio iónico. Estos dos tienen la particularidad de determinar la fertilidad de un suelo, conservando las propiedades físicas, químicas y biológicas ideales o deseables para un cultivo. Suministrando proporcionalmente agua y nutrientes, además de servir como sostén mecánico para la fijación de las raíces de las plantas (Etchevers, 1999).

### 2.2. La calidad del suelo

Se entiende por calidad de suelo a la utilidad del mismo en una amplia escala para propósitos específicos. La salud del suelo constituye fundamentalmente al estado de aquellas propiedades dinámicas como la diversidad de organismos, al nivel de materia orgánica en el



suelo, y a aquellos productos microbianos en un determinado tiempo en particular. Décadas atrás el concepto de calidad del suelo estuvo regido a la productividad agrícola, esto debido a la baja o poca diferenciación entre tierras y suelo. Se llamaba tierras de excelente calidad a aquellas que brindaban una máxima producción, y una mínima erosión del suelo. Sin embargo, el concepto de propio de calidad del suelo está asociado a la sostenibilidad del mismo (Singer y Ewing, 2000).

Para investigadores como Budd (1992), la calidad del suelo está directamente asociado a la capacidad de mantener un determinado número de individuos en un área determinada, sin embargo, para Buol (1995), la calidad del suelo se basa a la capacidad de este a brindar elementos esenciales, puesto que son finitos y limitados.

### **2.2.1. Indicadores físicos**

Los indicadores físicos son aquellos que son necesarios para determinar la calidad del suelo, debido a que no pueden ser fácilmente mejorados. Estos indicadores están directamente asociados con el eficiente uso del agua, nutrientes y pesticidas, reduciendo significativamente el efecto invernadero, asimismo genera un incremento de la producción agrícola (Navarro, 2008).

La calidad del suelo no puede ser cuantificada de manera directa, sin embargo, para entender se infiere a través de una serie de indicadores físicos, químicos y biológicos, siendo estos de naturaleza estática y dinámica, asimismo, dicha medición está directamente relacionado al uso y las prácticas de manejo (Carter, 2002).

Los indicadores físicos del suelo son indispensables para la evaluación de calidad del suelo, brindando información para mejorar o restaurar las condiciones o requerimientos del cultivo (Singer y Ewing, 2000).

La calidad del suelo está directamente relacionado a la eficiencia del agua y disponibilidad de nutrientes (Navarro, 2008). Sin embargo, estos indicadores son de naturaleza estáticos y dinámicos, influenciados por el uso y prácticas de manejo de suelo (Carter, 2002).

### **2.2.2. Indicadores químicos**

Se entiende por indicadores químicos a las condiciones de estas que influyen directamente sobre la relación suelo – planta, la capacidad amortiguadora del agua, la calidad y disponibilidad de nutrientes para el óptimo desarrollo y crecimiento de las plantas (SQI, 1996). Entre indicadores químicos tenemos al carbono orgánico del suelo, pH, disponibilidad de nutrientes, conductividad eléctrica, absorción de fosfatos, materia orgánica y nitrógeno.

Larson y Pierce (1991), refiere que el macroelemento como el fósforo llega al suelo a través de la liberación del mismo desde rocas compuestas por material fosforado, mediante la acción de meteorización en forma de fosfatos (PO<sub>4</sub>), para luego ser asimilados por animales y vegetales, quienes lo excretan, y finalmente son descompuestos por saprofitos para volver al suelo en forma de fosfato (PO<sub>4</sub>)-3, continuándose así el ciclo.

Hazelton y Murphy (2007) refieren que valor de 12 meq/100 gr es promedio máximo para que el índice de capacidad de intercambio catiónico sea catalogado como suelos de intercambio bajo. Los resultados en la presente investigación muestran niveles altos de capacidad de cambio. Por lo que estos suelos tienen una serie de efectos positivos. entre los principales podemos inferir que amortiguan cambios bruscos de pH, una estabilidad estructural controlada, disponibilidad de nutrientes en aumento, mayor intensidad del efecto de enmiendas y fertilizantes, entre otros (Metson, 1961).

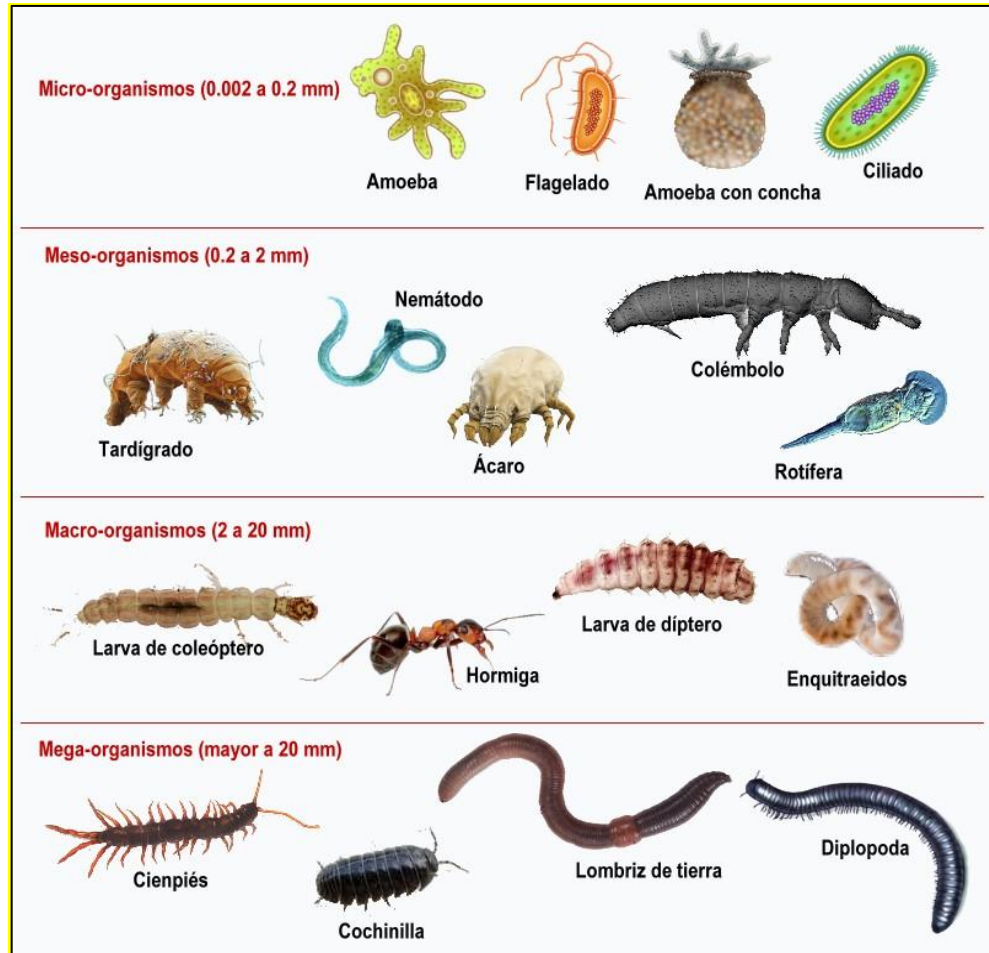
En ecosistemas con altas precipitaciones generalmente la acidez es mayor y por esta naturaleza, los residuos orgánicos presentan acidez. Sumado a ello, la labor antrópica mediante la aplicación de enmiendas y/o fertilizantes, el riego, logran alterar el pH natural del suelo (USDA, 1999).

### **2.2.3. Macrofauna del suelo**

La macrofauna son determinados organismos que constituyen la fracción orgánica del suelo, estos macroinvertebrados comprenden a aquellos invertebrados con dimensiones mayores de 2 mm de longitud. La macrofauna del suelo es móvil activamente en el suelo, elaborando galerías en las cuales viven en el suelo. En estos grupos encontramos a los quilópodos, arácnidos, diplópodos, isópodos, isópteros, moluscos y formícidos, coleópteros y oligoqueto (lombrices de tierra) (Ramirez y Trujillo, 2003).

La diversidad de los horizontes encontrados en cada una de las unidades en estudio o parcelas son el resultado de un proceso complejo, el cual involucra alteraciones físicas, químicas y biológicas que ocurren en la roca madre o material parental (Budhu, 2007).

En la selva tropical, la macrofauna en abundancia logra alcanzar varios millones de individuos en una hectárea, mientras que el índice de biomasa fluctúa en toneladas por hectárea. Es preciso indicar que, en estos ecosistemas complejos, la diversidad en situaciones óptimas puede superar el millar de especies. Sin embargo, en la actualidad se carecen de datos preciso sobre el índice de diversidad específica edáfica en un determinado ecosistema dado (Brown *et al.*, 2000).



**Figura 3.** Clasificación de los organismos del suelo.

Fuente: (Brown *et al.*, 2000).

La macrofauna desde el punto de vista funcional alberga a los organismos catalogados como epigeos, incluyendo dentro de este grupo a los invertebrados que están situados en la superficie del suelo y sobre todo él (hojarasca), su hábito es del nivel trófico primordialmente de carácter detritívoro, entre ellos tenemos a los caracoles, mil pies, entre otros; por su parte, los organismos catalogados como anécicos viven de manera parcial en el suelo, estando constituidos en su mayoría por hormigas y termitas. Finalmente, organismos como los endógeos viven comúnmente en el suelo y dentro estos tenemos a algunos escarabajos y las lombrices de tierra (Lavelle, 1997).

La macrofauna presenta organismos epígeos, invertebrados que están en el suelo y hojarasca (milpiés, los caracoles, las cochinillas, entre otros) y los organismos anécicos, que están en el suelo (termitas y hormigas; y organismos endógeos) (Lavelle, 1997).

Organismo endógeos, epigeos y anécicos son los que subdividen a la macrofauna, cada una de estas categorías presenta roles diferentes de funcionamiento en el

ecosistema edáfico, sin embargo, aquellos miembros de una misma categoría logran presentar efectos diferentes sobre el ecosistema del suelo.

### **2.3. Degradación del suelo**

El pastoreo es una de las actividades que generan gran impacto en el proceso de degradación del suelo, entre ellas disminuye o mantiene inalteradas aquellas cantidades de la materia orgánica presente en el suelo. Sin embargo, a pesar de que muchos estudios refieren incrementos de la materia orgánica en suelos con condiciones de pastoreo, en general son efectos significativos relevantes en los primeros centímetros de profundidad. A pesar de ello, en la mayoría de las veces estos suelos no reciben actividades correctivas por el efecto de compactación del suelo por el pisoteo del ganado.

Algunos estudios refieren que el pastoreo podría tener efectos negativos en la productividad primaria neta aérea, dicho efecto podría tener una magnitud que no estaría asociada a las precipitaciones del lugar. Estos estudios también mencionan que factores como el fuego aumentan significativamente productividad primaria neta aérea hacia el extremo de la humedad del gradiente de la precipitación, reduciendo hasta el extremo seco. Las pérdidas de nitrógeno en el ecosistema son debido a los grandes herbívoros, causado por efectos de la volatilización y lixiviación del nitrógeno, desde las fracciones de orina y heces, limitando la provisión de materia orgánica del suelo. Debido a lo anterior, el 20% de la disponibilidad del nitrógeno en forma de heces y orina son pérdidas del ecosistema por la volatilización, obedeciendo del potencial de hidrogeno o pH y del contenido hídrico del suelo (Jobbagy y Jackson 2000).

#### **2.3.1. Deterioro de la estructura edáfica**

La estructura del suelo se describe por la colocación, forma y distribución de las partículas de arena, limo y arcilla, así como de la porosidad del suelo y su grado de agregación; categorizándose, especialmente, en función del nivel de estructuración, estructura, tamaño y forma de los agregados. Algunos autores refieren que el deterioro de la estructura del suelo está relacionado a la pérdida de la calidad del mismo, y esto a consecuencia de la infiltración y por la reducción de la capacidad de retención hídrica, a la pérdida de materia orgánica y de la aireación del suelo, quienes generan restricciones en el crecimiento radicular de la planta (Lal, 1997).

#### **2.3.2. Pérdida de nutrientes en el suelo**

En los suelos están presentes los macro y micronutrientes necesario para el desarrollo y crecimiento de las plantas, siendo los minerales, el agua, materia orgánica la principal fuente de estos. Elementos como carbono, nitrógeno y oxígeno son obtenidos del agua

y aire, asimismo, elementos como magnesio, calcio, sodio, potasio y el fósforo provienen directamente de rocas y minerales. Por su parte, el nitrógeno deriva principalmente de la materia orgánica. Para el caso de micronutrientes, elementos como el molibdeno, zinc, hierro, entre otros, su presencia es limitante y baja y en algunos casos nulos, sin embargo, son indispensables para el óptimo desarrollo de las plantas, respecto a la funcionabilidad de producción vegetal (Hazelton y Murphy, 2007).

#### **2.4. Los sistemas agroforestales (SAF)**

Se considera sistemas agroforestales al manejo de la tierra donde interactúan especies vegetales perennes con una serie de cultivos y animales. La finalidad de estos es lograr la diversificación y optimización de la producción, basándose en el principio de la sostenibilidad. Por tanto, los principales objetivos de los sistemas agroforestales es la diversificación de la producción, optimizar la agricultura migratoria, incrementar los rangos de materia orgánica en el suelo, la incorporación y fijación del nitrógeno atmosférico, mejorar el reciclaje de nutrientes, alterar el microclima, mejorar la productividad del sistema acorde a la sostenibilidad (Riascos, 2006).

El componente agroforestal cumple una serie de funciones, entre ellas la más importante es conservar la diversidad biológica inmersa a paisajes deforestados y fragmentados, proveyendo hábitats y una serie de recursos para animales y vegetales, manteniendo siempre la interacción del paisaje, formando situaciones de vida del paisaje.

Son tres los principales componentes agroforestales quienes definen las siguientes categorías: Sistemas agrosilvícolas son aquellas asociaciones de árboles con cultivos temporales, ya sea de naturales anual o permanente; los sistemas silvopastoriles es la asociación de árboles con pastizales, quien su fin principal es brindar sostenibilidad a la producción animal; los sistemas agrosilvopastoriles es la asociación alternante de árboles y pastizales y cultivos agrícolas cuyo propósito fundamental es la producción animal (Albrecht y Kandji, 2003).



**Figura 4.** Sistema silvopastoril.

Fuente: (Albrecht Y Kandji, 2003).

## 2.5. Bosques secundarios

Los bosques secundarios son vegetaciones leñosas establecidas luego de una sucesión ecológica donde primariamente el suelo ha sido abandonado por acción antrópica después de una agricultura migratoria, en gran mayoría durante este lapso de tiempo para por la sucesión vegetal llamada purma (TCA, 1999). La composición florística es uno de los rasgos predominantes, ya que expresa la diversidad y cuantía de especies vegetales existentes, así como la cantidad de individuos representado por cada especie (Buendía, 1996).

Durante la sucesión ecológica, las especies pioneras son las primeras en establecerse después de un desequilibrio de la salud del suelo, estas especies colonizadoras, presentan características como de rápido crecimiento, tolerancia a sequías, invirtiendo la alta energía en la producción de biomasa, alta producción de semillas. En estudios de la ecología son conocidos como especies “r” o de estrategia, puesto que se establecen en condiciones hostiles y en ambientes totalmente alterados, durante esa etapa la diversidad es alta en comunidades más viejas y bajas en las de nuevo establecimiento (Odum, 1983).

## 2.6. Suelos con ex cicales

Los suelos ex cicales son aquellos que han sufrido una serie de procesos que han generado la pérdida del material superficial, pérdida de nutrientes y una reducción de su estructura, mayormente esto ocasionado por la acción humana. La degradación del suelo se da por fenómenos que suscitan generalmente de manera continua. Sin embargo, la acción o intervención del ser humano acelera los procesos de degradación, siendo drástica, dificultando el equilibrio y posterior recuperación (Huamani *et al.*, 1998).



**Figura 5.** Suelos degradados con presencia de macorilla.

Los suelos ex cacaes son de naturaleza ácidos, con elevada saturación de aluminio y un reducido contenido de fósforo. Entre ñas principales especies vegetales tenemos a *Pteridium aquilinum* "Macorilla", *Andropogon bicomis* "Rabo de Zorro", *Imperata brasiliensis* "Cashruesha o Chicula" (Huamani *et al.*, 1998).

### **2.7. Investigaciones realizadas**

Krull *et al.* (2004) determino que suelos en su mayoría presenta una carga permanente, y una carga que fluctúa en función de pH, incrementándose la capacidad de intercambio con relación al pH, el autor considera que la capacidad de cambio proviene de la fracción arcilla. Por otro lado, los coloides orgánicos son dependientes del manejo y suelen tener una capacidad de cambio que superan a 200 cmol (+)/kg suelo.

Arévalo (2016) en su investigación al determinar la ddinámica de indicadores de calidad del suelo en parcelas con sistema de manejo agroforestal, teniendo como objetivos: determinar los indicadores fisicoquímicos del suelo y sus posibles cambios en dos sistemas de producción de cacao; determinar la población de hongos y nematodos e indicar el índice de calidad del suelo. La investigación fue ejecutada en la estación experimental del Instituto de Cultivo Tropicales, Tarapoto, San Martín, Perú. Sus resultados mostraron que las propiedades físicas como densidad aparente y porosidad fueron distintas, mientras que, para los contenidos de materia orgánica, pH, nitrógeno, fósforo, potasio y microelementos las medias también resultaron diferentes. Por su parte, la macrofauna del suelo fue influenciado por el tipo de

sistema de uso y por los años de instalación, siendo mayor en instalaciones con mayor edad, teniendo un comportamiento similar con la calidad del suelo.



### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

La ejecución de investigación se realizó cuatro parcelas diversificadas por el tipo de sistema de uso (sembríos de coca, agroforestal, leguminosas (*Inga edulis*), y bosque secundario) situados en el caserío Mariela, distrito de Padre Abad. La zona en estudio corresponde políticamente al caserío Mariela, concerniente al distrito de Padre Abad, provincia Ucayali, región Ucayali. El distrito se ubica en la margen izquierda del tramo carretera Federico Basadre – Tingo María.

Los trabajos de gabinete como son los análisis físicos y químicos de suelos, tabulación y el procesamiento de datos se realizó en el gabinete del Laboratorio de Análisis de Suelos de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), el mismo que se encuentra ubicado geográficamente en las coordenadas UTM (Zona 18 K, Datum WGS 84); E: 390677 y N: 8970244. Para llegar al distrito de Padre Abad se accede desde la ciudad capital de Lima por vía terrestre por el trayecto de la carretera central con Federico Basadre. Como ruta alterna desde la ciudad de la Merced por la carretera Fernando Belaunde Terry. Asimismo, se puede acceder por vía aérea de Lima a Pucallpa.

El medio físico del distrito de Padre Abad comprende un originario y complejo medio tropical forestal. Sus rasgos naturales evidencian un territorio de interrelaciones entre factores como el clima, relieve, geología, el suelo y agua, entre otros. Estos siendo afectados por aquellas relaciones que interactúan con las comunidades del hombre y biológicas. Este medio mantiene situaciones naturales, puesto que en su mayoría del territorio del distrito aún no se evidencia influencia antrópica.

Los suelos del distrito de Padre Abad en su mayoría son de origen aluvial, cuya formación se da por acumulaciones de las fracciones de arena, limo, arcilla y conglomerados. El clima del distrito en la mayoría de su extensión territorial es cálido húmedo, con presencias de vegetación boscosa, de relieves variables, la formación del suelo es poco profundo, sus características indican suelos erosionables, de calidad agrologica variable. Posee suelos con potencial para la producción forestal, sin embargo, existe un margen considerable para la actividad agropecuaria. Respecto a la fertilidad del suelo, estos presentan un grado de fertilidad natural media, con series de limitaciones para el uso pecuario y agrícola.

##### 3.1.1. Ubicación política

La ubicación política del caserío Mariela le confiere a lo siguiente:

- Departamento : Ucayali.

- Región : Ucayali
- Provincia : Ucayali
- Distrito : Padre Abad
- Caserío : Mariela.

### 3.1.2. Ubicación geográfica de las parcelas en estudio

La ubicación geográfica de las parcelas en estudio corresponde a las coordenadas UTM (Zona 18 K, Datum WGS 84), las mismas que se describen a continuación (Tabla 1):

**Tabla 1.** Ubicación geográfica en coordenadas UTM de las parcelas en estudio

Unidad de estudio	Coordenadas UTM		Altura (m.s.n.m.)
	Este	Norte	
Cocal (T1)	402146	8981002	376
Agroforestal (T2)	402192	8981120	303
Leguminosas ( <i>Inga edulis</i> ) (T3)	401900	8981749	335
Bosque secundario (T4)	402057	8981324	346

## 3.2. Materiales, insumos y equipos

### 3.2.1. Materiales y equipos de campo

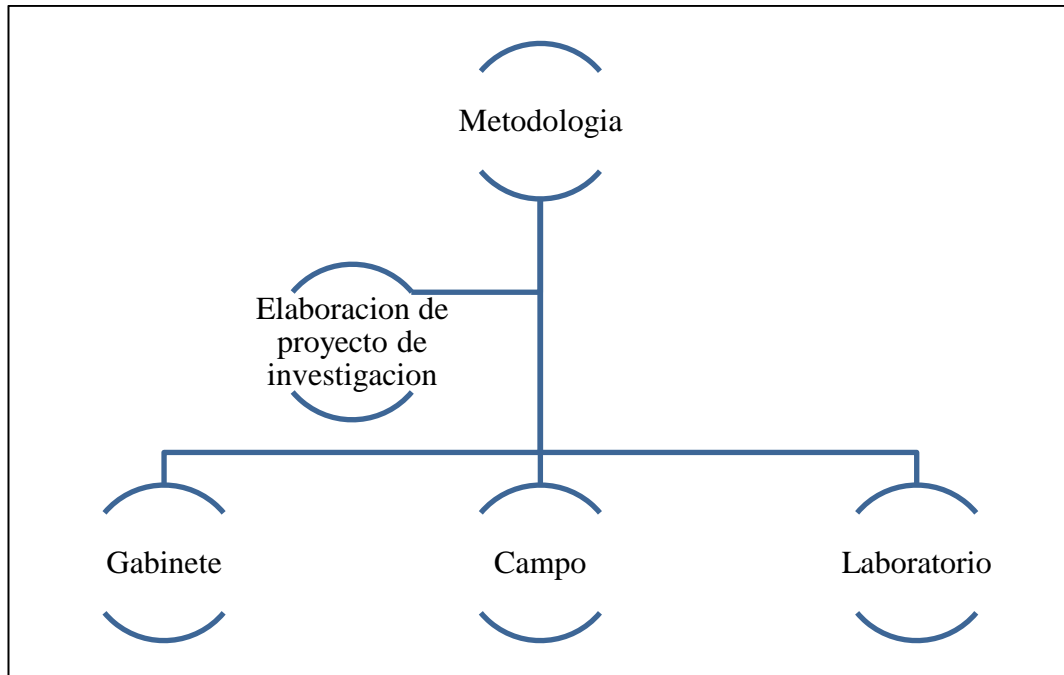
Libreta de campo, flexómetro de 5 m., fichas de campo, bolsas plásticas de 1 y 2 kg, martillo, wincha de 50 m, machete, navajas, pala recta, penetrómetro, cilindros muestreadores, barreno, cámara fotográfica, sistema de posicionamiento global (GPS), pizarra acrílica, rotuladores, lapiceros, resaltador, tabla encuestadora, listón de madera de 2" x 2", banner publicitario.

### 3.2.2. Materiales, equipos e insumos de laboratorio

Pipetas graduadas y aforadas, vaso de precipitación, matraz de Erlenmeyer, probeta graduada, embudo cónico, varilla, tamiz, balanza de precisión, tubos de ensayo, gradilla, estufa, agua destilada, dicromato de potasio, ácido sulfúrico, difenilamina sulfúrica, sal de Mohr y cloruro de potasio, escobilla, pinzas, pinzas con nuet, varillas cilíndricas, lavador frasco, frasco cilíndrico de plástico,

## 3.3. Metodología

El desarrollo de la presente investigación estuvo regido metodológicamente en dos fases: gabinete – campo y campo – laboratorio.



**Figura 6.** Metodología de ejecución de proyecto.

### 3.3.1. Fase de gabinete - campo

Consistió en la compilación de información base de la zona de estudio donde se ubicaron las parcelas: Entre la información recopilada tenemos:

- Clima.
- Estudio de suelos.
- Identificación de propietarios de las parcelas en estudio.
- Sistema de manejo empleado.
- Reconocimiento del área de trabajo.
- Material cartográfico
- Mapa base de la zona de estudio.

### 3.3.2. Etapa de campo - gabinete

La etapa de campo contemplo la ejecución secuencial de una serie de actividades, las mismas que se detallan a continuación:

- Identificación del área de trabajo por parcela.
- Colocación de cartel de identificación de parcelas.
- Delimitación de parcela.
- Establecimiento de puntos de muestreo.
- Ejecución de calicatas.

- Muestreo de suelo.



**Figura 7.** Cartel de identificación de parcela de estudio.

### 3.3.2.1. Ejecución de calicatas

La ejecución de calicatas por unidad de estudio consistió en la excavación del suelo en un área de 1,0 m de ancho por 1,0 m de largo con una profundidad de 1,50 m. La profundidad establecida permitió apreciar claramente el perfil edafogénico del suelo, observándose la presencia y/o distribución de las raíces de las especies vegetales existentes, así como la distribución de los estratos. Posteriormente se realizó la identificación de los estratos a través del marcado del mismo entre ellos. El muestreo de suelos de todos los horizontes se realizó a aquellos que tengan 10 cm a más de espesor, teniendo en cuenta que las muestras no debieran tomarse a profundidades arbitrarias.

*In situ* se realizó la auscultación de los indicadores organolépticos con su respectiva toma de muestras de suelos para ser llevados al laboratorio. Asimismo, se examinó y comparó las muestras del suelo, agrupándolas en pilas, y siendo separadas para evitar la mezcla entre ellas. Posteriormente, se realizó la descripción de la zona de estudio (cobertura, relieve, cultivo, sistema de manejo, ubicación geográfica, entre otros).



**Figura 8.** Demarcación del área de la calicata a excavar.

Provisto de cal agrícola se procedió a demarcar el área de excavación de la calicata (dimensiones de 1,0 m de ancho por 1,0 m de largo con una profundidad de 1,50 m) (Figura 5), El material excavado fue colocado en un lado con la finalidad de evitar dificultades en el ingreso y posterior recolección de muestras de suelos de los estratos.



**Figura 9.** Excavación de calicata en parcela con plantación de guaba.



**Figura 10.** Identificación de estratos.

### 3.3.2.2. Muestreo de suelos

El área de trabajo por cada unidad en estudio fue de 0,50 hectáreas.

El muestreo de suelos para determinar el grado o nivel de los indicadores físicos y químicos del suelo de las unidades en estudio tuvo una rigurosa secuencia y control, partiendo de tener en cuenta precauciones y normas establecidas en la toma de muestras de suelos, entre ellas tenemos:

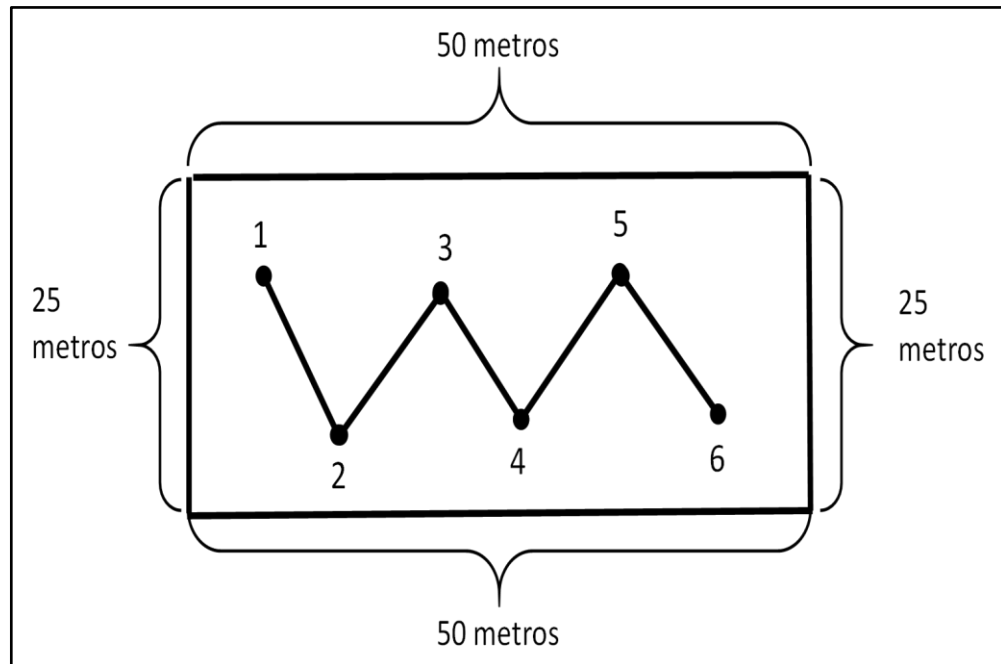
- No muestrear después de una lluvia
- No realizar el muestreo de suelos en condiciones de saturación hídrica.
- Obtener submuestras que conforme una muestra compuesta que sea representativa del área de trabajo.
- No realizar el muestreo en presencia de acumulación de bosta o acumulación de material vegetal u orgánico.

Para realizar el muestreo de suelos se hizo un recorrido de la zona de estudio por parcela, posteriormente se ejecutó lo siguiente:

- Limpieza del área de trabajo.
- Eliminación del material vegetal y elementos que contaminen la muestra.

- Obtención de submuestras de suelo de 1,0 kg.
- Etiquetado, previa descripción de las muestras obtenidas.

El muestreo de suelos se realizó por el método de zigzag en un área de 0,25 m por 0,25 m con una profundidad de 0,30 m.



**Figura 11.** Metodología empleada para toma de muestra de suelo en Zigzag



**Figura 12.** Limpieza del área a realizar el muestreo de suelos

### 3.3.2.3. Muestreo de macrofauna

Para determinar la macrofauna del suelo fue necesario emplear la metodología recomendada por el Tropical Soil Biology and Fertility Program (TSBF) (Anderson y Ingram, 1993, citado por Pashanasi, 2002).

El muestreo de suelos para determinar la macrofauna consistió en la excavación de un pedon con dimensiones de 25 x 25 x 20 cm de profundidad. Por cada unidad de estudio o parcela se realizaron 3 unidades básicas de muestreo. Aquellos organismos recolectados durante la exploración del suelo fueron sumergidos en alcohol al 70% de concentración, y en un frasco que contenía formol al 4%, posteriormente con la ayuda de documentación clave fueron identificados de acuerdo a su taxonomía a nivel de orden jerárquico por orden y familia.

#### - Estimación de la densidad

Para determinar la densidad de macrofauna, se consideró un área de muestre de 25 cm cuadrado, cuya área representa 1/16 m<sup>2</sup>. Los datos obtenidos por cada punto de observación o muestreo fueron multiplicados por 16, siendo este un factor para determinar el equivalente el número de individuos por metro cuadrado (ind/m<sup>2</sup>) (Correia y Oliveira, 2000).

#### - Estimación de la biomasa

La estimación de la biomasa o el pesado fresco de los individuos en los diferentes usos de la tierra consistió en calcular el peso de estos sobre el metro cuadrado (gr/m<sup>2</sup>), siendo este último la unidad de medida, la cuantía se realizó primero por estrato y luego la suma de todos estratos, determinando la biomasa por sistema de uso en estudio.

#### - Diversidad

La riqueza de las especies o el número de especies halladas en cada sistema de uso en estudio consistió en la diversidad de la macrofauna. Para determinar esta variable fue necesario aplicar dos indicadores, siendo estos:

ÍNDICE DE SHANNON- WEAVER (H')

$$H' = - \sum_{i=1}^s (p_i \times \ln \times p_i)$$

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

H' : Índice de Shannon-Wiener.



- S : Número de especies  
 ni : Abundancia de la especie i  
 N : Número total de individuos  
 ln : Logaritmo natural

ÍNDICE DE EQUIDAD (J).

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

H' : Índice de diversidad de Shannon-Wiener.

S : Número de especies o unidades taxonómicas.

ln : Logaritmo natural

### 3.3.3. Determinación de las propiedades fisicoquímicas del suelo

En la Tabla 2 se muestra en detalla los parámetros de la presente investigación con sus respectivas metodologías de determinación.

**Tabla 2.** Parámetros físicos y químicos del suelo a evaluar

<b>Parámetros físicos</b>	<b>Método de su determinación</b>
Textura del suelo	Hidrómetro de bouyoucos
Densidad aparente	Por volumen, peso húmedo y seco
Resistencia a la penetración	Método directo (penetrómetro)
<b>Parámetros químicos</b>	
Materia orgánica	Método de Walkley y Blakc
pH Reacción del suelo	Método del potenciómetro
Nitrógeno	Método de Kjeldahl
Fósforo	Método de Olsen
Potasio	Método del ácido sulfúrico
Capacidad de intercambio catiónico	Método del acetato
<b>Parámetros biológicos</b>	
Densidad de la macrofauna	Directo por conteo
Biomasa de la macrofauna	Directo por conteo
Diversidad de especies	Shannon – Weaver

### **3.3.4. Variables a evaluar**

#### **3.3.4.1. Variables independientes**

- Cuatro parcelas con diferentes sistemas de uso de tierras (SUT), situados en el caserío Mariela, distrito Padre Abad.

#### **3.3.4.2. Variables dependientes**

- Indicadores físicos del suelo.
- Indicadores químicas del suelo
- Macrofauna (Densidad, biomasa e índice de diversidad).

### **3.3.5. Análisis de datos**

Los datos obtenidos en la fase de campo y laboratorio fueron ordenados, tabulados y procesados de acuerdo a sus respectivas metodologías, la exposición de estos para su interpretación fue a través de Tablas y Figuras mediante el apoyo del programa Microsoft Excel 2013.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Indicadores físicos del suelo

En la **Tabla 3**, se observa los valores de indicadores físicos del suelo de las unidades en estudio. La parcela con sistema de uso de suelo con cocal presento 3 horizontes muy definidos, con valores descendientes de infiltración del suelo a través de los horizontes, de 8,09 cm/h a 3,15 cm/h. con textura franco arcilloso limoso y franco arcilloso, cuyos valores de densidad aparente decrecen 0.82 g/cm<sup>3</sup> a 1,34 g/cm<sup>3</sup> conforme se incrementa la profundidad del suelo, reiterándose el comportamiento anterior en la temperatura, mientras que los valores de resistencia a la penetración se incrementan a mayor profundidad (1,10 g/cm<sup>2</sup> a 1,50 g/cm<sup>2</sup>). Para el sistema de uso agroforestal se identificaron 3 horizontes del suelo, con valores de infiltración de 31,15 cm/h a 26.48 cm/h, de textura franco arcilloso y franco, cuyas estructuras del suelo son de características migajosas, granular y angular, con densidad aparente de 0,95 g/cm<sup>3</sup> a 1,12 g/cm<sup>3</sup>., con mayor resistencia a la penetración a mayor profundidad, existiendo un decaimiento de la temperatura del suelo de 24,5 °C a 16.8 °C.

Para la parcela con plantación de *Inga edulis*, se determinaron 6 horizontes, existiendo mayor infiltración en el suelo respecto a las 2 parcelas anteriores, con valores de 50,07 cm/h a 22.37 cm/h (decreciendo a mayor profundidad), cuyas estructuras están clasificadas como migajosa, granular, angular, sub angular y prismática respectivamente a través del perfil del suelo, los valores de densidad aparente tienden a incrementarse ligeramente a medida que se profundiza en el suelo (0.95 g/cm<sup>3</sup> a 1.33 g/cm<sup>3</sup>). El comportamiento anterior es reiterativo para la resistencia a la penetración. Sin embargo, la temperatura desciende a mayor profundidad. Finalmente, para la parcela con bosque secundario se identificaron 5 estratos (hasta los 165 cm de profundidad), en su mayoría encontrándose suelos de textura franco, franco arenoso, franco limoso, y franco arcilloso, los cuales presentan diversas estructuras, existiendo un comportamiento similar con las demás unidades de estudio respecto a las variables de densidad aparente, resistencia a la penetración y temperatura del suelo.

De los resultados del análisis físico de suelos, las unidades de estudio muestran que los valores de densidad aparente indican que la parcela con cultivo de coca presenta suelos pesados, no aptos para un buen desarrollo radicular, al existir mayor resistencia a la penetración del suelo. Por lo contrario, los suelos con plantación de *Inga edulis* y bosque secundario, mostraron suelos con densidad aparente moderada, con menor resistencia a la penetración. La auscultación *in situ* de los suelos mediante calicatas permite un análisis de las características físicas que brinda el suelo para la instalación de cultivo y/o manejo de suelo. Puesto que los

indicadores físicos del suelo son indispensables para la evaluación de calidad del suelo, brindando información para mejorar o restaurar las condiciones o requerimientos del cultivo (Singer y Ewing, 2000).

Los resultados de los suelos con cultivo de coca nos permiten tener indicios de problemas de infiltración, por ende, deficiencia de nutrientes en los estratos profundos. Por lo que la calidad del suelo está directamente relacionado a la eficiencia del agua y disponibilidad de nutrientes (Navarro, 2008). Sin embargo, estos indicadores son de naturaleza estáticos y dinámicos, influenciados por el uso y prácticas de manejo de suelo (Carter, 2002).

La diversidad de los horizontes encontrados en cada una de las unidades en estudio o parcelas son el resultado de un proceso complejo, el cual involucra alteraciones físicas, químicas y biológicas que ocurren en la roca madre o material parental (Budhu, 2007). Propiamente, la zona donde se encuentran las parcelas se caracteriza por presentar elevadas precipitaciones, con incremento considerable de la temperatura ambiental, siendo estos dos factores a considerar en el proceso de formación del suelo, causando la alteración o destrucción de las rocas por acción del oxígeno, agua, dióxido de carbono y por compuestos orgánicos.

El suelo de acuerdo a su estructura presenta diferentes formas, agregación de las partículas de arena, limo y arcilla, grado de porosidad, entre otras características que la define en función del grado de su estructuración, siendo estos factores quienes tiene relación directa con la calidad del suelo, y sus efectos sobre estos conlleva a la disminución de la capacidad de retención hídrica, disminución de aireación y contenido de materia orgánica, generando limitaciones al crecimiento y desarrollo de la biomasa radicular. Por tanto, la estructura está directamente relacionada con la textura del suelo.

**Tabla 3.** Indicadores físicos del suelo por unida experimental a través de la profundidad del suelo

Sistema de uso de suelo	Pendiente (%)	Horizonte	Profundidad (cm)	Variables						
				Infiltración (mm/h)	Color	Textura	Estructura	Densidad ap. (g/cm <sup>3</sup> )	Resistencia (g/cm <sup>2</sup> )	Temperatura (°C)
Cocal	4	B1	2 – 35	8,09	7.5YR2.5/3	franco arcilloso limoso	Migajosa	0.82	1.10	27.8
		B2	35-67	5,48	5YR4/6	franco arcilloso	Sub angular	1.23	1.20	22.4
		B3	67- 105	3,15	5YR3/4	franco arcilloso	Prismática	1.34	1.50	18.8
Agroforestal	3	A1	0-14	31,15	7.5YR2.5/3	franco arcilloso	Migajosa	0.95	0.80	24.5
		B1	14-45	26,48	5YR3/4	franco	Granular	1.06	1.10	21.4
		B2	45-70	29,45	5YR3/4	franco arcilloso	Angular	1.12	1.20	16.8
<i>Inga edulis</i>	6	A1	0-5	50,07	7.5YR3/4	franco	Migajosa	0.95	0.70	22.1
		A2	5-13	55,15	7.5YR2.5/3	franco arcilloso limoso	Granular	1.11	0.90	21.4
		B1	13-26	34,41	7.5YR4/6	franco arcilloso limoso	Angular	1.16	1.10	17.5
		B2	26-48	29,18	7.5YR4/4	franco arcilloso limoso	Sub angular	1.33	1.35	16.2



## 4.2. Indicadores químicos del suelo

### 4.2.1. Reacción del suelo o pH

A un 95% de confianza existieron diferencias significativas entre los promedios de reacción del suelo o pH de los sistemas de uso en estudio (**Tabla 4**).

**Tabla 4.** Análisis de varianza (ANOVA) para variable reacción del suelo o pH

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Sig
Sistema de uso	3	1,42	0,35	23,04	0.0001
Error	8	0,16	0,01		
Total	11	1,58			

CV (%): ,3,54%

Al nivel de confianza del 95% para el comparador de medias (prueba Tukey), existen evidencias estadísticas para admitir diferencias propias entre promedios de pH en el suelo para los sistemas de uso en estudio.

Los sistemas con bosque secundario, agroforestal (SAF) e *Inga edulis*, mostraron mayores valores, los cuales se encuentran en el rango de 5,05 a 5,22, característicos de ser suelos fuertemente ácidos. Sin embargo, el sistema de uso con cocal mostro menor promedio con un valor de 4,41, encontrándose en el rango de suelos extremadamente ácidos (Tabla 5).

En ecosistemas con altas precipitaciones generalmente la acidez es mayor y por esta naturaleza, los residuos orgánicos presentan acidez. Sumado a ello, la labor antrópica mediante la aplicación de enmiendas y/o fertilizantes, el riego, logran alterar el pH natural del suelo (USDA, 1999).

**Tabla 5.** Promedio de reacción del suelo o pH en los diferentes sistemas de uso

Sistema de uso	Promedio	Significancia
Bosque secundario	5.22	a
Sistema agroforestal	5.16	a
<i>Inga edulis</i> (Guaba)	5.05	a
Cocal	4.41	b

Letras distintas por columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), según prueba de Tukey

#### 4.2.2. Materia orgánica

A un 95% de confianza existen evidencias numéricas suficientes para aceptar diferencias significativas entre promedios para la materia orgánica en el suelo de los sistemas de uso en estudio (**Tabla 6**).

**Tabla 6.** Análisis de varianza (ANOVA) para variable materia orgánica

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Sig
Sistema de uso	3	12,12	4,65	11,23	0.0001
Error	8	1,54	0,43		
Total	11	13,66			

CV (%): 11,43%

Para la prueba de medias (prueba Tukey), existieron diferencias significativas entre los promedios de materia orgánica en el suelo de los sistemas de uso en estudio (Tabla 7).

Los suelos del sistema de uso con bosque secundario obtuvieron niveles altos de materia orgánica en el suelo (4,45%). Asimismo, se aprecia un grupo intermedio de valores (4,24%), ostentado por los suelos con sistema agroforestal, siendo estos de fertilidad alta. Por otra parte, los suelos del sistema de uso con cocal presentaron niveles medios de materia orgánica, con valores que oscilan el promedio de 2,12%.

**Tabla 7.** Promedio de materia orgánica en el suelo (%) de diferentes sistemas de uso

Sistema de uso	Promedio (%)	Significancia
Bosque secundario	4,45	a
Sistema agroforestal	4,24	ab
<i>Inga edulis</i> (Guaba)	3,31	bc
Cocal	2,12	c

Letras distintas por columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), según prueba de Tukey

#### 4.2.3. Nitrógeno

Para el ANOVA (análisis de varianza) mostrado en **la Tabla 8**, existen evidencias suficientes para aceptar diferencias significativas para la variable nitrógeno disponible del suelo en los sistemas de uso en estudio.



**Tabla 8.** Análisis de varianza (ANOVA) para variable nitrógeno disponible en el suelo

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Sig
Sistema de uso	3	0,02	3,54	11,32	0.0001
Error	8	0,01	0,22		
Total	11	0,03			

CV (%): 11,32%

Los suelos del sistema de uso con bosque secundario obtuvieron niveles medios de fertilidad, con valores de nitrógeno promedio oscilante en 0,16% (Tabla 9). Asimismo, se aprecia un grupo intermedio de valores (0,13%), ostentado por los suelos con sistema agroforestal, siendo estos de fertilidad media. Por otra parte, el sistema de uso con cocal mostro niveles bajos de fertilidad, con un promedio de 0,07%. Al respecto, estudio refieren que, en su mayor proporción, el nitrógeno llega al suelo proveniente de la atmosfera, siendo retenido en el suelo a través de bacterias quienes fijan el nitrógeno atmosférico encontrado en el mismo suelo y en gran magnitud en raíces de las plantas. La fijación de este nitrógeno es mediante procesos de momificación y nitrificación convirtiéndolo en nitrato, esta forma es en la que las plantas pueden asimilarlo o logran expulsarlo hacia la atmosfera mediante la ayuda de bacterias des nitrificantes.

**Tabla 9.** Promedio de nitrógeno disponible (%) en el suelo

Sistema de uso	Promedio (%)	Significancia
Bosque secundario	0.16	a
Sistema agroforestal	0.13	ab
<i>Inga edulis</i> (Guaba)	0.11	bc
Cocal	0.07	c

*Letras distintas por columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), según prueba de Tukey*

#### 4.2.4. Fósforo disponible

En la **Tabla 10** se exhiben el análisis de varianza para la variable fósforo disponible en el suelo en los sistemas de uso en estudio. A un 95% de confianza existen evidencias suficientes para admitir discrepancias significativas entre promedios de fósforo disponible del suelo.

**Tabla 10.** Análisis de varianza (ANOVA) para variable fósforo disponible en el suelo (ppm)

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Sig
Sistema de uso	3	124,32	37,32	6,43	0,001
Error	8	44,32	4,32		
Total	11	168,54			

CV (%): 9,65%

El sistema de uso con cocal obtuvo niveles normales de fertilidad respecto al fosforo en el suelo, con un valor de 29,32 ppm (Tabla 11). Asimismo, se aprecia un grupo intermedio de valores ostentado por los suelos con sistema agroforestal y bosque secundario (24,23 ppm y 21,02 ppm), siendo estos de fertilidad normal. Por otra parte, el sistema de uso con *Inga edulis* (Guaba) mostró menores valores con un promedio de 15,23 ppm, siendo estos de fertilidad normal. Larson y Pierce (1991), refiere que el macroelemento como el fósforo llega al suelo a través de la liberación del mismo desde rocas compuestas por material fosforado, mediante la acción de meteorización en forma de fosfatos (PO<sub>4</sub>), para luego ser asimilados por animales y vegetales, quienes lo excretan, y finalmente son descompuestos por saprofitos para volver al suelo en forma de fosfato (PO<sub>4</sub>)-3, continuándose así el ciclo. Sin embargo, es preciso recalcar que las aplicaciones de enmiendas fosfóricas y potásicas realizadas en los sistemas agroforestal y en la producción del cultivo de coca puedan influir en la concentración de estos nutrientes en el suelo.

**Tabla 11.** Promedio de fósforo disponible (ppm) en el suelo de diferentes sistemas de uso

Sistema de uso	Promedio (ppm)	Significancia
Cocal	29,32	a
Sistema agroforestal	24,23	ab
Bosque secundario	21,02	b
<i>Inga edulis</i> (Guaba)	15,23	c

Letras distintas por columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), según prueba de Tukey

#### 4.2.5. Potasio

Para el análisis de varianza (**Tabla 12**), a un 95% de confianza existen razones suficientes para admitir diferencias entre los promedios de potasio en el suelo de los sistemas de uso en estudio.

**Tabla 12.** Análisis de varianza (ANOVA) para variable potasio en el suelo (kg/ha)

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Sig
Sistema de uso	3	51434,34	15132,65	7,32	0.0001
Error	8	15242,21	2153,23		
Total	11	66676,55			

CV (%): 8,43%

Se han generado dos grupos bien definidos por presentar mayor y menor nivel de potasio, siendo el sistema con bosque secundario, agroforestal (SAF) quien mostro mayor promedio con 421,43 kg/ha, determinando a estos suelo con baja fertilidad. Por otra parte, el sistema agroforestal (SAF), cocal e *inga edulis*, mostraron menores valores, los cuales se encuentran en el rango de 332,12 kg/ha a 257,34 kg/ha., hallándose en el rango de fertilidad de suelos con muy bajo y bajo nivel de potasio (**Tabla 13**).

**Tabla 13.** Promedio de potasio en el suelo

Sistema de uso	Promedio (kg/ha)	Significancia
Bosque secundario	421,43	a
<i>Inga edulis</i> (Guaba)	332,12	b
Sistema agroforestal	284,32	b
Cocal	257,34	b

Letras distintas por columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), según prueba de Tukey

#### 4.2.6. Capacidad de intercambio catiónico

Para el ANOVA a un 95% de confianza no existe diferencias significativas entre los promedios de capacidad de intercambio catiónico en el suelo de los sistemas de uso en estudio (**Tabla 14**).

**Tabla 14.** Análisis de varianza (ANOVA) para variable capacidad de intercambio catiónico del suelo

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Sig
Sistema de uso	3	0,35	0,12	0,42	0,6454
Error	8	2,14	0,02		
Total	11	2,49			

CV (%): 3,12%

**Tabla 15.** Promedio de capacidad de intercambio catiónico

Sistema de uso	Promedio	Significancia
Sistema agroforestal	18,21	a
Bosque secundario	16,21	a
<i>Inga edulis</i> (Guaba)	15,24	a
Cocal	15,01	a

Letras distintas por columnas indican diferencias significativas ( $p <= 0.05$ ), según prueba de Tukey

A pesar de no existir diferencias significativas entre las medias de capacidad de intercambio catiónico del suelo (**Tabla 15**) entre los sistemas de uso, los valores se encuentran en el rango de 15,01 meq/100 g suelo a 18,21 meq/100 g suelo.

Hazelton y Murphy (2007) refieren que valor de 12 meq/100 gr es promedio máximo para que el índice de capacidad de intercambio catiónico sea catalogado como suelos de intercambio bajo. Los resultados en la presente investigación muestran niveles altos de capacidad de cambio. Por lo que estos suelos tienen una serie de efectos positivos. entre los principales podemos inferir que amortiguan cambios bruscos de pH, una estabilidad estructural controlada, disponibilidad de nutrientes en aumento, mayor intensidad del efecto de enmiendas y fertilizantes, entre otros (Metson, 1961).

### 4.3. Propiedades biológicas del suelo

#### 4.3.1. Abundancia de individuos por sistema de uso

Para el análisis de varianza (**Tabla 16**), a un 95% de confianza existen razones suficientes para admitir diferencias entre promedios de abundancia de macrofauna (ind/m<sup>2</sup>) de los sistemas de uso en estudio.

**Tabla 16.** Análisis de varianza (ANOVA) para variable abundancia de macrofauna (ind/m<sup>2</sup>) en el suelo de diferentes sistemas de uso

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Sig
Sistema de uso	3	564831,67	122353,44	112.32	0.0001
Error	8	55238,0	739,65		
Total	11	620069,67			

CV (%): 6.71 %

El sistema con bosque secundario mostro mayor promedio con 538,00 ind/m<sup>2</sup>, seguido por el agroforestal con 532,12 ind/m<sup>2</sup>, *Inga edulis* con 321,54 ind/m<sup>2</sup> (Tabla

17). Finalmente, el cultivo de coca mostro menor promedio con 321,54 ind/m<sup>2</sup>. La variabilidad de la abundancia por sistema depende directamente del grado y frecuencia de alteración del ecosistema suelo, causado por el tipo de manejo desde el enfoque agroecológico, teniendo en consideración la calidad y cantidad del recurso. Sumado a ello, a factores como la temperatura (suelo y ambiente), humedad y biomasa radicular, quienes proporcionan condiciones óptimas de desarrollo, alimentación y refugios para organismos del suelo.

**Tabla 17.** Promedio de abundancia de macrofauna (ind/m<sup>2</sup>) en el suelo

Sistema de uso	Promedio	Significancia
Bosque secundario	674,00	a
Sistema agroforestal	532,00	b
<i>Inga edulis</i> (Guaba)	321,00	c
Cocal	154,00	d

Letras distintas por columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), según prueba de Tukey

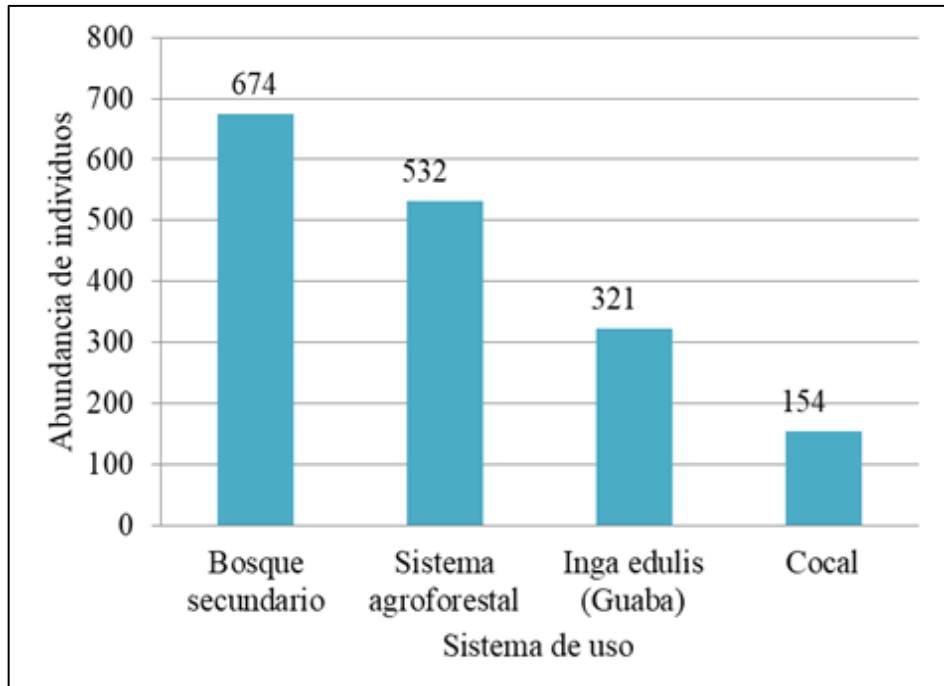
**Tabla 18.** Promedio de abundancia de macrofauna (ind/m<sup>2</sup>) en el suelo por ordenes

Ordenes	Número de ind.m <sup>-2</sup> en cada sistema ganadero							
	Bosque secundario	%	Agroforestal	%	<i>Inga edulis</i>	%	Cocal	%
Araneae	89	13.2	45	8.46	41	12.7	21	13.6
Coleoptera	35	5.2	32	6.02	46	14.3	34	22.0
Gasteropoda	134	19.9	17	3.20	23	7.16	14	9.09
Miriapodos	56	8.3	27	5.08	16	4.98	12	7.79
Haplotaxida	34	5.0	54	10.1	54	16.8	31	20.1
Hemiptera	23	3.4	86	16.1	7	4.67	3	0.00

Hymenoptera	16	2.4	47	8.83	13	4.05		0.00
Isopoda	154	22.8	53	9.96	27	8.41	14	9.09
Isoptera	45	6.7	35	6.58	17	5.29	6	0.00
Lepidoptera	21	3.1	33	6.20	11	3.42	7	0.00
Orthoptera	67	9.9	103	19.3	58	18.0	28	18.1
			6	6	7	7	8	8
Total	674	100.0	532		321		154	

De los resultados de la presente investigación (**Figura 14**), el promedio de abundancia obtenido por sistema con bosque secundario suscita a que éste otorga mejores condiciones para que la macrofauna del suelo pueda vivir (temperatura, humedad, aporte de material senescente, entre otros). Asimismo, la baja presencia de organismos en el suelo con coca induce a que estos solo disponen de materia orgánica en los primeros de la capa arable, sumado a ello, el uso de pesticidas, aporte de abonos inorgánicos y el manejo del cultivo (a pleno sol a favor de la pendiente).

La mayor abundancia de individuos en los sistemas de uso con bosque secundario y agroforestal se vio favorecida por la presencia de cobertura vegetal, quien realiza un aporte significativo de biomasa, disipa la energía cinética de las gotas de lluvia, disminuye la intensidad lumínica, regulando la temperatura ambiental y del suelo, causando un ambiente equilibrado para el óptimo desarrollo de la macrofauna. Sin embargo, en ambientes donde las condiciones ambientales como la temperatura y humedad del suelo no son óptimas, repercute directamente en la cantidad de los residuos que serán utilizados por la macrofauna., afectando en ocasiones a algunas unidades taxonómicas como la lombriz de tierra (*Oligochaeta*) quien por lo regular requieren de una óptima humedad permanente.



**Figura 13.** Promedio de abundancia de macrofauna (ind/m<sup>2</sup>) en el suelo.

### 4.3.2. Biomasa

Para el análisis de varianza (**Tabla 19**), a un 95% de confianza existen razones suficientes para admitir diferencias entre promedios de biomasa ( $\text{g/m}^2$ ) de los sistemas de uso en estudio.

**Tabla 19.** Análisis de varianza (ANOVA) para variable biomasa ( $\text{g/m}^2$ ) en el suelo

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Sig
Sistema de uso	3	689.07	226.36	82.32	0.0001
Error	8	28.04	4.13		
Total	11	754.11			

CV (%): 7.65 %

Se aprecia que para la prueba Tukey (Tabla 20) existió diferencias entre promedios de biomasa ( $\text{g/m}^2$ ) de macrofauna del suelo. El sistema de uso con bosque secundario mostro mayor promedio  $34.20 \text{ g/m}^2$ , seguido por el sistema agroforestal, quien obtuvo  $25.44 \text{ g/m}^2$ . Sin embargo, los sistemas de uso con *Inga edulis* y cultivo de coca mostraron menor biomasa, con promedios que van de  $18.55 \text{ g/m}^2$  a  $14.33 \text{ g/m}^2$ . La variabilidad existente es atribuida a efectos de factores como el tipo de ecosistema quien de acuerdo a sus características puede albergar cierta parte de fauna vegetal propia del ecosistema, asimismo, el poder ser colonizado en mayor proporción por especies invasoras y oportunistas, teniendo en cuenta el grado o nivel de perturbación del terreno.

**Tabla 20.** Promedio de abundancia de biomasa ( $\text{g/m}^2$ ) en el suelo

Sistema de uso	Promedio	Significancia
Bosque secundario	34.20	a
Sistema agroforestal	25.44	b
<i>Inga edulis</i> (Guaba)	18.55	c
Cocal	14.33	c

*Letras distintas por columnas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), según prueba de Tukey*

### 4.3.3. Riqueza y diversidad de especies

En la **Tabla 21**, se expone los valores de riqueza o diversidad de especies. De ello, el sistema con bosque secundario mostro mayor riqueza específica de especies (16),



seguido por los sistemas agroforestal e *Inga edulis*, mientras que el sistema de uso de uso con cocal mostro menor promedio de riqueza específica (8).

El índice de Shannon-Weaver ( $H'$ ) e Índice de equidad (J) fueron mayores en los suelos del sistema con bosque secundario respecto a los sistemas agroforestal e *Inga edulis*, mientras que en el sistema con cultivo de coca fue presente.

**Tabla 21.** Promedio de riqueza específica (S), índice de Shannon – Weaver ( $H'$ ) e índice de equidad (J)

Factor	Sistema de uso de suelo			
	Bosque secundario	SAF	Guaba	Cocal
Riqueza específica (S)	16	14	11	8
Índice de Shannon-Weaver ( $H'$ )	2,132	1,845	1,734	1,534
Índice de equidad (J)	0,632	0,523	0,512	0,5142

Los valores bajos obtenido por el sistema de uso con cocal está directamente asociado a la historia de uso del mismo y al tipo de manejo de la parcela. Ya que, estos suelos, según los análisis físicos y químicos realizados en la presente investigación evidencian un suelo con bajo nivel de fertilidad, propiedades físicas que impiden el óptimo desarrollo y crecimiento de la macrofauna y de especies vegetales, reduciendo drásticamente la diversidad de individuos debido a la compactación, erosión hídrica – eólica, y la gradación del suelo. Generando finalmente, un hábitat de condiciones inadecuadas para los macroinvertebrados. Por tanto, aquellas transformaciones ambientales generadas en los sistemas de uso con cocal, consecuentes de la destrucción mecánica de la cobertura vegetal y por ende del micro hábitats, repercuten significativamente de manera negativa sobre aquellos principales de descomponedores de material senescente (materia orgánica) reduciendo su abundancia y en ocasiones desapareciéndolas del suelo. Entre aquellos individuos tenemos a los caracoles, milpiés, cochinillas, ciempiés. Los valores altos obtenido por los suelos del sistema de uso con bosque secundario se atribuyen a la mayor diversidad de categorías taxonómicas, esto debido al tipo y grado de cobertura, niveles de fertilidad y condiciones físicas del suelo. Asimismo, se debe tener en cuenta que los bosques secundarios viene de un proceso de sucesión ecológica, donde la intervención humana es mínima o nula, con presencia estratificada de la vegetación, quien brinda protección y es fuente directa de materia prima o alimento para los individuos del suelo en diferentes grados de descomposición.

Los resultados manifiestan que sistemas donde se presenta la asociación de especies vegetales existe mayor riqueza, a consecuencia de los estratos herbáceo-presentes en el arreglo ecosistémico, la cual brinda condiciones favorables para que los micro y macroorganismos puedan vivir. Asimismo, la macrofauna presenta organismos epigeos, invertebrados que están en el suelo y hojarasca (milpiés, los caracoles, las cochinillas, entre otros) y los organismos anécicos, que están en el suelo (termitas y hormigas; y organismos endógenos) (Lavelle, 1997).

## V. CONCLUSIONES

1. Los suelos con sistema con bosque secundario, agroforestal e *Inga edulis* mostraron mejor calidad de los indicadores de suelo.
2. Sobre los indicadores químicos del uso mediante el uso de sistemas con bosque secundario y agroforestal, siendo el sistema de uso con cultivo de coca el que mostro menor calidad de suelos. Concluyéndose que la recuperación de suelos degradados con sistemas agroforestales ejerce un efecto positivo en las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo
3. El sistema con bosque secundario mostro mayor promedio con 684 ind/m<sup>2</sup> de abundancia de macrofauna (ind/m<sup>2</sup>), seguido por el sistema agroforestal con 528.67 ind/m<sup>2</sup>, sistema con *Inga edulis* con 364.33 ind/m<sup>2</sup>. Finalmente, el sistema con cultivo de coca mostro menor promedio con 139.67 ind/m<sup>2</sup>. La abundancia de los sistemas de uso en estudio estuvo representada por los órdenes Orthoptera (878 ind/m<sup>2</sup>), Hemiptera (602 ind/m<sup>2</sup>), Dermaptera (667 ind/m<sup>2</sup>), Hymenoptera (324 ind/m<sup>2</sup>), Lepidoptera (144 ind/m<sup>2</sup>), Diptera (326 ind/m<sup>2</sup>), Coleoptera (552 ind/m<sup>2</sup>), Diplopoda (358 ind/m<sup>2</sup>), Araneae (421 ind/m<sup>2</sup>), Acari (318 ind/m<sup>2</sup>), Isopoda (486 ind/m<sup>2</sup>), Haplotaxida (74 ind/m<sup>2</sup>).
4. La parcela o sistema de uso con bosque secundario mostro mayor promedio de biomasa de macrofauna (g/m<sup>2</sup>) 34.20 g/m<sup>2</sup>, seguido por el sistema agroforestal, quien obtuvo 25.44 g/m<sup>2</sup>. Sin embargo, los sistemas de uso con *Inga edulis* y cultivo de coca mostraron menor promedios que van de 18.55 biomasa g/m<sup>2</sup> a 14.33 g/m<sup>2</sup>.
5. El sistema con bosque secundario mostro mayor riqueza específica de especies (11) (Tabla 25), seguido por los sistemas agroforestal y cocal, mientras que el sistema de uso con *Inga edulis* mostro menor promedio de riqueza específica (9). Por otra parte, el índice de Shannon-Weaver ( $H'$ ) e Índice de equidad (J) indica que el sistema con bosque secundario presenta mayor diversidad (2.064) respecto a los sistemas agroforestal e *Inga edulis*, mientras que el sistema con cultivo de coca presento menor diversidad (1.689).

## **VI. PROPUESTAS A FUTURO**

- Implementar la asociatividad de especies leguminosas como a guaba en el aprovechamiento de cultivos agrícolas con la finalidad de brindar sostenibilidad del recurso suelo.
- Realizar estudios con más parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del suelo evaluados en época seca y estiaje con la finalidad de contrastar los resultados de la presente investigación y generar indicadores técnicos que permitan valorar la calidad del suelo.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albrecht, P; Kandji, J. 2003. Suelos del Trópico. Características y Manejo. Traducido del Inglés por Edilberto Camacho. IICA. San José, Costa Rica. 634 p.
- Arévalo, G. 2016. Dinámica de los Indicadores de Calidad del Suelo en el Manejo de Sistemas Agroforestales con Cacao. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima: s.n., 2014. 178.
- Brown, L; Etchevers, B., Del Castillo, R., Gutiérrez, C. 2000. La calidad de los suelos y sus indicadores. [En línea]: HEET, (<http://www.aeet.org/ecosistemas/042/revision2.htm>, 30 Nov .. 2005).
- Budd, L. 1992. Bosque secundario y Sistemas Agroforestales en la Amazonia Peruana, Lima. Perú 20p.
- Budhu, M. 2007. Soil mechanics and foundations. 2da. ed. John Wiley & Sons Inc. New Jersey, USA. 634 p.
- Buol, S. W. 1995. Sustainability of soil use. Annual Review of Ecology and Systematic 26:25-44.
- Carter, R. 2002. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions functions. Agronomy Journal. 94: p.
- Correia, D; Oliveira, S. 2000). What capacity the land? J. Soil Water Conservation 47: 28-31.
- Etchevers, B. 1999. Indicadores de calidad de suelos. En: Conservación y restauración de suelos. (Eds. C.H. Siebeet al.). México, D.F. p. 239 p.
- Havlin, J; Toer, K; Poler. A. 1999. Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management. Prentice Hall. New Jersey, USA. 499 p.
- Hazelton, S; Murphy, W. 2007. Estimation of absorbed photosynthetically active radiation and vegetation net production efficiency using satellite data. Agricultural and forest meteorology. 276 p.
- Huamani, 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.
- Jobbagy, E, Jackson. L. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate an vegetation. Ecological applications. 436 p.
- Krull, O; Burgues, A. Y Raw, F. 2004. Biología del suelo. Edit. Paraninfo. Edic. Omega. SA. Barcelona, España. 470p.

- Lal, R. 1997. Soil quality and agricultural sustainability. In: Soil quality and agricultural sustainability. (Ed. R. Lal). Ann Arbor Press, Chelsea, MI. 45 p.
- Larson, W; Pierce, F 1991. Conservation and enhancement of soil quality. En: Evaluation for sustainable land management in the developing world. Proc. of on evaluation for sustainable world. Bangkok, Thailand. 175 p.
- Lavelle, P. 1997. Faunal activities and soil processes: adaptive Strategies that determine ecosystem function. Adv. Ecol. Res. 24:93-132.
- Martin, N; Adad, I. 2006. Generalidades más importantes de las ciencias del suelo. En: Disciplina Ciencias del Suelo. Tomo I. Pedología. Universidad Agraria de La Habana. Cuba. 504 p.
- Metson, A. J. 1961. Methods of chemical analysis for soil survey samples, Department of Scientific and Industrial Research and New Zealand Soil Bureau, Wellington, Nueva Zelanda. 153 p.
- Odum, E. 1983. Ecología. 3ra Edic. Edit. Nueva editorial Interamericana, S.A. México, D.F.
- Pashanasi, T. 2002. El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos. 46 p.
- Ramirez, E. Trujillo, P. 2003. Propiedades de los suelos aluviales. 64 p.
- Riascos, U. 2006. Análisis de hojas, suelos y aguas para el diagnóstico nutricional de plantaciones de cítricos. Procedimiento de toma de muestras. 74 p.
- Singer, M; Ewing, S. 2000. Soil quality. En: Handbook of soil science. (Ed. M.E. Sumner). CRC Press. Boca Raton, Florida, USA. 271 p.
- Soil Quality Institute. (1996). Indicators for soil quality evaluation. USDA natural resources conservation service. The National Soil Survey Center / The Soil Quality Institute, NRCS, USDA / Service. USA. 164 p.
- Tasa de Crecimiento Absoluto. (1999). La calidad del suelo y sus indicadores.

## **VIII. ANEXO**

## Apéndice 1. Panel fotográfico



Figura 14. Cartel de identificación de parcela.



Figura 15. Trazado de área de calicata en parcela agroforestal.





**Figura 16.** Identificación y medición de estratos en parcela de bosque secundario.



**Figura 17.** Trazado de área de calicata en parcela de guaba.





**Figura 20.** Identificación y medición de estratos en parcela agroforestal.



**Figura 21.** Muestreo de suelos en parcela de cocal.



**Figura 22.** Muestreo de suelos en parcela de cocal.



**Figura 23.** Determinación de materia orgánica del suelo.



**Figura 24.** Pesado de muestras de suelo.

## Apéndice 2. Estimación de propiedades químicas

### - Materia orgánica (método de Walkley y Black)

Se pesó 1g de suelo y depositarlo en un Erlenmeyer de 250 mL, agregar 10 mL. de dicromato de potasio 2 N y añadir 10 mL de ácido sulfúrico Q.P 96%.

Mezclar para homogenizar la solución y dejar reposar por 2 horas a más, llevar a volumen de 100 mL con agua destilada, tomar 20 mL.

De esta solución en un vaso de precipitado titularlo; agregar 2 a 3 gotas de indicador de difenil-amina. Titular con sal de Mohr 0.2 N. El cambio de color verde oscuro a verde brillante indicará el final de la titulación; anotar el gasto de solución de Mohr, paralelo a esto realizar un blanco (sin muestra).

$$\text{M.O.} = \frac{(a - bf) 0.003 \times 1.724}{P} \% \quad \text{no}$$

a = ml de bicromato de potasio utilizado.

b = ml de sal ferrosa o sal de Mohr gastado (gasto de titulación).

0.003 = Factor del carbón.

1.724 = Factor de Van Vammelen.

p = peso de muestra de suelo.

### - Determinación del pH (método del potenciómetro)

Se pesó 20 gr. de suelo, luego se añadió 20 ml de agua destilada y se agito por 10 minutos. Se calibró el potenciómetro con la solución buffer 7.0 y 4.0, además se limpió el electrodo de vidrio (sensible a los cambios de pH) con agua destilada, se secó y sumergió en la muestra, tratando que no choque al fondo. Se procedió con la lectura cuando el potenciómetro se estabilizó.

### - Determinación del fósforo disponible (método de Olsen modificado)

Se pesó 2 gr de suelo, luego se agregó carbón activado. A la mezcla se añadió 20 ml de NaHCO<sub>3</sub> (bicarbonato de sodio) 0.5 M pH 8.5, luego se llevó al agitador por 15 minutos para después ser filtrado. Del filtrado se tomó 3ml, después se añadió

10ml de molibdato de amonio, luego se procedió a agregar 0.01gr de ácido ascórbico por muestra y se mezcló inmediatamente. Se tornó de color azul en la muestra se llevó al espectrofotómetro para la lectura correspondiente; la lectura en el espectrofotómetro fue a una banda de 660 nm, después de 5 minutos.

- Determinación del Potasio disponible (método del ácido sulfúrico 6N)

Se pesó 5 gr de suelo en un vaso de plástico, luego se agregó 25 ml de ácido sulfúrico 6 N, se agito por espacio de 10 minutos, al final de filtró para obtener el extracto y se realizó diluciones de 1/100. La lectura se tomó en el espectrofotómetro de absorción atómica.