

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



TESIS DE GRADO

**“ACTIVIDAD ENZIMÁTICA Y BIOMASA MICROBIANA DE
LOS SUELOS CON CULTIVO DE COCA (*Erythroxylum
coca*) EN LA COMUNIDAD DE SAN AGUSTÍN-NOR
YUNGAS DE LA PAZ.”**

JOSELINE ANTONIETA RAMALLO UNZUETA

La Paz - Bolivia
2021

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

“ACTIVIDAD ENZIMÁTICA Y BIOMASA MICROBIANA DE LOS SUELOS CON CULTIVO DE COCA (*Erythroxylum coca*) EN LA COMUNIDAD DE SAN AGUSTÍN-NOR YUNGAS DE LA PAZ.

Tesis de grado presentado como requisito
Parcial para optar el Título de
Ingeniera Agrónoma

JOSELINE ANTONIETA RAMALLO UNZUETA

ASESOR:

Ing. Ph.D. Roberto Miranda Casas

Ing. M.Sc. Teresa Ruiz Diaz Luna Pizarro

TRIBUNAL EXAMINADOR:

Ing. M.Sc. Medardo Wilfredo Blanco Villacorta

Ing. M. Sc. Juan José Vicente Rojas

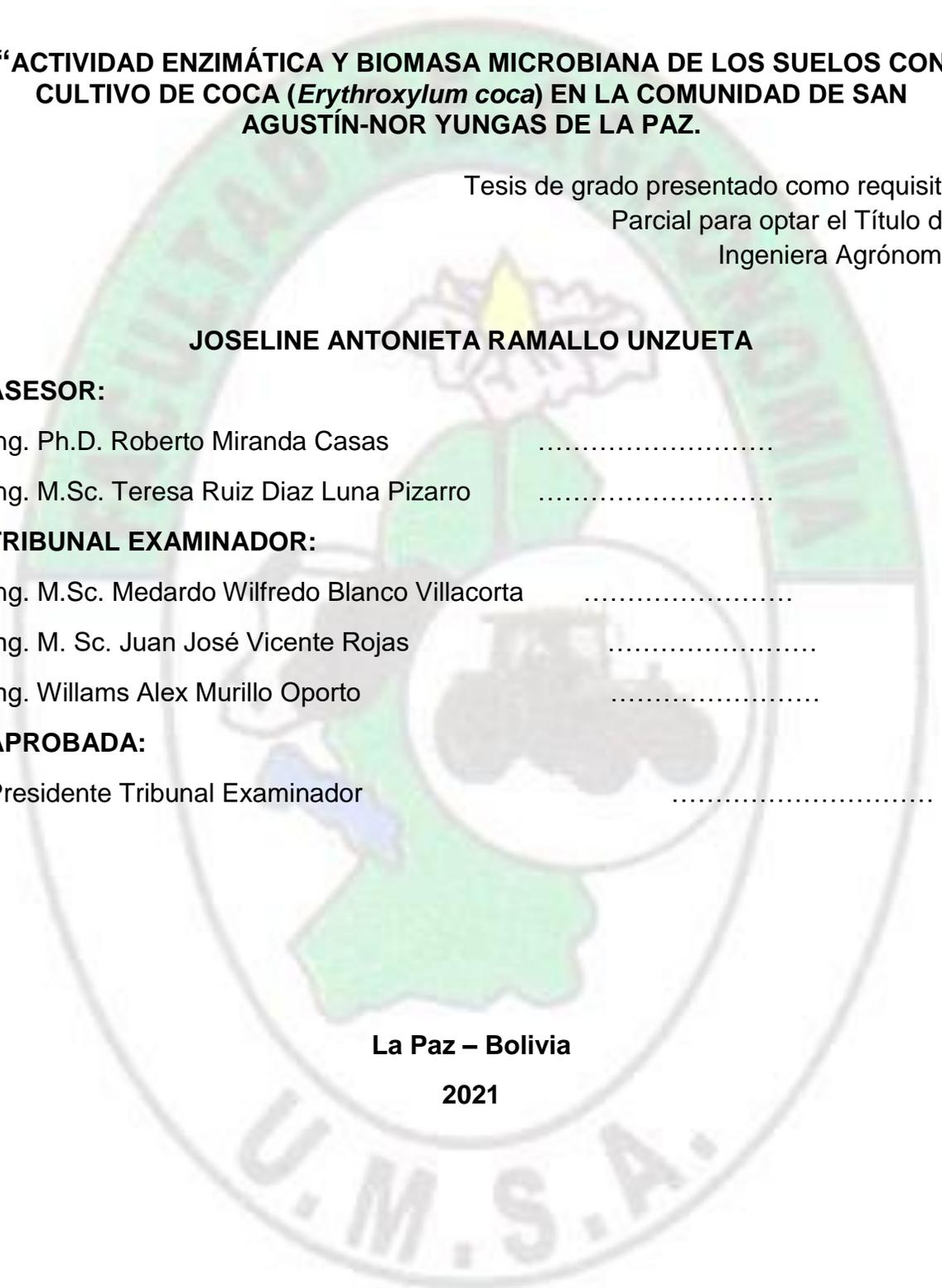
Ing. Willams Alex Murillo Oporto

APROBADA:

Presidente Tribunal Examinador

La Paz – Bolivia

2021



1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Antecedentes	1
1.2.	Planteamiento del problema.....	2
1.3.	Justificación	2
1.4.	OBJETIVOS.....	3
1.4.1.	Objetivo general	3
1.4.2.	Objetivos específicos	3
2.	REVISION BIBLIOGRAFICA.....	4
2.1.	Cultivo de coca.....	4
2.1.1.	Clasificación taxonómica de la coca.....	4
2.2.	Suelo.....	4
2.3.	Características físicas de los suelos de los Yungas	6
2.3.1.	Textura.....	6
2.3.2.	Densidad aparente.....	6
2.3.3.	Densidad real.....	7
2.3.4.	Porosidad.....	7
2.3.5.	Humedad	8
2.4.	Características químicas de los suelos de los yungas.....	9
2.4.1.	Materia orgánica	9
2.4.2.	pH	9
2.4.3.	Conductividad eléctrica	10
2.4.4.	Nitrógeno	11
2.4.5.	Fosforo.....	12
2.5.	Sistemas agrícolas y Biodiversidad microbiana.....	12
2.6.	Bioindicadores de la calidad del suelo.....	12
2.6.1.	Enzimas	13
2.6.2.	Clasificación de las enzimas	13
2.6.3.	Importancia de las enzimas.....	15
	Actividad enzimática (β -Glucosidasa).....	15
2.7.	Importancia de la medida de la actividad microbiana	16
2.7.1.1.	Actividad microbiana	17
2.7.1.2.	Biomasa microbiana.....	18
3.	LOCALIZACION.....	19
3.1.	Ubicación	19
3.2.	Características del luga.....	20

4.	MATERIALES Y METODOS	22
4.1.	Materiales	22
4.1.1.	Materiales de campo	22
4.1.2.	Materiales de laboratorio	22
	Reactivos	23
4.1.3.	Materiales de gabinete	23
4.2.	Metodología	24
4.2.1.	Procedimiento experimental	24
4.2.3.	Modelo lineal aditivo	27
4.2.4.	Variables de respuesta	29
5.1.	Análisis climático	38
5.1.1.	Temperatura	38
5.1.2.	Precipitación pluvial	40
5.2.	Propiedades Físicas de los suelos	41
5.2.1.	Textura	41
5.2.2.	Densidad del suelo	43
5.3.	Propiedades Químicas de los suelos	47
5.3.1.	Materia orgánica	48
5.3.2.	pH del suelo	50
5.3.3.	Conductividad eléctrica	52
5.4.	Propiedades Biológicas de los suelos	57
5.5.	Actividad de la Beta-glucosidasa	57
5.6.	Biomasa microbiana	59
5.7.	Actividad Microbiana	60
8.	BIBLIOGRAFIA	64
	ANEXOS	70

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo del carbono	16
Figura 2. Ubicación de la comunidad de San Agustín	19
Figura 3. Ubicación de los puntos de muestreo en la comunidad San Agustín en la imagen satelital	25
Figura 4. A: Muestreo de la parcela en barbecho; B: Muestreo de parcela con cultivo de coca; C: Mezcla de las sub muestras.....	25
Figura 5. A: Tamizado de las muestras frescas; B: Muestras conservadas en hielo para el análisis de parámetros biológicos; C: secado de las muestras para parámetros físico-químicos.	26
Figura 6. Distribución de las unidades experimentales.	28
Figura 7. Cuantificación de la actividad enzimática.....	34
Figura 8. Evaluación de la biomasa microbiana	36
Figura 9. Evaluación de la actividad enzimática.....	38
Figura 10. Comportamiento de la temperatura, en la comunidad de Arapata, gestión agrícola 2019.....	39
Figura 11. Precipitación (mm) mensual (2019), registrada en los meses de enero a diciembre	40
Figura 12. Proporción granulométrica de las parcelas en estudio.	42
Figura 13. Valores de la densidad real para suelos con cultivo de coca con diferente manejo.....	44
Figura 14. Valores de la aparente para suelos con cultivo de coca con diferente manejo.....	45
Figura 15. Valores de la porosidad para suelos con cultivo de coca con diferente manejo	46
Figura 16. Valores de la humedad de suelos con cultivo de coca, con diferente manejo .	47
Figura 17. Valores de la materia orgánica para suelos con cultivo de coca con diferente manejo.....	49
Figura 18. Valores de carbono orgánico para suelos con cultivo de coca con diferente manejo.....	50
Figura 19. Valores de pH para suelos con cultivo de coca con diferente manejo	51

Figura 20. Valores de la conductividad eléctrica para suelos con cultivo de coca con diferente manejo	52
Figura 21. Valores del contenido de nitrógeno total, en suelos con cultivo de coca.	53
Figura 22. Valores del contenido de nitrógeno mineral, en suelos con cultivo de coca ...	55
Figura 23. Valores de fósforo disponible en los suelos con cultivo de coca	56
Figura 24. Valores de la enzima β -glucosidasa para suelos con cultivo de coca con diferente manejo	58
Figura 25. Valores de la biomasa microbiana para suelos con cultivo de coca con diferente manejo.....	60
Figura 26. Valores de la actividad microbiana para suelos con cultivo de coca con diferente manejo	61

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1. Distribución geográfica de las parcelas con diferente manejo de coca (<i>Ertroxilum coca</i>).....	24
Tabla 2. Variables de respuestas de la investigación.....	29
Tabla 3. Resumen de las observaciones de temperatura de la gestión 2019.....	38
Tabla 4. Propiedades físicas de suelos con diferentes manejos, en la comunidad de San Agustín-Nor Yungas.....	41
Tabla 5. Propiedades químicas de suelos con diferentes manejos, en la comunidad de San Agustín-Nor Yungas	48
Tabla 6. Interpretación del contenido de nitrógeno total en el suelo (Kjeldahl)	54
Tabla 7. Interpretación del contenido de nitrógeno mineral en los suelos.	56
Tabla 8. Propiedades biológicas de suelos con diferentes manejos, en la comunidad de San Agustín-Nor Yungas.....	58

CONTENIDO DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis de varianza de los diferentes parámetros de evaluación	71
Anexos 2. Análisis físicos químicos y biológicos de los suelos.....	77
Anexo 3. Registro fotográfico de los procesos de determinación de las variables de estudio.....	86

DEDICATORIA

Con mucho amor y gratitud para mi hijita:

Querida Elianita, quiero que sepas que el paso más grande que he dado hasta el momento es también el tuyo porque en todo el recorrido para obtener mi título profesional has estado a mi lado, despertando junto a mi para ir a clases, a tu corta edad represento un sacrificio enorme que nunca olvidare, en ocasiones cediendo el tiempo que deberías pasar conmigo para que yo pueda estudiar, has sido muy madura y sabia para comprenderme, ayudarme y amarme incondicionalmente.

Gracias por todo hijita.

CON AMOR MAMI

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme salud, sabiduría, fuerza para salir adelante en las dificultades.

A la Universidad Mayor de San Andrés, a los docentes de la Facultad de Agronomía y personal administrativo.

Un agradecimiento especial a mis asesores Ing. Ph.D. Roberto Miranda Casas y Ing. M.Sc. Teresa Ruiz Días Luna Pizarro por el conocimiento que me brindaron en el desarrollo de la investigación, por su orientación, sugerencias y sobre todo por el apoyo que me dieron.

Agradecimiento a mis revisores Ing. M. Sc. Juan José Vicente Rojas, Ing. M. Sc. Medardo Wilfredo Blanco Villacorta, Ing. William Alex Murillo Oporto, por el tiempo dedicado a la revisión del trabajo y por las observaciones acertadas a la presente investigación.

Agradecer a mi familia, a mi mamá Vivian Unzueta y mi papá Fernando Ramallo por haberme forjado como la persona que soy por todo el amor, cuidados, enseñanzas, por el esfuerzo que hacen para sacarnos adelante, a mis compañeras de vida mis hermanas Lic. Camila, Lic. Andrea y Paola por los consejos, por siempre estar cuando lo necesito y nunca negarme su apoyo, por el tiempo compartido y todo el amor de hermanas.

Agradecer a mi compañero de vida Ing. Freddy Tiñini Vallejos y a mi hijita Eliana Fiorella por darme fuerza en los momentos de flaqueza, por brindarme su apoyo, comprensión, paciencia y todo su amor incondicional.

Al Laboratorio de Suelos y Aguas de La Facultad de Agronomía (LAFASA), por brindarme los ambientes y materiales para la realización de la investigación, a la Ing. Elizabeth Yujra por compartir sus conocimientos, a mis compañeros de tesis, Andy, Marle, Yhovis, Toño, Ale, Brandon y Franz por los momentos de trabajo, fueron momentos de aprendizaje para nuestra vida profesional.

Agradecer a mi grupo de amigos "OSOS" Silvia, Keny, Percy, Wayra, Fer, Ali, Melany, Jose Angel, Pedro, Anel, Mike, Isi y hasta el cielo Jaimito con los que compartí llantos, risas y alegrías durante mis años de formación, por nunca soltarnos especialmente en los momentos más complicados de la vida.

RESUMEN

“ACTIVIDAD ENZIMÁTICA Y BIOMASA MICROBIANA DE LOS SUELOS CON CULTIVO DE COCA (*Erythroxylum coca*) EN LA COMUNIDAD DE SAN AGUSTÍN-NOR YUNGAS DE LA PAZ.

Autora: Joseline Antonieta Ramallo Unzueta

Las enzimas son moléculas de naturaleza proteica producidas por los seres vivos y que se encargan de acelerar reacciones químicas o hacer posibles aquellas reacciones que de otra manera no se producirían. Asimismo, las enzimas se encuentran en los microorganismos, por lo cual es importante conocer la biomasa de los mismos.

El objetivo del presente trabajo de investigación fue determinar las propiedades físico-químicas de los suelos, con diferente manejo de coca; cuantificar la actividad enzimática (B-glucosidasa) en estos suelos y evaluar la biomasa y actividad microbiana.

Las muestras fueron recolectadas de la comunidad de San Agustín, provincia Nor-Yungas del departamento de La Paz a una altura de 1630 m.s.n.m. en coordenadas 16°38'37" latitud y 67°38'37" longitud Oeste. La zona presenta 3 a 3,5 meses secos, con una precipitación anual de 1200 mm. El análisis de las muestras se realizó en el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Facultad de Agronomía. Fueron identificados cuatro manejos: Cultivo de coca con más de 15 años, 10 años, 5 años y 0 años (testigo), cada una con tres repeticiones, haciendo un total de 12 parcelas unidades experimentales. De cada tratamiento se determinaron muestras de suelos para la determinación de variables físicas como textura, densidad y humedad al momento de la extracción de muestras, variables química y biológica como el contenido de paranitrofenol. La biomasa de los microorganismos fue obtenida por fumigación con cloroformo y la actividad microbiana con el método de respiración. Para la interpretación de los resultados se utilizó un diseño de bloques al azar.

La textura del suelo varía entre franco a franco arcilloso, la densidad aparente, real y porosidad no presentaron diferencias significativas, mientras que los parámetros químicos resultaron ser más sensibles al manejo del suelo, en este sentido, la materia orgánica y el carbono se encuentran valores altos en los suelos sin cultivo con respecto a los suelos con diferentes años de cultivo. Con respecto al nitrógeno mineral y el fósforo soluble, el suelo testigo o el barbecho presentó mayores valores con respecto al suelo con diferentes años del cultivo. El suelo no sometido a ninguna actividad agrícola (barbecho), presenta los valores más altos de presencia de β -glucosidasa, mientras que los suelos con cultivo presentan menores valores de esta enzima. Estos datos señalan que la actividad enzimática es influenciada por el manejo del suelo. Similar situación se presenta para la biomasa microbiana, mientras que la actividad microbiana no presentó diferencias significativas.

ABSTRACT

Enzymes are molecules of a protein nature produced by living beings and that are responsible for accelerating chemical reactions or making possible those reactions that otherwise would not occur. Likewise, enzymes are found in microorganisms, which is why it is important to know their biomass.

The objective of this research work was to determine the physicochemical properties of soils, with different handling of coca; quantify the enzymatic activity (B-glucosidase) in these soils and evaluate the biomass and microbial activity.

The samples were collected from the community of San Agustín, Nor-Yungas province of the department of La Paz at a height of 1630 m.a.s.l. in coordinates 16 ° 38 "37" latitude and 67 ° 38 "37" West longitude. The area has 3 to 3.5 dry months, with an annual rainfall of 1200 mm. Four practices were identified: Coca cultivation with more than 15 years, 10 years, 5 years and 0 years (control), each with three repetitions, making a total of 12 experimental unit plots. The work was carried out in the Soil and Water Laboratory of the Faculty of Agronomy. Soil samples were determined from each treatment to determine physical variables such as texture, density and humidity at the time of sample extraction, chemical and biological variables such as paranitrophenol content. The biomass of the microorganisms was obtained by fumigation with chloroform and the microbial activity with the respiration method. For the interpretation of the results, a randomized block design was used. The soil texture varies between loam to clay loam, the apparent and real density and porosity did not show significant differences, while the chemical parameters turned out to be more sensitive to soil management, in this sense, organic matter and carbon are found. They are found at high values with respect to soils with different years of cultivation. Regarding mineral nitrogen and soluble phosphorus, the control soil or fallow presented higher values with respect to the soil with different years of the crop. The soil not subjected to any agricultural activity (fallow), presents the highest values of presence of β -glucosidase, while the soils with cultivation present lower values of this enzyme. These data indicate that enzyme activity is influenced by soil management. Similar situation occurs for microbial biomass, while microbial activity did not present significant differences.

1. INTRODUCCIÓN

Las enzimas son biomoléculas de naturaleza proteica que aceleran la velocidad de reacción hasta alcanzar un equilibrio. Constituyen el tipo de proteínas más numeroso y especializado y, actúan como catalizadores de reacciones químicas específicas en los seres vivos o sistemas biológicos. Muchas de las enzimas no trabajan solas, se organizan en secuencias, también llamadas rutas metabólicas, y muchas de ellas tienen la capacidad de regular su actividad enzimática (Lehninger, et al., 2016)

Las enzimas son proteínas globulares formadas por una o más cadenas polipeptídicas plegadas, creando una “hondonada” donde encaja el sustrato y tiene lugar la reacción. Esta zona de la enzima se denomina *centro activo* y sólo unos pocos aminoácidos están implicados en él. La proximidad de los aminoácidos en el centro activo está determinada por la estructura terciaria, aunque también pueden ocupar posiciones adyacentes en la estructura primaria. En una enzima con estructura cuaternaria, los aminoácidos del centro activo pueden encontrarse incluso en diferentes cadenas (Aldabe, et al., 2014).

Todas las reacciones metabólicas que ocurren en un organismo están mediadas por enzimas, estas son capaces de acelerar las reacciones químicas sin consumirse ni formar parte de los productos. Las enzimas, en los sistemas biológicos constituyen las bases de las complejas y variadas reacciones que caracterizan los fenómenos vitales y algunas de ellas catalizan la hidrólisis de los materiales, la cual se produce cuando el polímero tiene principalmente enlaces inestables y algún grado de hidrofilia (Dillon, et al., 2015).

1.1. Antecedentes

La producción del cultivo de coca, antes del 2004, se basaba en pequeñas parcelas con el mínimo uso de plaguicidas y fertilizantes químicos, a partir del año 2005 se incrementa la superficie cultivada y el uso de los agroquímicos. El uso de

insecticidas fue conocido desde hace varias décadas, pero sólo cuando la infestación era muy aguda, actualmente es aplicado cada trimestre. Según los productores del cultivo de coca ecológica, estos plaguicidas eliminan a todos los insectos, incluyendo los predadores naturales del “sica” o “Ulo” (*Eloria noyesi*) (plaga del cultivo de coca), Este

impacto, no es observado por los productores. En cambio, sí perciben las consecuencias negativas del uso de algunos fertilizantes, en particular la urea. Aparte de endurecer el suelo, dicen que, aunque apura el ciclo vegetativo de la coca y así acorta el periodo entre cosechas, dando ingresos más rápidos en corto plazo, la hoja misma es más delgada y así pesa menos (la venta es por peso); las plantas envejecen pronto y su producción decae antes de tiempo; y las vendedoras de coca al detalle en la ciudad de La Paz dicen que la coca producida con urea se deteriora pronto y ello incide en su comercialización.

1.2. Planteamiento del problema

Durante los últimos años el cultivo de coca (*Erythroxylum coca*) ha tenido un incremento territorial llegando a un nuevo régimen para la promoción, la circulación, el transporte, la comercialización, el consumo, la investigación y la industrialización de la coca en su estado natural (UNODC, 2016). Define una nueva zonificación para la producción de la hoja y amplía las áreas autorizadas para cultivos lícitos de 12.000 a 22.000 hectáreas (ley general de la coca, 2017).

En los últimos años los suelos de yungas se ven afectados por la progresiva implantación del monocultivo de coca, llegando a empobrecer el suelo (deterioro y acidificación). Los impactos derivados del manejo surgen de la necesidad de desmontar para establecer el cultivo, siendo la deforestación y quema los causantes de pérdida de materia orgánica (protección de suelo), los iniciadores de este proceso, agravando la situación al no contar con un diagnóstico de las condiciones actuales de los suelos en la región, para su posterior tratado.

1.3. Justificación

La justificación del presente trabajo es poder saber la situación actual de suelos cultivados con coca y con distintos años desde la implementación del cultivo, a través de la biomasa microbiana y características bioquímicas que pueda presentar el suelo y proponer medidas de manejo sostenible del recurso suelo.

Como ya se indicó los indicadores biológicos de calidad de la calidad y salud del suelo son mucho más sensibles y por lo tanto más precisos, asimismo no señalan con más

detalle la presencia o ausencia de microorganismos en el suelo, lo cual es un componente importante en la salud de este.

Por lo mencionado el presente trabajo es determinar la condición actual de suelos cultivados con coca de distintos años, desde la implementación del cultivo, a través de la biomasa microbiana y características bioquímicas que pueda presentar el suelo y proponer medidas de manejo sostenible del recurso suelo.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Determinar la actividad enzimática y la biomasa microbiana de suelos con cultivo de coca (*Erythroxylum coca*) en la comunidad de San Agustín.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar las propiedades fisicoquímicas de los suelos, con diferente manejo de coca.
- Cuantificar la actividad enzimática (B-glucosidasa) en los suelos con distintos años de cultivo de coca.
- Evaluar la biomasa microbiana en suelos con distintos años de cultivo de coca.
- Evaluar la actividad microbiana en suelos con distintos años de cultivo de coca.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Cultivo de coca

La hoja de coca es una planta originaria de Sudamérica el cual juega un papel importante en las sociedades andinas, se desarrolla en zonas de altura intermedia (entre los 800 y 2.500 m.s.n.m.), en los Andes crece en forma arbustiva hasta 2.5 cm de altura, de tallos leñosos y hojas elipsoidales, medianas muy fragantes, flores minúsculas de coloración blanca y sus frutos de color rojo con forma ovoidal minúsculo carente de pulpa. La planta en su composición química tiene altas cantidades de alcaloides (Diana, et al., 1993).

2.1.1. Clasificación taxonómica de la coca

<i>Reino:</i>	Plantae
<i>Orden:</i>	Malpighiales
<i>Familia:</i>	Erythroxylaceae
<i>Subfamilia</i>	Lymantriidae
<i>Genero:</i>	Erythroxylum
<i>Especie:</i>	E. coca

(Ortega, 2015)

2.2. Características edafoclimáticas del cultivo de Coca

Las condiciones óptimas para el crecimiento de arbustos de coca se relacionan con suelos de humus y arcilla, ricos en hierro y ubicados en los valles rodeados de montañas, donde constantemente se mantiene alto nivel de humedad y llueve con frecuencia. Normalmente la planta vive hasta 30 o 40 años y en condiciones ideales puede llegar a la edad de 100 años. ([https://www.ecured.cu/Coca_\(planta\)](https://www.ecured.cu/Coca_(planta)))

La coca se cultiva en los bosques húmedos y muy húmedos subtropicales, llamados yungas y que forman el piso inferior de la Selva Alta, en los Andes Centrales, mayormente en Perú y Bolivia. Las yungas están en contacto con las selvas pluviales de las tierras bajas en Amazonia. La altitud óptima es 1000 a 2000 metros, con precipitación media

anual óptima de 2000 mm, pero se cultiva entre los 700 y 2000 msnm y con precipitación media anual de 1000 a 4200 mm. (Matteucci & Morello, 2002).

Las zonas de cultivo de la coca en Bolivia son muy diferentes en cuanto a sus características geográficas y ecológicas: campos de altura con pendientes agudas de los valles de los yungas, zonas bajas inundadas y casi amazónicas del chapare. Estos hallazgos muestran la capacidad del arbusto de coca para adaptarse a condiciones climáticas muy variadas (Sauvain *et al.*, 1997). La región de los yungas está compuesta por elevadas montañas con pendientes que van de 10 a 15° de inclinación y situadas a alturas que van desde los 1200 hasta los 2000 m ; presentan suelos arcillosos de color rojizo con pizarras y lutitas, los cultivos se encuentran en terrazas preparadas por los agricultores (Sauvain *et al.*, 1997). La variedad cultivada varía en función de los factores climáticos, topográficos y pueden distinguirse dos escenarios principales para el establecimiento de las plantaciones cocalas: Ambientes húmedos de los Yungas de Perú y Bolivia: zona climática del bosque montano húmedo, cuya altitud de formación comprende la franja entre 1000 y 2000 m, con precipitaciones en torno a 2000 mm anuales y temperaturas medias anuales entre 20 y 22° C. Las fuertes pendientes obligan a establecer terrazas, bancales o gradas sostenidas por "pircas" o muros de piedra; los suelos son poco profundos y pedregosos y sobre ellos se cultiva la "coca boliviana" o "coca de Huánuco". (Viguera, 2010)

2.3. Suelo

El suelo es un sistema complejo, según Klaus (1990), constituido de materias sólidas, líquidas y gaseosa. Las partículas sólidas forman una estructura porosa tal que los espacios vacíos, denominados poros, tienen la capacidad de almacenar líquidos y gases (Yanarico, 2016).

Según el IFA (2002), el suelo es un material extraordinario, es la capa superficial de la tierra, la que ha sido transformada muy despacio por la descomposición a través de la acción meteorológica, la acción de la vegetación y del ser humano. El material original del cual un suelo se forma puede ser la roca subyacente o los depósitos de los ríos y de los mares (suelos aluviales) y del viento (suelos eólicos, tales como el loess) o suelos de cenizas volcánicas (Yujra, 2018).

Por su parte, Miranda (2004), define al suelo como un complejo orgánico mineral con características dinámicas, es el lugar donde se desarrolla una gran actividad biológica. Los suelos se constituyen como una parte de un sistema y en el cual existen gran interrelación entre los diferentes componentes.

La FAO (2019), define al suelo como un cuerpo natural que consiste en capas de suelo (horizonte del suelo), compuestas de materiales minerales meteorizados, materia orgánica, aire y agua. El suelo es el producto final de la influencia del tiempo y combinado con el clima topografía, organismos (flora, fauna y ser humano), de materiales parentales (rocas y minerales originarios). Como resultado el suelo difiere de su material parental en su textura, estructura, consistencia, color y propiedades químicas, biológicas y físicas.

2.4. Características físicas de los suelos

2.4.1. Textura

La textura según, Orsag (2010) es el contenido porcentual de arena, limo y arcilla que un suelo presenta. Como esas fracciones tienen diferentes cualidades para transmitir o retener el agua, aire, nutrientes y otros, consiguientemente las combinaciones de estas fracciones en diferentes proporciones le propician al suelo una fertilidad variada.

La textura del suelo está relacionada con el tamaño de las partículas minerales y específicamente se refiere a los porcentajes relativos de arena, limo y arcilla presentes en un suelo (Castillo, 2015). Esta propiedad física es muy importante ya que no determina otras características como la capacidad de almacenamiento de agua, la susceptibilidad a la degradación, fertilidad, etc.

2.4.2. Densidad aparente

Según Miranda y Caballero (2015) la densidad aparente es la relación entre la masa del suelo seco y el volumen total del mismo, incluyendo el espacio poroso. La Densidad aparente varía con la textura, estructura, compactación, materia orgánica, actividad biológica y composición mineralógica del suelo.

Existe una relación clara entre el valor de la densidad aparente con otras propiedades y características del suelo; entre estas se destacan la textura, contenido de materia orgánica, la porosidad, la compactación – compresión, la conductividad térmica y la resistencia del suelo a la penetración. Valores altos de densidad aparente denotan compactación, mientras que valores bajos denotan mayor contenido de materia orgánica, ya que los suelos pesan menos.

2.4.3. Densidad real

La densidad real, también conocida como densidad de sólidos o densidad de las partículas, se define como la masa de sólidos por unidad de volumen (Ingaramo, et al., 2007). Los valores típicos varían de 2.5 a 2.8 Mg/m³, siendo 2.65 Mg/m³ el valor representativo de muchos suelos y el valor de densidad de partícula para el cuarzo.

La densidad de las partículas no proporciona información acerca de los procesos físicos del suelo. Sin embargo, es un valor muy útil que participa en el cálculo de propiedades del suelo como la porosidad y la distribución del tamaño de las partículas. La mayoría de los métodos estándares señalan la remoción de la materia orgánica, de tal manera que, la densidad de las partículas refleje solamente la fase mineral. Éste es el mejor valor para utilizarse en el análisis del tamaño de las partículas, pero quizás no sea el mejor valor para el cálculo de la porosidad. El incluir la fracción orgánica en esta determinación significa que los valores obtenidos pueden cambiar con las prácticas de manejo del suelo (Flores, 2010).

(Porta, et al., 2003), señalan que para determinar la densidad real se utiliza el picnómetro y líquidos no polares, como por ejemplo el tolueno, o polares, como el agua.

2.4.4. Porosidad

La porosidad se refiere a la proporción de espacios porosos o cavidades ocupadas con aire y agua que existen en la masa del suelo. Su importancia reside en el hecho de que por estos espacios o poros circulan los gases y las soluciones a través del perfil (Suárez, 1992) citado por Castillo, (2015).

Por otra parte, Díaz (1999), indica que la porosidad varía con la textura del suelo, la forma de las partículas individuales, la estructura del suelo, la cantidad de materia orgánica y la solidez. De los suelos arenosos a los suelos arcillosos, el espacio de poros varía del 32 al 50% en relación con el contenido de materia orgánica puede elevarse en un 60%, en tierras de pastoreo.

2.4.5. Humedad del suelo

La naturaleza del agua en el suelo hace que su medición se considere de vital interés tanto de investigación sobre agricultura y recursos hídricos, en general, como en modelos meteorológicos en particular. Sin embargo, las medidas de humedad en el suelo se realizan de forma generalizada en campos muy diversos tales como: prácticas agrícolas, evaluaciones biológicas de ecosistemas naturales, numerosas aplicaciones medioambientales y obras civiles, así como, en investigaciones afines a estas actividades como la edafología, climatológica, hidrología, geotecnia, ciencias biológicas, ciencias ambientales, entre otros (Miranda y Caballero, 2015).

Flores (2010), señala que la humedad del suelo influye en muchas propiedades físicas, tales como la densidad aparente, espacio poroso, compactación, penetrabilidad, resistencia al corte, consistencia, succión total de agua y color del suelo. La humedad del suelo es muy dinámica y depende del clima, vegetación, profundidad del suelo, y de las características y condiciones físicas del perfil. Se entiende por humedad del suelo a la masa de agua contenida por unidad de masa de sólidos del suelo.

La humedad del suelo se puede expresar gravimétricamente, con base en la masa, o volumétricamente, con base en el volumen. La humedad gravimétrica (w) es la forma más básica de expresar la humedad del suelo. Las unidades que tienen son de kg kg^{-1} . La humedad volumétrica, generalmente, se calcula como un porcentaje del volumen total del suelo (Flores, 2010).

2.5. Características químicas de los suelos de los yungas

2.5.1. Materia orgánica

Miranda y Caballero (2015), indican que la materia orgánica que contiene el suelo procede tanto de la descomposición de los seres vivos que mueren sobre ella, como de la actividad biológica de los organismos vivos que contiene: lombrices, insectos, microorganismos, etc. La descomposición de estos restos y residuos metabólicos da origen a lo que se denomina humus.

Por otra parte, Rodríguez (1982) citado por Rojas (2016), señala que la materia orgánica proviene de la síntesis de los organismos vivos que combinan los distintos elementos en su funcionamiento metabólico y catabólico.

2.5.2. pH

Dentro de las características químicas de un suelo el pH determina la acidez o alcalinidad de un suelo, este parámetro es útil para definir el tipo de cultivo que sea adaptable a las condiciones donde se requiera establecerlo, además define la disponibilidad de nutrientes en el suelo, (Miranda y Caballero, 2015).

Allison (1982), indica que el pH del suelo está influenciado por la composición de los cationes intercambiables, la naturaleza de los materiales de intercambio catiónico, composición y concentración de las sales solubles y la presencia o ausencia de yeso y carbonatos de metales alcalinos-térreos. Los suelos de los yungas suelen presentar pH por debajo de la neutralidad, debido a la mayor incidencia de las precipitaciones pluviales que hacen que las bases de cambio como el sodio y potasio sean lixiviadas del perfil del suelo.

Por otra parte, Bouol, (1986) citado en Castillo, (2015) señala que el pH de una solución acuosa es el logaritmo negativo de la actividad del ión hidrogeno. Su valor puede determinarse con el potenciómetro usando diversos electrodos o colorimétricamente, mediante indicadores que cambian de color con la actividad del ión hidrogeno.

El uso de insecticidas fue conocido desde hace varias décadas, pero sólo cuando la infestación de plagas era muy aguda. Actualmente se ha hecho rutinaria para gran parte de los productores, así que después de cada cosecha automáticamente proceden a fumigar con plaguicidas, frecuentemente combinadas con fertilizantes foliares. Algunos llegan a fumigar dos veces en cada mita (periodo de cosecha trimestral). Según los promotores del cultivo ecológico, estas plaguicidas eliminan a todas las plagas y controladores biológicos. Entonces aumenta la infestación de plagas y se inicia un círculo vicioso de uso cada vez mayor de plaguicidas. (Viguera, 2010). Con el incremento exponencial de plagas y enfermedades se ha generado resistencia a los agroquímicos, dando lugar a un círculo vicioso por el uso indiscriminado y cada vez mayor del mismo, lo que genera impactos sociales y ambientales en la región, en los productores, en los pobladores locales y en los consumidores de la hoja de coca. (Crespo, 2007)

Según Bedoya et al., (2017) los agricultores que cultivan la coca y otros sembríos transitorios con manejo tradicional o empírico hacen utilización excesiva de insumos agroquímicos en dichas plantaciones que intensifican el empobrecimiento y la degradación del suelo.

El bajo aporte de residuos al suelo por parte del cultivo de coca deja descubierto el mismo por largos periodos la superficie y la erosión hídrica de los horizontes superficiales del suelo. Hay que considerar que la materia orgánica del suelo tiene un papel importante en la retención de metales, por su capacidad para formar enlaces fuertes en sus grupos carboxílicos y fenólicos, por formación de complejos estables, solubilización, adsorción, precipitación y por el intercambio iónico (Bravo et al., 2014; Cortes et al., 2016); condición que frente a una disminución de la MO puede llevar a un incremento del Al^{+3} (mayor porcentaje de acidez intercambiable) y acidificación de los suelos (Celis, Florida & Roner, 2020).

2.5.3. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica mide la salinidad, extraído del suelo saturado, normalmente expresada en mili ohmios por centímetro a 25°C (Allison, 1992).

En las zonas áridas y semiáridas, donde hay poca lluvia y temperatura elevadas; siempre está presente la tendencia de acumulación de sales (Cepeda, 1991) citado en (Rojas, 2016). La misma es determinada por el valor de la conductividad eléctrica.

Allison (1982), menciona que un suelo es salino cuando la conductividad de su extracto de saturación es mayor de 4 milimhos/cm o 4000 micromhos/cm se ha encontrado que la conductividad eléctrica del extracto de saturación de un suelo, en ausencia de acumulación de sales proveniente del agua subterránea, es generalmente de 2 a 10 veces mayor que la correspondiente al agua con que se ha regado este aumentó en la concentración de sales es resultado de la extracción continua de la humedad por las raíces y por la evaporación. En general, los suelos de los yungas no son salinos, salvo pequeñas excepciones, ya que las precipitaciones y la topografía hacen que las sales sean eliminadas del perfil del suelo.

2.5.4. Nitrógeno

El Nitrógeno es uno de los elementos esenciales más importantes para la planta, porque constituye un factor limitante en el rendimiento debido a que existe en el suelo en muy pequeñas cantidades en forma mineral, que es la forma que asimila la planta (Rodríguez, 1991).

Salisbury y Ross (2000), indican que el nitrógeno dentro de un ecosistema, se encuentra en los restos del material orgánico de las plantas y animales que son atacados por los microorganismos de tipo amonificadores que liberan nitrógeno N_2 a la atmósfera y amoniaco (NH_3) al suelo. Los microorganismos nitrificadores producen NO_2 que se convierten en N_2 a través de los microorganismos desnitrificadores y en nitrato por los nitrificadores.

Por otro lado, Velasco (1991), señala que la mayor parte de nitrógeno del suelo se halla en la materia orgánica, la descomposición de esta debe tener un lugar, si el nitrógeno aparece en forma sencilla, su descomposición es un proceso bioquímico muy complejo.

2.5.5. Fosforo

El fósforo (P) en el suelo tiene un origen orgánico e inorgánico, en sus distintas proporciones según el tipo del suelo, las formas de asimilación por parte de la planta son el fosfato monobásico y el bibásico, el primero es de mayor utilización que el segundo. Interviene en la formación de las nucleoproteínas y ácidos nucleicos y fosfolípidos (Rodríguez, 1991).

Las formas de asimilación del fosforo por parte de la planta son el fosfato monobásico (PO_4H_2^-) y el bibásico (H_2PO_4^-), el primero es de mayor utilización que el segundo. Interviene en la formación de las nucleoproteínas y ácidos nucleicos y fosfolípidos (Rodríguez, 1982).

2.6. Sistemas agrícolas y biodiversidad microbiana

En los sistemas agrícolas la biodiversidad desempeña servicios ecológicos, de producción de alimento, fibra, combustibles e ingresos monetarios. También se incluyen el reciclado de nutrientes, control del microclima local, regulación de procesos locales, regulación de la abundancia de organismos indeseables y de toxicación de productos químicos nocivos. Los diferentes manejos agrícolas modifican la biodiversidad y alteran la estructura de las comunidades microbiológicas del suelo (Kennedy y Smith, 1995; García de Salamone et al., 2006) citado en (García, 2011). Por ello, es indispensable implementar prácticas de manejo, como siembra directa e inclusión de mayor cantidad de gramíneas en la rotación con plantas leguminosas, que garanticen un balance positivo de nutrientes y el uso eficiente de los recursos del sistema suelo-planta, disminuyendo la degradación de la materia orgánica (Grandy et al., 2006; Sisti et al., 2004) citado por (García, 2011).

2.7. Bioindicadores de la calidad del suelo

Un indicador biológico es una propiedad, característica o proceso que puede ser medido para detectar cambios en el sistema estudiado. Los indicadores biológicos influyen en medidas de poblaciones de micro y macro-organismos, su actividad y subproductos (Uribe, 1999).

2.7.1. Enzimas

Según Burns (1982), las enzimas son moléculas de naturaleza proteica producidas por los seres vivos y que se encargan de acelerar reacciones químicas o hacer posibles aquellas reacciones que de otra manera no se producirían. Dicho de otro modo, son catalizadores biológicos que, al reducir la energía de activación necesaria para las reacciones, transforman las sustancias involucradas en el metabolismo celular (incluyendo el anabolismo o reacciones de construcción, y el catabolismo o reacciones de destrucción). La velocidad de la reacción catalizadora por la enzima depende del pH, de la fuerza iónica, de la temperatura y de la presencia o ausencia de inhibidores.

Por su parte Stryer (1995), indica que las enzimas son proteínas cuyo papel es catalizar las reacciones químicas en los seres vivos, actúan sobre sustratos específicos transformándolos en productos necesarios para los ciclos biológicos. Su importancia fundamental radica en que el funcionamiento de los ecosistemas no se puede entender correctamente sin la participación de los procesos enzimáticos, ya que las enzimas determinan gran parte de las transformaciones químicas que se producen en el suelo citado por (García, 2013).

Dick y Tabatabai (1993), señalan que las enzimas intervienen en la mayoría de los procesos que tienen lugar en el suelo y las funciones que realizan son de gran importancia. Son responsables de la formación de moléculas orgánicas y particularmente tienen una participación vital en el ciclo nitrógeno, fósforo y carbono. Cumplen un papel vital en procesos tales como la mineralización, inmovilización de nutrientes y fijación biológica de nitrógeno, entre otros citado por (Henríquez, et al., 2014).

2.7.2. Clasificación de las enzimas

Burns (1982), establece diez categorías diferentes de enzimas dependiendo el tipo de asociación y ubicación, la simplificación de estas diez categorías conduce a la clasificación de las enzimas en cinco tipos:

i) Las enzimas asociadas con células vivas.

Hay cuatro sub-categorías, según la ubicación de la función enzimática:

- a) La ubicación de las enzimas podría estar dentro del citoplasma, ligada a la pared celular de una célula viable (enzimas intracelulares). Muchas de estas enzimas están asociadas con los aspectos centrales del metabolismo, como el glucolisis y el ciclo de Krebs.
- b) Las enzimas unidas a la superficie interior de las todavía células vivas cuyos sitios activos se extienden en el medio ambiente. También enzimas que están incrustadas en la superficie interior de las membranas de las células de las raíces de las plantas y de los microorganismos están incluidas en esta categoría.
- c) Las secretadas por las células vivas durante el crecimiento y división celular normal y que se encuentran en la fase acuosa del suelo.
- d) Las enzimas liberadas de las células lisadas, cuya ubicación original era funcional dentro de las células y que pueden sobrevivir durante un periodo corto de tiempo en la fase acuosa del suelo.

ii) Las enzimas asociadas con células no proliferantes.

Estas enzimas existen dentro de las esporas de hongos, protozoos, las semillas de las plantas, y las endosporas bacterianas.

iii) Enzimas asociadas temporalmente formando complejos enzimas-sustrato solubles o insolubles.

iv) Enzimas unidas a las células muertas enteras o restos celulares.

v) las enzimas inmovilizadas sobre coloides minerales o coloides húmicos.

Estas enzimas tienen una larga vida media en relación con las enzimas en la fase acuosa del suelo citado por García, (2013).

Asimismo, se establecen categorías con las enzimas del suelo según su función:

2.7.3. Importancia de las enzimas

Las enzimas son importantes puesto que determinan las pautas de las transformaciones químicas que tienen lugar en el suelo. Por lo tanto, son fundamentales para comprender el funcionamiento de un ecosistema, ya que determinan los distintos ciclos de los nutrientes en el suelo (García, 2003).

Cumplen un papel vital en procesos tales como la mineralización, inmovilización de nutrientes y fijación biológica de nitrógeno, entre otros.

Específicamente en relación con la mineralización, las enzimas participan en la transformación de compuestos orgánicos complejos a sustancias asimilables por las plantas que catalizan las etapas limitantes en la mineralización de nutrientes. Esta es la razón por la cual se relaciona su actividad con la liberación de nutrientes inorgánicos procedentes de la materia orgánica (Caldwell 2005, Carpa 2009, Coyne 2000, Dick y Tabatabai 1993) citados por (Hernández, 2014).

Una parte de las enzimas de suelo son extracelulares, y liberadas durante el metabolismo y muerte celular, otras son intracelulares y que forman parte de la biomasa microbiana o bien están adsorbidas en la materia orgánica y en el sistema coloidal, lo cual sugiere que el suelo puede actuar como un reservorio temporal; lo anterior implica que en un momento dado la actividad enzimática podría no estar ligada necesariamente con la actividad microbiana (Alef y Nannipieri 1995, Alexander 1980, Paul y Clark 2007) citado en (Hernández, 2014).

Actividad enzimática (β -Glucosidasa)

Las enzimas del suelo están asociadas a los procesos bioquímicos, algunas de las cuales están presentes en el protoplasma de la masa de microorganismos, mientras que otras son sintetizadas y excretadas extracelularmente (Zornoza et al., 2006) citado por (Sánchez, 2011). La β -glucosidasa es una enzima que se destaca por su importante papel en la degradación de carbohidratos del suelo. Interviene en el proceso final de

degradación de la celulosa ya que descompone los derivados de bajo peso molecular acumulados en el suelo, fuente de energía para los microorganismos

La β -glucosidasa, incluida en el grupo de las glicosidasas o glucosidohidrolasas, es una enzima que interviene en el ciclo del carbono (Figura 1), uno de los principales ciclos de nutrientes. calidad del suelo (Wu et al., 2014; Pérez de Mora, 2005) citado por (Ordoñez, 2015).



Figura 1. Ciclo del carbono

2.8. Importancia de la medida de la actividad microbiana

La importancia de los microorganismos en cuanto a su relación con la calidad de un suelo, o con procesos de degradación o recuperación del mismo, no es tanto conocer los tipos de microorganismos que llevan a cabo funciones concretas, sino la actividad microbiana en ese determinado ambiente. Para ello, parámetros de tipo bioquímico pueden constituir un excelente punto de partida. Entre esos parámetros, los hay que pueden ser considerados como “generales”, ya que su medida nos permite dar idea de los procesos microbianos que se producen en un suelo de manera global (determinación del C y N de la biomasa microbiana, mineralización del nitrógeno, determinación del ATP, respiración del suelo, o incluso oxidorreductasas como la actividad deshidrogenasa y catalasa),

mientras que por el contrario, otros, como la mayoría de las actividades enzimáticas del tipo hidrolasas cuyas técnicas analíticas se verán posteriormente (actividades relacionadas con los ciclos de los elementos importantes que se dan en el suelo: carbohidrasas, β -glucosidasa y, β -galactosidasa del ciclo del C, fosfatasa del ciclo del P, ureasa y proteasas del ciclo del N, arilsulfatasa del ciclo del S; u otras actividades como la quitinasa) deben ser considerados como parámetros “específicos”, puesto que corresponden a reacciones concretas y dependen precisamente de sustratos específicos. Su determinación puede ser útil en estudios que se lleven a cabo sobre suelos naturales, donde los procesos microbianos, claves para su conservación y degradación ambiental pueden monitorizarse a través de parámetros de la actividad metabólica de dicho suelo. También dichos parámetros pueden resultar apropiados para estudios relativos a sistemas agrícolas modernos, en particular cuando en dichos sistemas impera un manejo ecológico y sostenible del suelo (Chocano, et al., 2002).

2.8.1.1. Actividad microbiana

La actividad microbiana del suelo puede ser estimada por la respiración que puede definirse como la oxidación biológica de la materia orgánica a CO_2 . En su conjunto, los suelos del planeta contienen alrededor de 2,1 a $2,3 \times 10^{12}$ Toneladas de carbono orgánico (Batjes, 1996), siendo la mayor reserva de carbono de la biosfera. La mineralización de esta materia orgánica por los microorganismos heterótrofos rige los ciclos biogeoquímicos de los principales nutrientes, afectando con ello a la producción vegetal y a la composición de la atmósfera (Sinsabaugh et al., 2008). La respiración del microbiota edáfico es el eslabón fundamental que cierra el ciclo del carbono en los ecosistemas terrestres, retornándolo a la atmósfera en forma de CO_2 (Schlesinger y Andrews, 2000). No obstante, parte del CO_2 desprendido desde el suelo proviene de otros procesos distintos a la respiración microbiana, como son los fermentativos y los procesos anaeróbicos que emplean NO_3^- o SO_4^{2-} como aceptores de electrones.

De acuerdo a Sánchez, et al., (2000) es aconsejable tomar muestras a los 15 cm donde habrá mayor actividad microbiana. Pero de acuerdo estación del año (Caballero, 2015), indica que en verano habrá mayor actividad microbiana en comparación de la época de invierno.

2.8.1.2. Biomasa microbiana

La biomasa microbiana se define, como la fracción de la materia orgánica del suelo que está compuesta por microorganismos vivos, pertenecientes a genero Arquea, Bacteria, Fungí y Protista , aunque los tres primeros grupos llegan a formar más del 95% de esta fracción (Beare, 1997). La biomasa microbiana corresponde a aproximadamente el 50% del peso total de plantas en un cultivo, excediendo por mucho la biomasa de los metazoos (Eldor, 2007). La biomasa microbiana suele ser expresada en μg de carbono por gramo de suelo seco (Alef y Nannipieri, 1995). Para su determinación de acuerdo a (Álvarez y Santanarolia,, 1987) menciona que el método más adecuado es el de fumigación con cloroformo.

3. LOCALIZACIÓN

3.1. Ubicación

Las muestras de suelo fueron recolectadas de la comunidad de San Agustín, provincia Nor-Yungas del departamento de La Paz a una altura de 1630 m.s.n.m. en coordenadas 16°38'37" latitud y 67°38'37" longitud Oeste. El área tiene de 3 a 3,5 meses secos, con una precipitación anual de 1200 mm (Muller, Beck, & Lara, 2002).

El estudio se realizó en el Laboratorio de Suelos y Aguas de La Facultad de Agronomía (LAFASA).



Figura 2. Ubicación de la comunidad de San Agustín

3.2. Características del lugar

3.2.1. Clima

El clima de esta región de los Yungas son depresiones de tipo tropical caracterizadas por una humedad constante y elevada, por la presencia de nieblas permanentes y de abundantes lluvias. Presenta un clima cálido húmedo con una temperatura promedio de 26.5° centígrados y una precipitación pluvial promedio de 1.360 mm/por año.

El clima en el municipio es bastante agradable con temperatura promedio entre 18-25°C y una evapotranspiración de 800 a 1000 mm.

3.2.2. Suelo

Los suelos del Municipio pertenecen al Suborden Orthents, donde generalmente existe la presencia de montañas, serranías y colinas, y representan formaciones material coluvial y aluvial, que tienen contacto lítico y/o paralítico. Estos suelos presentan texturas gruesas medianas y finas, débilmente estructurados en los horizontes superiores. Zonas con fuertes pendientes presentan alto riesgo de erosión vegetal original, generalmente bosques.

Esta región no tiene estudios de clasificación de suelos. La clasificación es establecida tomando en cuenta la aptitud ecológica, la que se caracteriza por tener suelos con fuertes pendientes, sometidos a procesos de remoción en masa, con alto grado de erosión tanto hídrica como eólica.

Al sur del área Arapata-Coripata se observan depósitos cuaternarios a lo largo de una llanura aluvial con gravas, arenas, limos y arcillas. La cuenca alta al igual que las áreas más bajas se caracteriza por la presencia de cuarcitas, areniscas y limonitas que con el tiempo se han transformado en rocas metamórficas resultando diferentes tipos de pizarras.

Por las características climáticas, la zona presenta suelos Franco Arcillosos, con bajo índice de materia orgánica, con afloraciones pedregosas. Tierra de color pardo a rojizo, lixiviado, con alto grado de acidez.

La vegetación natural es representativa a bosques bajos, con presencia de helechos, musgos, líquenes y hongos de varias especies.

Dentro de la zona de vida existen paisajes predominantes de: Terrazas altas disectadas, colinas, valles y pendientes coluvio - aluvionales muy inclinados, donde se han originado suelos superficiales con distinto grado de pedregosidad.

4. MATERIALES Y METODOS

4.1. Materiales

4.1.1. Materiales de campo

- ✓ Barreno
- ✓ Bolsas herméticas (ziploc)
- ✓ Cooler
- ✓ Tamiz (2mm y 1mm)

4.1.2. Materiales de laboratorio

- ✓ Vasos precipitados
- ✓ Probetas
- ✓ Buretas
- ✓ Matraz Erlenmeyer
- ✓ Matraz aforado
- ✓ Frascos (100 ml y 1000 ml)
- ✓ Micropipetas
- ✓ Pissetas
- ✓ Papel filtro
- ✓ Termómetro
- ✓ Tubos de ensayo

4.1.3. Equipos de laboratorio

- ✓ Balanza analítica

- ✓ Agitador mecánico
- ✓ Phmetro
- ✓ Incubadora
- ✓ Espectrofotómetro
- ✓ Destilador Kjeldahl

4.1.4. Reactivos de laboratorio

- ✓ Tampón Universal Modificado (MUB) stock
- ✓ Tampón MUB pH 6
- ✓ p-nitrofenil-B-D-glucopiranosido
- ✓ p-nitrofenol
- ✓ Cloruro de calcio
- ✓ Disolución THAM-NaOH pH 12
- ✓ Disolución THAM pH 10
- ✓ Ácido bórico
- ✓ Hidróxido de sodio
- ✓ Cloruro de potasio
- ✓ Ácido sulfúrico
- ✓ Ácido Fosfórico
- ✓ Difenil amina
- ✓ Sal de Morh
- ✓ Cloruro de bario
- ✓ Indicador fenolftaleína
- ✓ Dicromato de potasio
- ✓ Cloroformo

4.1.5. Materiales de gabinete

- ✓ Computadora
- ✓ Libreta de anotaciones
- ✓ Programa infoStat

4.2. Metodología

4.2.1. Procedimiento experimental

Muestreo del suelo. la recolección de muestras de suelo se realizó en doce parcelas, tres parcelas con cultivo de coca de cinco años, tres parcelas con diez años de cultivo de coca, tres parcelas con quince años de cultivo y tres parcelas en barbecho. En la tabla 1 se muestra las parcelas estudiadas y su distribución geográfica.

El recorrido efectuado para la toma de las submuestras se realizó por el método de zigzag, que consiste en trazar líneas en forma de “Z” por todo el terreno, obteniendo de esta forma muestras representativas del lugar (Chilón, 1997). Con la ayuda de un barreno se recolecto muestras de suelo a una profundidad de 20 cm (figura 4), donde se tomó 1 kg de suelo por cada punto de transecto posteriormente se realizó el cuarteo conformado así una muestra compuesta y homogénea para el estudio, colocando el material en bolsas plásticas y su respectiva identificación.

Tabla 1. Distribución geográfica de las parcelas con diferente manejo de coca (*Ertroxilum coca*)

Código	Manejo del suelo	Coordenadas (UTMs)	
		X	Y
P-A	0 años R1	644244	8202638
P-B	0 años R2	644251	8202894
P-C	0 años R3	644722	8202194
P-D	5 años R1	644173	8202964
P-E	5 años R2	644792	8202515
P-F	5 años R3	644305	8202931
P-G	10 años R1	644529	8202095
P-H	10 años R2	644982	8202494
P-I	10 años R3	644237	8202412
P-J	15 años R1	644164	8202777
P-K	15 años R2	644530	8202098
P-L	15 años R3	644150	8202774



Figura 3. Ubicación de los puntos de muestreo en la comunidad San Agustín en la imagen satelital



Figura 4. A: Muestreo de la parcela en barbecho; B: Muestreo de parcela con cultivo de coca; C: Mezcla de las sub muestras

El mismo día del muestreo se procedió al tamizado, con la ayuda de un tamiz de 2 mm, ya tamizadas las muestras se colocó en bolsas ziploc, y se llevó a un cooler con hielo para la conservación de las muestras frescas a temperatura de 4 grados centígrados (Figura 5), esto se realizó para la determinación de los parámetros biológicos, para los

parámetros físico químicos, se dejó secar las muestras aproximadamente 2 semanas para realizar el tamizado, con tamiz de 2 mm para los parámetros físicos y tamiz de 1 mm para parámetros químicos.



Figura 5. A: Tamizado de las muestras frescas; B: Muestras conservadas en hielo para el análisis de parámetros biológicos; C: secado de las muestras para parámetros físico-químicos.

4.2.2. Determinación de parámetros físico del suelo

Posterior al proceso de secado y tamizado de las muestras de suelo extraídas de las diferentes parcelas de estudio se determinó la humedad (Método Gravimétrico), porosidad (Cálculos), textura (Bouyucos), densidad aparente (Volumétrico) y densidad real (Picnometro) se realizaron a las dos semanas del muestreo de las parcelas estudiadas.

4.2.3. Determinación de parámetros químicos del suelo

La determinación del pH y CE (Método Potenciómetro), se realizó pasadas dos semanas del inicio de la investigación, la determinación de materia orgánico y carbono orgánico (Método Walkley Black), nitrógeno total (Método digestión de Kjendahl), nitrógeno mineral (Método micro Kjendahl) y fósforo disponible (Método Olsen) se realizó al final de la investigación.

4.2.4. Determinación de la actividad enzimática del suelo (β -glucosidasa)

De las muestras de suelo obtenidas de las doce parcelas de estudio (T1 = Parcela con 5 años con cultivo de coca; T2 = Parcela con 10 años con cultivo de coca; T3 = Parcela con 15 o más años con cultivo de coca; T4 = Parcela en barbecho), se cuantificó la actividad potencial de la β -glucosidasa del suelo mediante la incubación del suelo, con p-nitrofenol- β -D-glucopiranosido y medida del p-nitrofenol liberado, este procedimiento se realizó al día posterior de la recolección de muestras.

4.2.5. Evaluación de la biomasa microbiana del suelo

Para el análisis de la Biomasa Microbiana del suelo, se realizó por el método de Extracción-Fumigación Vance et al., (1987) citado por Montenegro (2008) al inicio de la investigación.

4.2.6. Evaluación de la actividad microbiana del suelo

La actividad microbiana se evaluó por el método de incubación donde se evaluó el dióxido de carbono (CO_2) liberado durante la respiración producida por los microorganismos como un índice de la tasa de respiración.

4.3. Análisis estadístico

Los datos obtenidos en el laboratorio fueron analizados por el paquete estadístico InfoStat, utilizando un mismo diseño para los tres objetivos de la investigación, así como una prueba de medias de Tukey ($\alpha = 0,05$).

4.3.1. Modelo lineal aditivo

Para realizar el análisis de datos del proyecto de investigación se tomó en cuenta el siguiente modelo lineal aditivo, con el fin de determinar el efecto del manejo sobre las variables estudiadas (Leon Velarde y Quiroz, 1994)

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Cualquier valor observado

μ = Media General

α_i = Años de cultivo

E_{ij} = Error experimental o condiciones

4.3.2. Croquis experimental

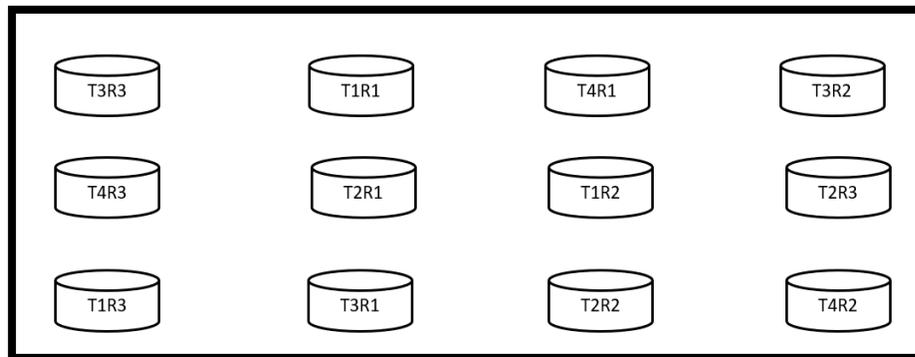


Figura 6. Distribución de las unidades experimentales.

En la distribución de tratamientos se consideró cuatro condiciones a evaluar:

T1: 5 años de cultivo

T2: 10 años de cultivo

T3: mayor a 15 años de cultivo

T4: testigo (barbecho).

Cada tratamiento se repitió tres veces, por lo que el número total de unidades experimentales fue de 12

4.3.3. Variables de respuesta

Tabla 2. Variables de respuestas de la investigación

VARIABLES	Tipo de variables	Indicador	Unidad	Método
PROPIEDADES FÍSICAS	Cuantitativa	Textura	% L, Y, A	Bouyoucos
	Cuantitativa	Densidad Ap.	gr/ cm ³	Probeta
	Cuantitativa	Densidad real	gr/cm ³	Picnómetro
	Cuantitativa	Humedad	%	Cálculos
	Cuantitativa	Porosidad	%	Cálculos
PROPIEDADES QUÍMICAS	Cuantitativa	pH	-	Potenciómetro
	Cuantitativa	C.E.	dS/m	Potenciómetro
	Cuantitativa	Materia orgánica	%	Walkley-Black
	Cuantitativa	Carbono orgánico	%	Cálculos
	Cuantitativa	Nitrógeno total	%	Kjeldahl
	Cuantitativa	Nitrógeno mineral	%	KCl
	Cuantitativa	Fosforo disponible	Ppm	Olsen
PROPIEDADES BIOLÓGICAS	Cuantitativa	Actividad microbiana	µg C-CO ₂	Incubación
	Cuantitativa	Biomasa microbiana	mgC/kgS ^o	Extracción fumigación
	Cuantitativa	^β - glucosidasa	µg PNP/g-h	Colorimetría

4.3.4. Descripción de la metodología

4.3.4.1. Textura

La textura se determinó por el método Bouyoucos.

- Se pesó 50 gramos de suelo seco tamizado con una malla de 2 mm, en un vaso de dispersión.
- Ya pesado el suelo se añadió 5 gramos de hexametáfosfato de sodio posteriormente se agregó 100 ml de agua.
- En un agitador mecánico a una velocidad de 2000 rpm se dejó agitando durante 10 minutos.
- Se trasvaso la suspensión a una probeta de sedimentación, con la ayuda de una piseta se limpió la superficie del vaso para evitar que quedan partículas en este, llenando la probeta hasta 1000 ml.

- Se agitó la solución manualmente durante 1 minutos, se colocó el hidrómetro, una vez se detuvo el hidrómetro inmediatamente se registró la lectura y la temperatura.
- Se dejó reposar durante 2 horas para poder realizar la segunda lectura.
- Se realizaron los cálculos correspondientes (Miranda & Caballero, 2015).

4.3.4.2. Densidad aparente del suelo.

Para la determinación de la densidad aparente está fue realizada por el método de la probeta. (Miranda & Caballero, 2015).

- Se pesaron 50 gramos de suelo seco tamizado a 2 mm.
- Se trasvaso la muestra a una probeta de 100 ml de capacidad, se golpeó la parte inferior de la probeta, para alinear las partículas.
- Se determinó el volumen que ocupa el suelo

4.3.4.3. Humedad del suelo.

Para la determinación de humedad en el suelo se pesó una capsula y se anotó el peso, a continuación se añadió suelo hasta pesar 50 gramos, se llevó a la estufa durante 24 horas a 105°C, pasadas las 24 horas se pesó el suelo seco y se anotó el resultado, se realizaron los cálculos correspondientes (Miranda & Caballero, 2015).

4.3.4.4. pH y conductividad eléctrica.

Para la determinación del pH y la conductividad eléctrica se utilizará el potenciómetro a una relación 1:5.

- Se pesó 10 gramos de suelo seco.
- Posteriormente se añadió 50 ml de agua destilada.
- Se llevó a agitar a un agitador de mesa a velocidad de 250 rpm durante 30 minutos y se dejó reposar 2 horas.

- Pasado el tiempo de reposo se procedió a realizar las lecturas que marcaba en potenciómetro, (Miranda & Caballero, 2015).

4.3.4.5. Materia orgánica.

Para la determinación de la Materia Orgánica se realizó por el método de combustión húmeda de Walkley-Black (Miranda & Caballero, 2015).

- Se pesó 0.5 gramos de suelo seco en un matraz Erlenmeyer
- Se agregó 5 ml de dicromato de potasio 1N
- Se añadió con mucho cuidado a cada matraz 10 ml de ácido sulfúrico
- Se dejó reposando durante 30 minutos.
- Pasado el tiempo de reposo, se adiciono 100 ml de agua destilada y 5 ml de Ácido fosfórico
- Posteriormente se añadió indicador difenilamina
- Se tituló con sulfato ferroso 0.5 hasta tener un color verde esmeralda
- Por último, se valoró el exceso de dicromato de potasio con una solución de sulfato ferroso 0,5 N. El porcentaje de carbono orgánico (%C), se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\% CO = \frac{V_b - V_m * N_s * 3,89}{ps} * 100$$

Donde:

CO = carbono determinado por el método Walkey Black (%).

V_b = volumen de sal de Mohr gastado para valorar la muestra en blanco (ml).

V_m = volumen de sal de Mohr gastado en valorar la muestra problema (ml).

N_s = normalidad de la sal de Mohr (0,5).

ps = peso de muestra de suelo utilizado (g).

100 = factor de corrección para expresar los resultados en %

4.3.4.6. Fosforo disponible.

Para la determinación de fosforo disponible se realizó por el método Olsen según (Yujra, 2018)

- Se pesó 1.5 gramos de suelo y se colocó en un vaso de precipitados de 100 ml.
- Se adiciono 15 ml de la solución extractante.
- se agito por 5 minutos en agitador a 250 rpm.
- Se procedió a filtrar en papel cuantitativo.
- Se tomó una alícuota de 1ml del extracto y se colocó en un matraz aforado de 10 ml, y se adiciono agua aproximadamente 5 ml.
- Se agregó 1 ml del reactivo mezclado, se agito y completo a volumen.
- Se esperó 30 minutos y se procedió a leer en el espectrofotómetro a 889 nm.

4.3.4.7. Nitrógeno total.

- Se pesó 0.5 gramos de suelo en crisoles, y se llevó a matraces Kjeldahl.
- Luego se pesó 1.5 gramos de catalizador y se añadió a los matraces ya con las muestras.
- Se añadió 10 ml de ácido sulfúrico.
- Se llevó al digestor a una temperatura de 400°C pasado una hora se subió la temperatura a 800°C durante una hora más.
- Se neutralizo la muestra con hidróxido de sodio a 10 N.
- Se dejó enfriar una vez enfriado se llevó a destilar, posteriormente se tituló con ácido sulfúrico.

4.3.4.8. Nitrógeno mineral.

La determinación del nitrógeno mineral (se realizó mediante el método de micro-Kjeldahl, (Santelises, 1987):

- Una vez llegadas las muestras a laboratorio se tamizaron con una malla de 2 mm, para realizar la homogenización de la muestra.
- Luego se pesaron 25 gramos de suelo a capacidad de campo a la cual se añadieron 100ml de KCl 1M.
- Este se agitó por 30 minutos y se dejó reposar por el mismo periodo, luego se filtró para separar 20 ml de extracto de esta solución y trasvasar a los tubos de destilación.
- Para la determinación de NH_4 se adicionó 0,2g MgO, y luego se destilo por el lapso de 2 minutos, el destilado (35-40 ml) se colecto en un matraz que contenía 5 ml de indicador de ácido bórico.
- Para la determinación de NO_3 se dejó enfriar el tubo donde se ha determinado el NH_4 , a este se adicionó 0,2 g de liga devarda luego de igual forma se destiló por 2 minutos, el destilado (35-40 ml) también se recolectó en un matraz con 5 ml de indicador de ácido bórico.
- Estas muestras se titularon con ácido sulfúrico 0.05N.

4.3.4.9. Actividad enzimática.

Se midió la actividad potencial de la β -glucosidasa en el suelo, determinando colorimétricamente el p-nitrofenol liberado después de incubar el suelo con el sustrato p-nitrofenil- β -D-glucopiranosido en medio tamponado pH 6.

- Se pesó 1 gramo de suelo por triplicado en matraces Erlenmeyer se incubo el suelo con el sustrato.
- Después de incubado se añadió 4 ml de solución tampón MUB pH 6, 2 ml de agua destilada, y 1 ml de p-nitrofenil- β -D-glucopiranosido.
- Se llevó a agitar durante 30 minutos en un agitador de mesa a una velocidad de 250 rpm.
- Posteriormente se incubaron las muestras en un tiempo aproximado de 1 hora a 37°C.
- Pasado el tiempo de incubación se dejó enfriar.
- Luego añadir 1 ml de cloruro cálcico, y MUB pH 12.
- Se filtraron las muestras en papel filtro (Whatman N° 44) a tubos de ensayo.

- Ya filtradas las muestras se leyeron las concentraciones en el espectrofotómetro, se calculó mediante la siguiente formula:

$$AE = \frac{pNF}{PM(pNF) * P_s * T}$$

Donde:

AE = actividad enzimática del suelo.

pNF = concentración de p-nitrofenol medida de cada muestra

$PM(pNF)$ = peso molecular del p-nitrofenol (139,1 g/mol).

P_s = peso de la muestra (g).

T = tiempo de incubación (1 h).

Los valores de p-nitrofenol se calcularon mediante la siguiente formula:

$$p - nitrofenol = \frac{C * V}{dwt * SW * T}$$

Donde:

C = concentración de p-nitrofenol ($\mu\text{g/ml}$).

V = volumen total de la suspensión (ml).

dwt = peso seco de 1 gramos de suelo húmedo (g).

SW = peso del suelo usado en la prueba (g).

T = tiempo de incubación (1 h).



Figura 7. Cuantificación de la actividad enzimática

4.3.4.10. Biomasa microbiana.

La estimación de la biomasa microbiana se realizó por el método de fumigación extracción.

- Se pesó 20 gramos de suelo por triplicado (muestras fumigadas), las muestras de suelo, se dejaron en un desecador junto con 2 recipientes: uno con 20 ml de cloroformo libre de etanol, y otro con 20 ml de agua, por espacio de 24 horas en oscuridad y a temperatura ambiente.
- Se succiono el aire hasta percibir olor a cloroformo, posteriormente se añadió 20 gramos de suelo en otros 3 recipientes (muestras controles- sin fumigar).
- Se agregó 50 ml de K_2SO_4 0,5 M a cada recipiente, se agitó durante 30 minutos, se dejó decantar durante 30 minutos.
- Se filtró en papel filtro (Whatman N° 42), por cada muestra se pasaron 8 ml del extracto a matraces Erlenmeyer de 250 ml.
- Se realizó el blanco correspondiente a 8 ml por triplicado del extractante (K_2SO_4 0,5 M).
- Se agregaron 2 ml de $K_2Cr_2O_7$ 0,066 M más 10 ml de H_2SO_4 concentrado más 5 ml de H_3PO_4 concentrado, a continuación, se colocó sobre una placa caliente por cinco minutos.
- Se dejó enfriando.
- Se añadió 80 ml de agua, se agregaron tres gotas de indicador difenilamina.
- Se tituló con sulfato ferroso amoniacal 0,033 N (Vance., 1987) los valores

La biomasa C-microbiano se determinó a través de la siguiente fórmula:

$$\frac{\mu gC}{grS^o} = \frac{(B - L) * N * 0.0033 * V_1 * 10^6}{P * V_2}$$

Dónde:

B = lectura en blanco (ml)

L = lectura de las muestras (ml)

N = normalidad del sulfato ferroso

V1 = volumen del extracto (ml)

V2 = volumen titulado del extracto (ml)

P = peso seco de la muestra (g)

Luego se genera la diferencia entre las muestras fumigadas y no fumigadas a partir de la siguiente expresión:

$$BMS = \frac{\mu gCf - \mu gCnf}{0.33}$$

Dónde:

μgCf = microgramos de carbono de suelo fumigado.

$\mu gCnf$ = microgramos de carbono de suelo no fumigado.



Figura 8. Evaluacion de la biomasa microbiana

4.3.4.11. Actividad microbiana.

La actividad microbiana se evaluó por el método de incubación donde se evaluó el dióxido de carbono (CO₂) liberado durante la respiración producida por los microorganismos como un índice de la tasa de respiración.

- En un frasco de 100 ml se pesaron 100 gramos de suelo a capacidad de campo, y en otro frasco de vidrio se colocó 10 ml de hidróxido de sodio.
- Se incubaron las muestras en frascos de 1500 ml.
- Después de 5 días se traspasaron las trampas de hidróxido de sodio a matraces Erlenmeyer.
- Se agregaron a este 5 ml de cloruro de bario se añadió indicador fenolftaleína 2 gotas y se tituló con ácido clorhídrico (Miranda & Caballero, 2015).

La cantidad de carbono que envolvió del suelo en forma de CO₂ está en relación con el carbonato de sodio contra el cual se titula:

$$AM = \frac{(V_b - V_M) * N_{HCl} * 6}{ps} * 1000$$

Donde :

AM= actividad microbiana (µg C g suelo seco)

V_b= volumen de ácido clorhídrico gastado en el blanco (ml)

V_M= volumen del ácido clorhídrico gastado en la muestra (ml)

N_{HCl}= normalidad del ácido clorhídrico (1N)

6= factor para llevar el peso equivalente del CO₂ a C-CO₂

1000= factor para llevar el resultado a microgramos de carbono

Ps= peso del suelo (g)

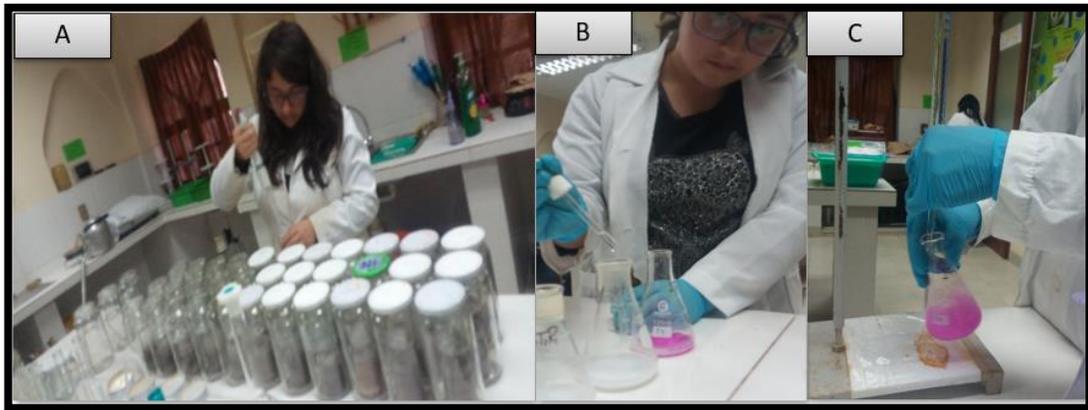


Figura 9. Evaluacion de la actividad enzimatica

5.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Análisis climático

5.1.1. Temperatura

La estación SENAMHI (2019), en el municipio de Coripata reporta una temperatura máxima de 27,8°C y una temperatura mínima de 12,7°C y con una temperatura promedio de 20,7°C. Las temperaturas mínimas se presentan entre mayo a septiembre en este periodo la temperatura más baja se presenta en el mes de agosto. Las temperaturas máximas se presentan entre los meses de noviembre a febrero en este periodo la temperatura más alta se presenta en el mes de noviembre.

Tabla 3. Resumen de las observaciones de temperatura de la gestión 2019.

Temperatura	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.
Tmin (C°)	12.9	12.7	15.0	15.6	16.1	16.3	16.0	16.0	15.9	15.8	14.7	13.2
Tmax (C°)	25.1	25.6	26.2	26.5	27.8	27.5	27.3	27.0	26.9	26.6	25.4	26.1
Tmed (C°)	19.0	19.1	20.6	21.0	21.9	21.9	21.6	21.5	21.4	21.2	20.0	19.7

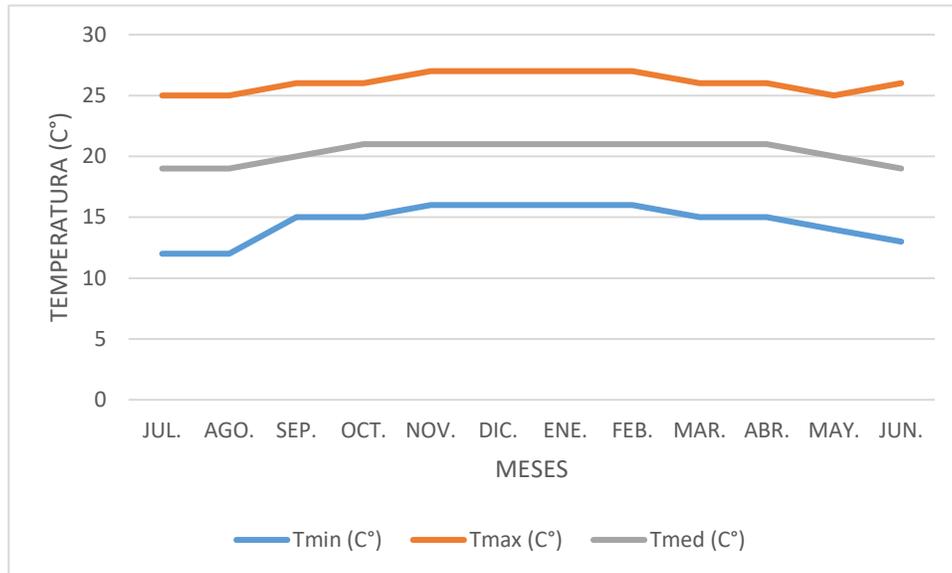


Figura 10. Comportamiento de la temperatura, en la comunidad de Arapata, gestión agrícola 2019

A medida que aumenta la temperatura aumenta la actividad enzimática y, en consecuencia, la velocidad de la reacción. Sin embargo, las temperaturas muy altas desnaturalizan las enzimas, esto significa que el exceso de energía rompe los enlaces que mantienen su estructura haciendo que no funcionen de manera óptima (Briceño, 2015).

Según Fuentes (2007), temperaturas entre 20 y 25°C al parecer son las más favorables para la mayoría de los microorganismos, aunque hay diferencias como el caso de la nitrificación que se produce incluso a temperaturas bajas. Las temperaturas inferiores a 5°C se consideran poco efectivas para la mineralización de nutrientes.

Temperaturas por debajo del nivel crítico (25°C) permiten una acumulación de materia orgánica, mejorando una serie de propiedades en los suelos. Cuando las temperaturas son excesivamente altas, como ocurre en muchas zonas tropicales, se presenta una aceleración en la velocidad de degradación de los restos vegetales en el suelo, lo que causa graves problemas en su fertilidad (Fassbender, 1994).

El incremento de temperatura tiene un impacto fundamental en la actividad de los microorganismos, el metabolismo y las actividades enzimáticas (Allison, 2010).

Las enzimas son esenciales para el metabolismo microbiano y para el funcionamiento del suelo, ya que despolimerizan grandes compuestos orgánicos generando oligómeros y monómeros solubles que pueden ser transportados a las células (Blagodatskaya, 2016).

5.1.2. Precipitación pluvial

Las precipitaciones pluviales en esta región se presentan desde el mes de enero a marzo, con mayor intensidad en enero alcanzando los 329.7 mm en promedio. Las de menor intensidad se encuentran en los meses de junio y agosto con 1.3 mm y 8.6 mm respectivamente (Figura 11).

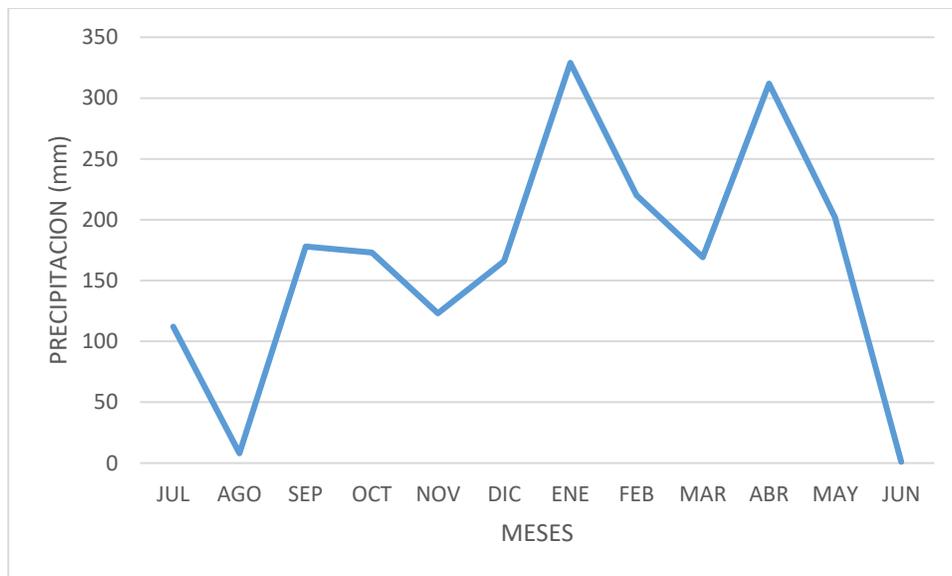


Figura 11. Precipitación (mm) mensual (2019), registrada en los meses de enero a diciembre

La precipitación es un factor que define la humedad que el suelo. Sin embargo, existen varios mecanismos interrelacionados que causan un descenso en la actividad microbiana de un suelo totalmente seco. De esos mecanismos destacan los que incluyen una difusión reducida de sustratos solubles, una reducida movilidad microbiana y del consecuente acceso al sustrato. En suelos muy húmedos el descenso de la actividad de los

microorganismos aeróbicos se atribuye a la ausencia de oxígeno causado por su lenta difusión (Rodríguez, 2009).

Debido al impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie del suelo desnudo, en algunas zonas, se produce la destrucción de sus agregados y el transporte de sus partículas por salpique y/o escurrimiento. En las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas del país debido a la escasa cobertura vegetal natural y a la topografía accidentada, los suelos (al inicio del periodo de lluvias) presentan mayor susceptibilidad a la destrucción de los agregados (Orsag, 2010), este hecho se ve en los yungas en los cultivos de coca establecidos en pronunciadas pendientes y al no poder cubrir el suelo apropiadamente, ni aportar materia orgánica, este se ve expuesto al lavado de la capa arable, aun más en meses de noviembre a marzo (época de lluvia), teniendo una progresiva erosión del recurso suelo.

5.2. Propiedades físicas de los suelos

Tabla 4. Propiedades físicas de suelos con diferentes manejos, en la comunidad de San Agustín-Nor Yungas

Manejo	Arena	Limo	Arcilla	Clase Textural	Dr	Dap	Porosidad	Humedad
	%	%	%		g/cm ³	g/cm ³	%	%
5 años	35,2	33,6	31,2	Franco Arcilloso	2,501	1,14	54,30	27,63
5 años	47,2	29,6	23,2	Franco Arcilloso	2,441	1,11	54,48	29,87
5 años	23,2	37,6	39,2	Franco Arcilloso	2,692	1,09	59,40	26,66
10 años	35,2	20,8	44,0	Franco	1,962	0,76	61,02	54,44
10 años	43,2	29,6	27,2	Franco Arcilloso	2,661	1,17	56,18	23,00
10 años	41,2	27,6	31,2	Franco Arcilloso	2,380	1,14	51,98	23,23
15 años	37,2	31,6	31,2	Franco Arcilloso	2,453	1,11	54,70	25,63
15 años	41,2	30,8	28,0	Franco Arcilloso	2,345	1,18	49,83	24,69
15 años	27,2	30,8	42,0	Franco Arcilloso	2,286	1,15	49,91	44,20
Barbecho	30,0	42,8	27,2	Arcilloso	2,357	1,13	51,92	96,08
Barbecho	41,2	24,8	34,0	Franco	2,148	0,94	56,29	43,47
Barbecho	39,2	28,8	32,0	Franco Arcilloso	2,333	0,99	57,77	47,06

5.2.1. Textura

La textura es una propiedad básica que está relacionada con varios aspectos de calidad del suelo, como la capacidad de retener humedad, nutrientes, permeabilidad, etc. Los

suelos donde están establecidas el cultivo de coca en el presente trabajo varían de franco a franco arcilloso.

La textura de la tierra influye en la actividad enzimática y normalmente en actividades enzimáticas se correlacionan significativa y positivamente con el contenido de arcilla. Los suelos arcillosos tienen una mayor capacidad para almacenar materia orgánica que promueve comunidades microbianas formándose complejos de arcilla y enzima. Por el contrario, suelos arenosos tienden a exhibir bajas tasas de actividad enzimática porque son naturalmente bajos en materia orgánica y tienen poca capacidad de retención de agua lo que implica una menor masa microbiana, y por defecto menor actividad enzimática (AGQlabs, 2018)

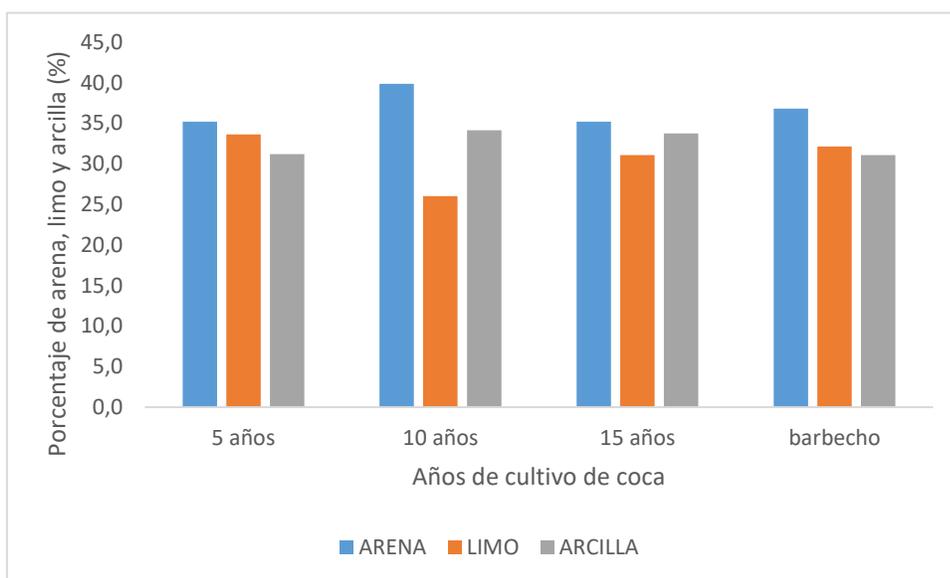


Figura 12. Proporción granulométrica de las parcelas en estudio.

Según la tabla 4 y la figura 12, la arena se encuentra por encima de los 30% para los cuatro tipos de manejo, al igual que la arcilla y el limo.

Castro (2005), menciona que la textura de los suelos de los yungas esta entre franco arenosa (FA), franco arcilloso (FY) y arcillo limosa (AL), en un estudio realizado en la comunidad de Rio Blanco. Castillo (2015), encontró texturas franco-arcillosas (FY), franco arenosas (FA) y arcillosas (Y), por otra parte, Soto, et al., (2013) en un estudio que

realizaron en diferentes zonas del municipio de Palos Blancos y la Asunta, registraron texturas entre franco arenosa (FA), franco arcilloso (FY), arcillo (Y) y franco (F), así mismo Flores (2017) registró texturas franco limosas en los suelos del municipio de Yanacachi.

5.2.2. Densidad del suelo

La densidad del suelo es una propiedad que sirve para inferir la estructura del suelo, ya que se encuentra relacionada con la porosidad y esta a su vez nos permitirá saber si el suelo presenta adecuadas condiciones de aireación para el desarrollo de los cultivos.

El conocimiento de la densidad real es necesario para calcular la porosidad de los suelos, primordialmente en la agricultura, además da cierta orientación sobre el grado de desarrollo de los suelos, también, para conocer la relación entre la parte mineral y orgánica (Cairo, 1995)

La densidad real de los suelos con cultivo de coca en la comunidad de San Agustín varía de 2.3 a 2.6 g/cm³ (Figura 13). No existe diferencias estadísticas significativas en los diferentes tipos de manejo según los años de cultivo, clasificando a estos suelos de muy bajos a bajos en densidad real, aunque numéricamente el barbecho (suelo sin cultivo), presenta un valor menor, que podría deberse a una mayor acumulación de materia orgánica que en un suelo con un cultivo, la densidad real se considera una de las propiedades más estables del suelo y normalmente no se ve afectada por los tratamientos que se aplican en el mismo. Si se efectuasen importantes y continuos aportes de materia orgánica podría disminuir la densidad real pero esta reducción no sería significativa (Ingaramo, et al., 2007).

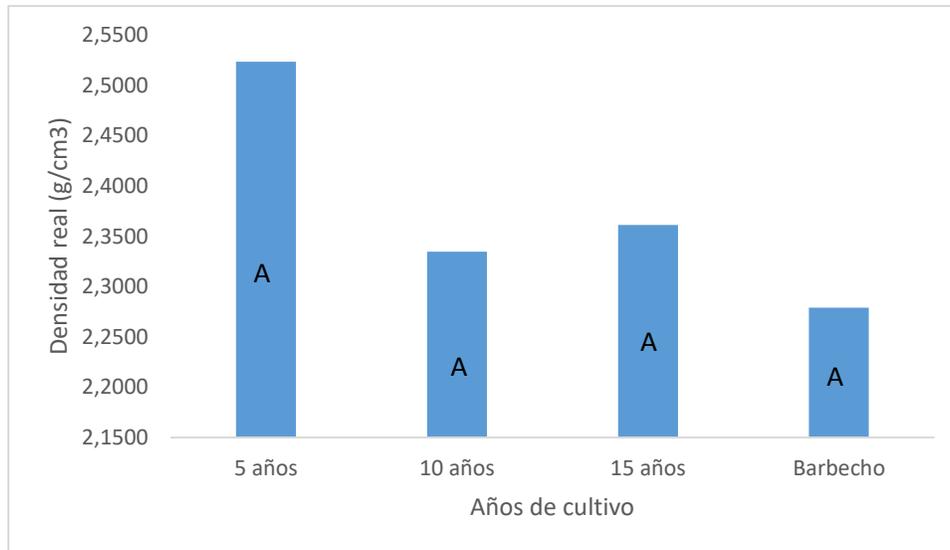


Figura 13. Valores de la densidad real para suelos con cultivo de coca con diferente manejo

A través de la densidad aparente podemos conocer el grado de dureza del suelo. En relación con la densidad aparente (Figura 14), los valores se encuentran entre 0.9 a 1.1 g/cm³, al igual que en la densidad real, tampoco existe diferencias estadísticas significativas, estos valores pueden clasificarse de muy bajo a bajo. A medida que los suelos se compactan disminuye la porosidad y aumenta la densidad aparente (Castillo, 2005), considerando a estos suelos porosos, si las condiciones de suelo fuesen constantes, esperaríamos encontrar mayores valores en suelos con cultivo que en un suelo sin cultivo (barbecho), sin embargo es posible que al no haber labores culturales (aporques u otros) y que la cosecha de la coca se la realiza por corte, no influye en el removido del suelo y por tanto no influye en los valores de la densidad aparente.

Según Castro (2005) la densidad aparente de los suelos de los Yungas oscila entre 1.4 a 1.6 gr/cm³, en un estudio realizado en Rio Blanco, Castillo (2015) registró densidad aparente de 1.4, 1.3, 1.1 y 1.6 gr/cm³.

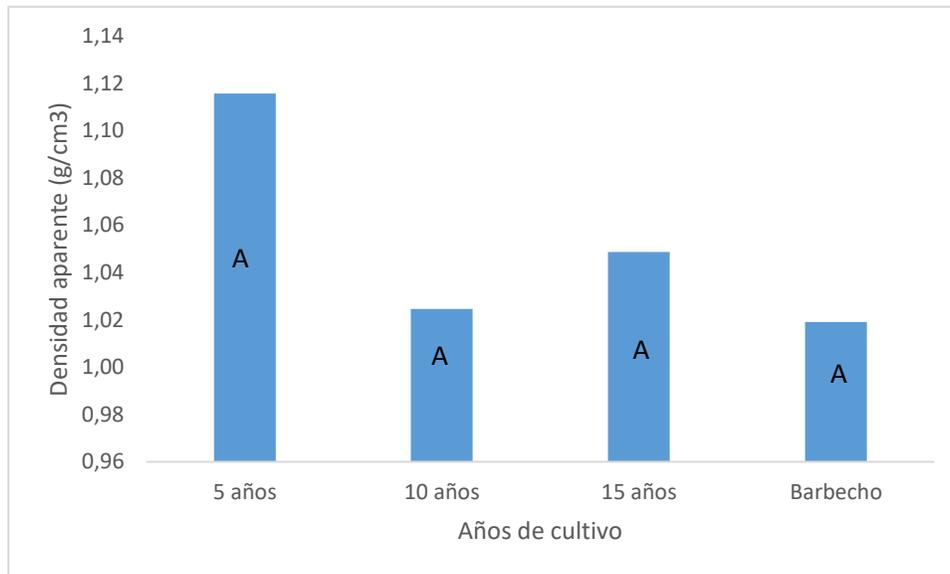


Figura 14. Valores de la aparente para suelos con cultivo de coca con diferente manejo.

5.2.3. Porosidad

Con los datos de la densidad real y la densidad aparente se calculó los valores de la porosidad (Figura 15), y aunque no existen diferencias estadísticas significativas, se nota que el suelo con cultivo de coca mayor a 15 años presenta menor porosidad y por tanto mayor compactación.

La porosidad se refiere a la proporción de espacios porosos o cavidades ocupadas con aire y agua que existen en la masa del suelo. Su importancia reside en el hecho de que por estos espacios o poros circulan los gases y las soluciones a través del perfil (Suárez, 1992) citado por (Castillo, 2015).

La compactación puede limitar la actividad de las enzimas involucradas en mineralización de nutrientes debido a la disminución de oxígeno en el suelo para aquellas reacciones u organismos que requieren una acción aeróbica ambiental. Por el contrario, las condiciones anaerobias de la compactación o la saturación de agua aumentan la reacción enzimática a tasas relacionadas con la desnitrificación.

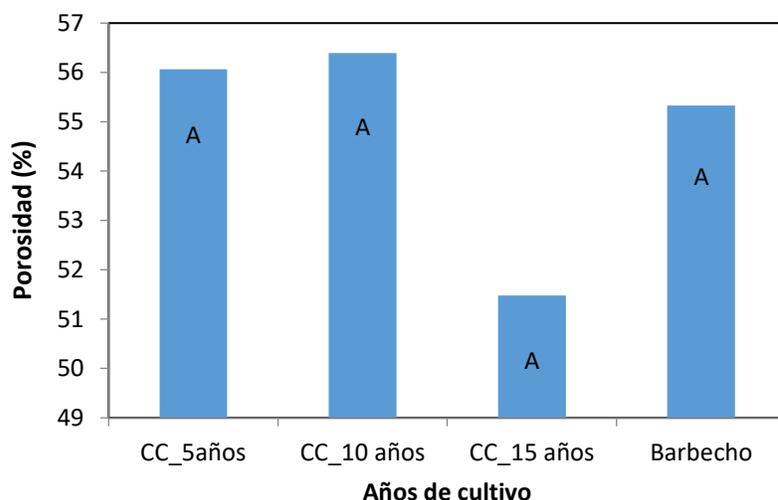


Figura 15. Valores de la porosidad para suelos con cultivo de coca con diferente manejo Castillo en su trabajo de investigación realizado en el 2015 registró valores de porosidad entre 40, 47, 51. En suelos de la comunidad de Rio Blanco Sud Yungas.

5.2.4. Humedad del suelo

La humedad del suelo es muy dinámica y depende del clima, vegetación, profundidad del suelo, y de las características físicas del perfil. Se entiende por humedad del suelo a la masa de agua contenida por unidad de masa de sólidos del suelo.

La actividad de muchas enzimas a menudo se correlaciona con el contenido de humedad del suelo, también. La sequía puede suprimir la actividad enzimática (AGQlabs, 2018).

En la siguiente figura, se muestran los valores de Humedad del suelo, determinados en laboratorio, Los valores promedio de la humedad se pueden apreciar en la Figura 16. Las diferencias encontradas no fueron significativas entre los tratamientos. Sin embargo, se

puede observar que en suelos de las parcelas en barbecho la humedad promedio es de 62.20 %, seguida de las parcelas de 10 años con cultivo con una humedad promedio de 33.56 %, las parcelas de 5 años con cultivo presentan 28.05 % de humedad y por ultimo las parcelas de 15 años con cultivo, tienen una humedad de 23.04 %.

Ramos et al., (2007), en un estudio realizado en Lima-Perú, indican que la actividad microbiana mejora significativamente con el incremento de la humedad. Se encontró la mayor tasa de producción de CO₂ y actividad deshidrogenasa a un porcentaje de humedad de 18.0 % en suelo

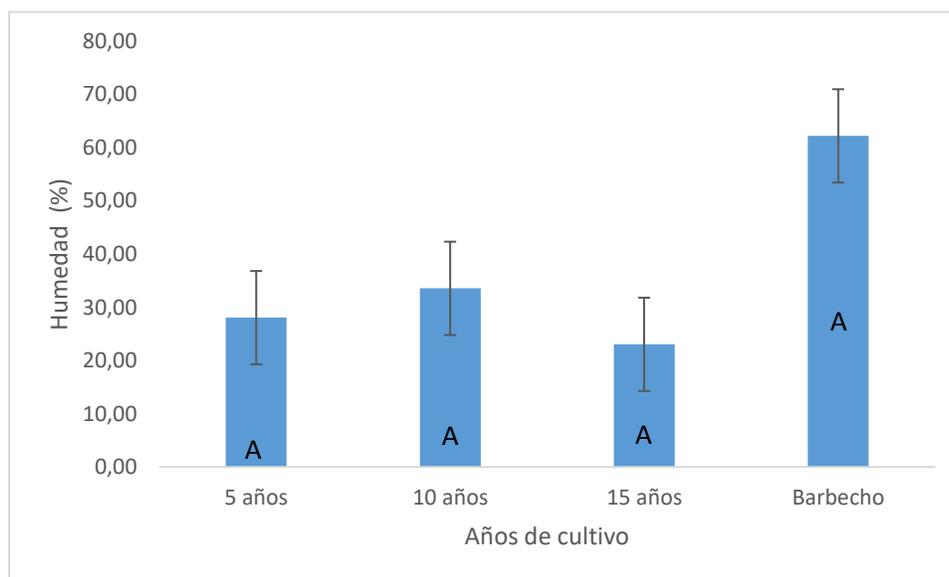


Figura 16. Valores de la humedad de suelos con cultivo de coca, con diferente manejo

5.3. Propiedades químicas de los suelos

Las propiedades químicas de los suelos están asociadas al tamaño de las partículas y a su composición. En el presente trabajo se tomó en cuenta el contenido de Materia Orgánica, pH, conductividad eléctrica, nitrógeno mineral, nitrógeno total y fosforo

disponible. En la tabla 6 se encuentran los datos de estos parámetros químicos en suelos con diferente manejo.

Manejo	NM	NT	P	MO	CO	pH	C.E.
	%	%	ppm/gr	%	%		dS/m
5 años	31,50	0,27		6,72	3,9	5,98	0,54
5 años	16,80		5,45	7,66	4,4	5,76	0,37
5 años	16,10			4,03	2,3	5,42	0,30
10 años	37,10	0,68		5,86	3,4	5,31	0,30
10 años	32,90		5,80	6,99	4,1	4,95	0,45
10 años	28,00			4,70	2,7	5,22	0,14
15 años	10,50	0,23		5,74	3,3	4,80	0,20
15 años	32,90		3,03	4,7	2,7	4,81	0,33
15 años	55,30			11,55	6,7	6,63	0,27
Barbecho	83,30	0,31		11,44	6,6	4,43	0,63
Barbecho	54,60		11,40	25,52	14,8	4,69	1,20
Barbecho	68,95			23,51	13,6	4,94	1,08

Tabla 5. Propiedades químicas de suelos con diferentes manejos, en la comunidad de San Agustín-Nor Yungas

5.3.1. Materia orgánica

La materia orgánica es uno de los componentes del suelo, en pequeña porción, formada por los restos vegetales y animales que por la acción de la microbiota del suelo son convertidos en una materia rica en reservas de nutrientes para las plantas, asegurando la disponibilidad de macro y micronutrientes.

Cuando son agregados restos orgánicos de origen vegetal o animal, los microorganismos del suelo transforman los compuestos complejos de origen orgánico en nutrientes en forma mineral que son solubles para las plantas; pero este proceso es lento, por lo tanto la materia orgánica no representa una fuente inmediata de nutrientes para las plantas, sino más bien una reserva de estos nutrientes para su liberación lenta en el suelo.

Adición de enmiendas orgánicas y adopción de prácticas de gestión que aumentan en el suelo la materia orgánica conduce a una mayor actividad enzimática. Las raíces de las plantas estimulan la actividad enzimática debido a su efecto positivo sobre la actividad microbiana y la producción de exudados y/o secreciones ricas en sustratos que activan a las enzimas.

En la figura 17 se puede observar que existe diferencias estadísticas significativas entre los años de cultivo y el barbecho.

La materia orgánica obtenido de los análisis, se puede observar que el suelo sin cultivo (Barbecho) es considerado muy alto (7.5%), como consecuencia de la hojarasca que los árboles proveen al suelo ocasionando una lenta liberación de nutrientes y por tanto mayor contenido de carbono (Figura 18), en el sistema con cultivo la materia orgánica tiende a disminuir considerado suelo con alto contenido en materia orgánica (4 a 5 %) esto puede deberse a la remoción del suelo y algunas prácticas de laboreo (deshierbe) dejando de esta forma desnudo el suelo.

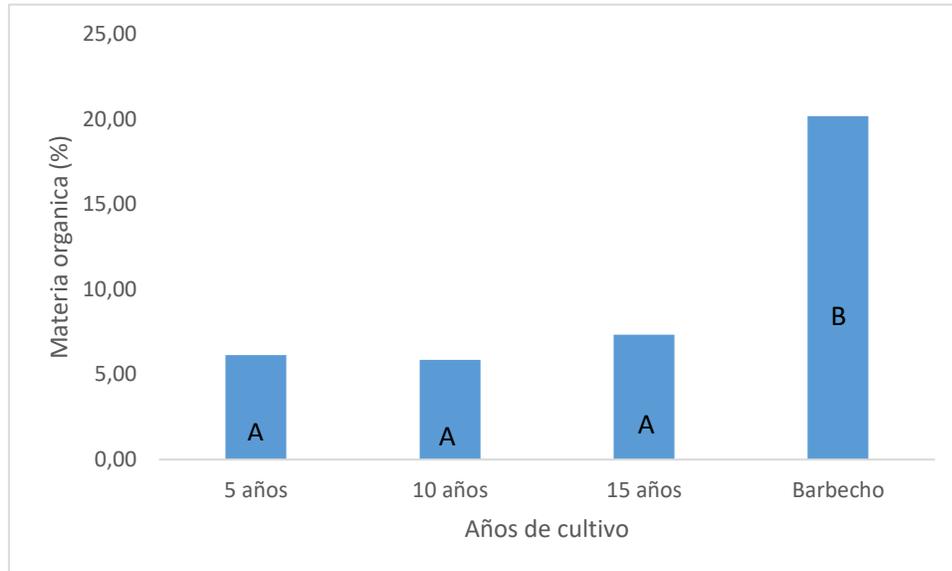


Figura 17. Valores de la materia orgánica para suelos con cultivo de coca con diferente manejo

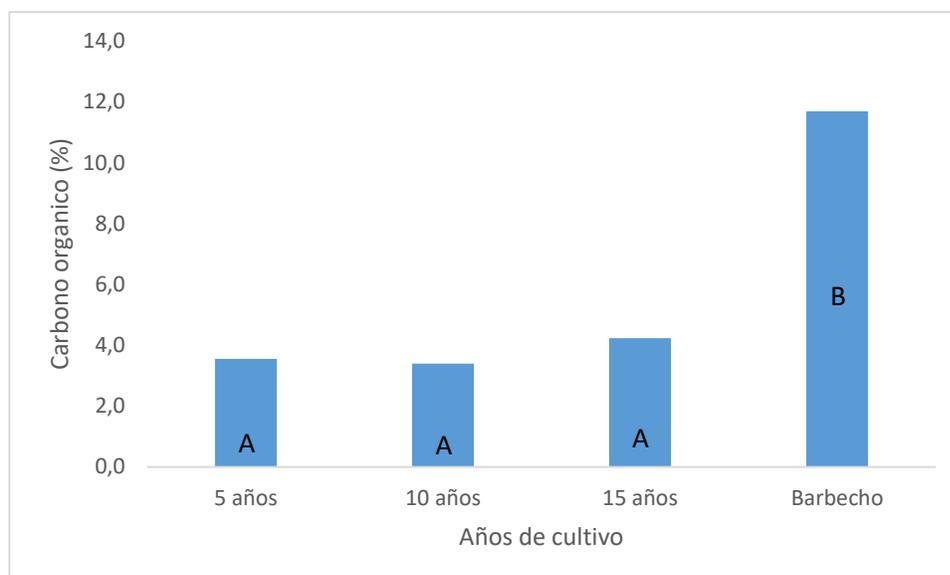


Figura 18. Valores de carbono orgánico para suelos con cultivo de coca con diferente manejo.

Castillo en el 2015, realizó un estudio de la clasificación de suelos en la comunidad de Rio Blanco Sud Yungas, donde se observan valores de 3.76, 3.80, 4.43, 4.50, 7.66 y 9.46 % de materia orgánica

5.3.2. pH del suelo

El pH del suelo es considerado como una de las principales variables en los suelos, ya que controla muchos procesos químicos que en este tienen lugar. Afecta específicamente la disponibilidad de los nutrientes de las plantas, mediante el control de las formas químicas de los nutrientes.

Las enzimas del suelo tienen un pH óptimo variable a los que funcionan más eficazmente. Por ejemplo, la actividad de fosfatasa, arilosulfatasa y amidasa involucradas en fósforo, azufre y el ciclo de nitrógeno, respectivamente, está fuertemente correlacionado con variaciones en el pH del suelo.

Los cambios de iones hidrógeno (pH) influyen considerablemente en la actividad enzimática. Debido a que estos iones poseen carga, generan fuerza de atracción y

repulsión entre los enlaces de hidrógeno e iónicos de las enzimas. Esta interferencia produce cambios en la forma de las enzimas, afectando así su actividad.

Cada enzima tiene un pH óptimo en el que la velocidad de reacción es máxima. Se estableció que la localización celular de la enzima β -glucosidasa es extracelular y presenta estabilidad en un pH de 7.

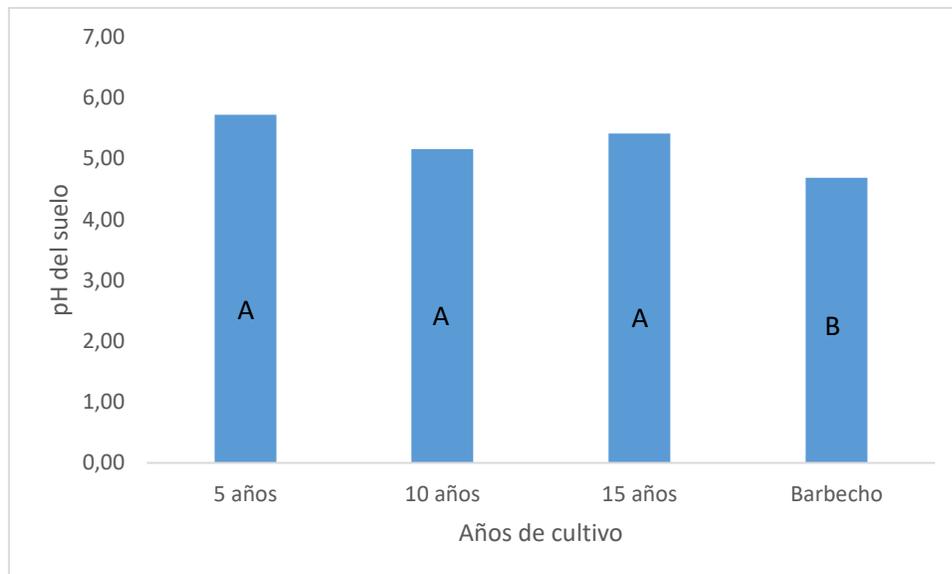


Figura 19. Valores de pH para suelos con cultivo de coca con diferente manejo

Según la figura 19, la parcela donde no se tiene cultivo (barbecho), presenta un pH más bajo con un valor promedio de 4.68 en relación a las parcelas con cultivo de coca y es estadísticamente diferente, la parcela con 5 años de cultivo presenta un valor promedio de 5.72, la parcela con 10 años de cultivo registro un valor promedio de 5.16 y la parcela con 15 años de cultivo tiene un valor promedio de 5.41. Este efecto puede deberse a una mayor acumulación de materia orgánica, la cual presenta condiciones ácidas por la presencia de ácidos húmicos, fúlvicos, etc.

Sin embargo, en un estudio realizado por Castro en el 2005, indica que el pH de los suelos de los Yungas es moderadamente a fuertemente ácidos.

Así mismo, Bach et al., en un estudio que realizaron en el 2003, registraron suelos acidificados muy fuertemente con un pH por debajo de 4.5 para todos los horizontes, en suelos de diferentes zonas de los Yungas.

Por otro lado, Castillo 2015 realizó un estudio de la clasificación de suelos Sud Yungas, registró pH entre 4.35 hasta 5.7 en diferentes zonas y a diferentes profundidades.

5.3.3. Conductividad eléctrica

En cuanto a la conductividad eléctrica, este parámetro es un indicador de la presencia de sales en el suelo, los cuales podrían incidir en el desarrollo de las plantas y de ciertos microorganismos, sin embargo, de acuerdo a los datos obtenidos de las parcelas con diferente manejo, se puede evidenciar que los valores de la conductividad eléctrica se encuentran por debajo 1 dS/m, lo que indica que no se tendría problemas de salinidad, solo el suelo sin cultivo (barbecho) presenta valores más elevados en relación a las parcelas con diferentes años con coca, posiblemente se deba a la acumulación de sales, pero es inferior a los valores limitantes para el desarrollo de las plantas.

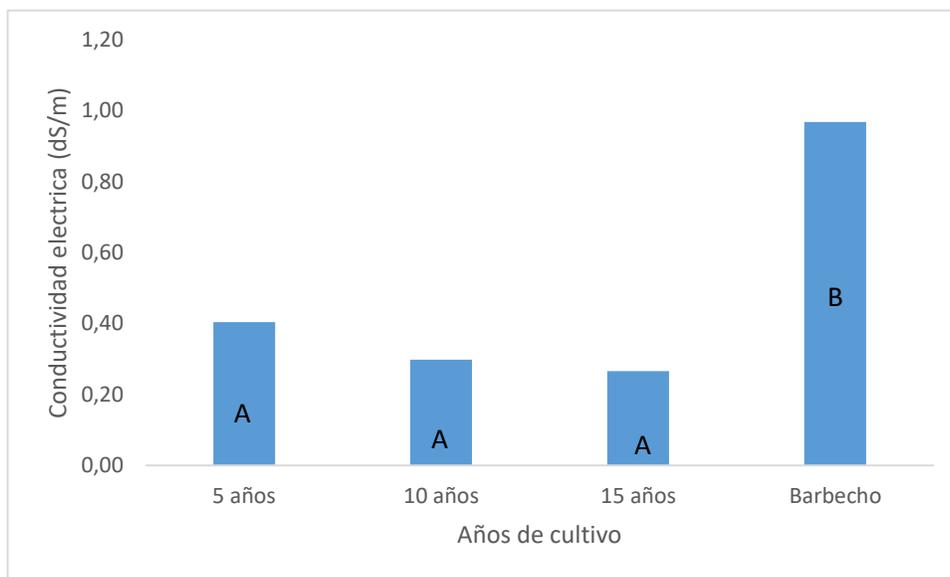


Figura 20. Valores de la conductividad eléctrica para suelos con cultivo de coca con diferente manejo

5.3.4. Nitrógeno total

El ciclo del nitrógeno del suelo se relaciona con la actividad microbiana y fauna del suelo como las lombrices, nematodos, protozoarios, hongos, bacterias y artrópodos.

Los microorganismos del suelo mantienen la estructura mientras las lombrices remueven el suelo. Las bacterias juegan un papel crucial para el ciclo del nitrógeno mediante varios procesos como la mineralización, nitrificación, fijación de nitrógeno y desnitrificación.

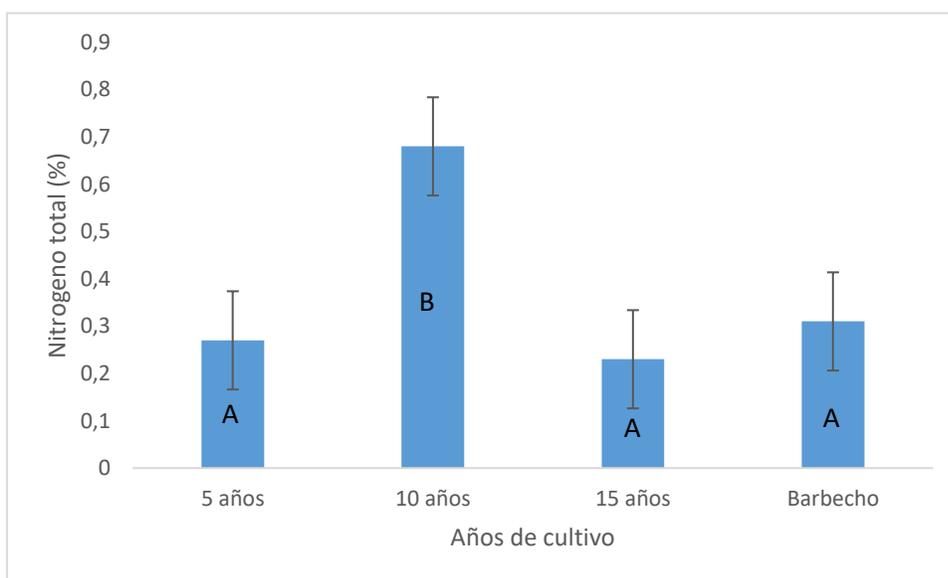


Figura 21. Valores del contenido de nitrógeno total, en suelos con cultivo de coca.

Como se muestra en la Figura 21, el porcentaje de nitrógeno tuvo diferencias entre sistemas de manejo siendo mayor para las parcelas con 10 años de cultivo; sin embargo, en general el contenido de este elemento para los 12 suelos en estudio es mayor al 0.2% de N lo que los ubica en una categoría de muy alto contenido de nitrógeno (tabla 6). Esto posiblemente se dé por las prácticas campesinas de manejo de fertilización con urea y posiblemente enmiendas orgánicas favorecen el contenido de nutrientes del suelo lo que explicaría el porqué del contenido de este elemento para las 12 parcelas que se encuentran en la misma categoría. Al respecto Caballero, (2012) indica que, el contenido de nitrógeno total en los suelos de la localidad de Villa Patarani es de 0.083 % y este cambia en una segunda evaluación después de un año a 0.114 %. Por otra parte,

Lazcano, 2014 en su trabajo de investigación muestra 2.090 % de nitrógeno total en suelos bajo niveles de abonamiento orgánico, en la localidad de Patarani. Así mismo, Castillo (2015), indica que, los suelos de los Yungas presentan contenido desde un 0 % hasta un 10.60 % de nitrógeno total, en distintas zonas, a diferentes profundidades.

Tabla 5. Interpretación del contenido de nitrógeno total en el suelo (Kjeldahl)

Nitrógeno total en el suelo	Interpretación
< 0.1	Bajo
0.1-0.2	Medio
>0.2	Alto

5.3.5. Nitrógeno mineral

La mineralización del nitrógeno en el suelo se define como la impregnación con amoníaco o componente de amoníaco (NH_3). Un proceso donde las formas puras de nitrógeno se transforman en amonio (NH_4^+) con la ayuda de descomponedores o bacterias. Cuando una planta o animal muere, o desechos de animal, el nitrógeno se encuentra en forma inorgánica. Las bacterias, o en algunos casos los hongos, transforman el nitrógeno orgánico en los restos de vuelta a amonio, un proceso denominado la mineralización o amonificación.

La mayor proporción del nitrógeno del suelo se encuentra asociada a la materia orgánica en forma de aminoácidos o proteínas este nitrógeno orgánico, para poder ser aprovechado por las plantas sufre una serie de transformaciones en el suelo que lo llevan a nitrógeno mineral. La base inicial de estas transformaciones es que la materia orgánica es fuente de carbono y energía para organismos heterotróficos del suelo que van descomponiendo esta materia orgánica y transformando su nitrógeno a formas minerales.

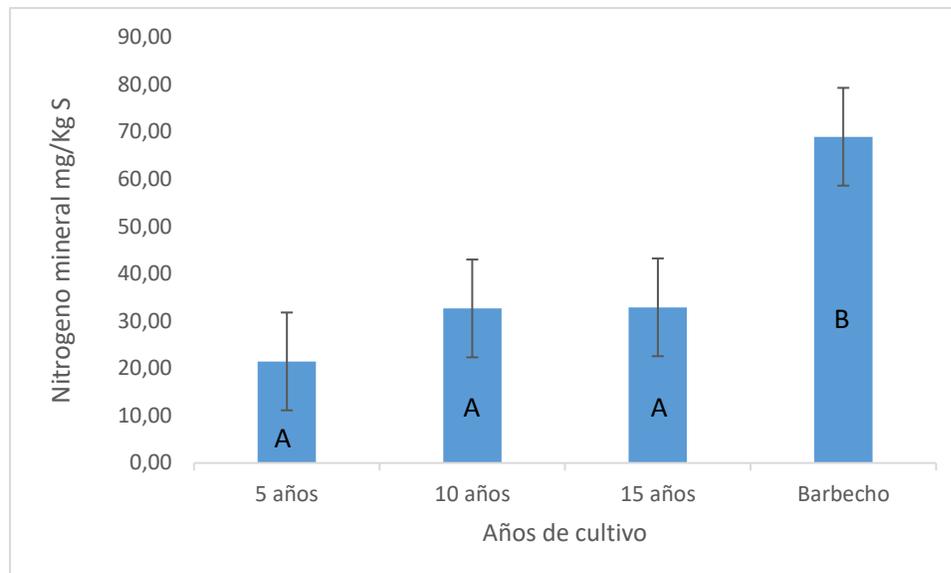


Figura 22. Valores del contenido de nitrógeno mineral, en suelos con cultivo de coca

En la tabla 7 se puede observar los valores de nitrógeno mineral de los suelos estudiados, según la figura 22, la parcela sin cultivo (barbechó) presenta un valor mayor a los 60 mgN Kg⁻¹ °S lo que lo ubica en una categoría de muy alto y la menor concentración es de 21.45 mgNK-1°S, se presenta en la parcela de 5 años con cultivo, sin embargo, las parcelas de 10 y 15 años con cultivo en conjunto con la parcela de 5 años se ubican en la categoría de contenido medio.

Lazcano, (2014), en un trabajo que realizó nos muestra que la liberación de nitrógeno mineral varía bajo niveles de abonamiento orgánico y bioinsumo, en un tiempo cero de incubación obtuvo 1.32 mgNKg⁻¹ de suelo y al final de la incubación presenta 12.63 mgNKg⁻¹ de suelo. Por otro lado, Caballero (2012), señala que el manejo de suelos en las parcelas influye en el contenido de nitrógeno mineral demostrando que la parcela con 6 años de descanso presentó mayor contenido de nitrógeno alcanzando 2.04 mgNKg⁻¹ de suelo, mientras que el menor contenido se registró en la parcela de quinua con 0.325 mgNKg⁻¹ de suelo

Tabla 6. interpretación del contenido de nitrógeno mineral en los suelos.

Nitrógeno mineral (mgNKg-1S)	Interpretación
0-10	Muy bajo
10-20	Bajo
20-40	Medio
40-60	Alto
>60	Muy alto

5.3.6. Fosforo disponible

Según la figura 23, el contenido de fosforo en el suelo es mayor en la parcela en descanso (barbechó), con un valor de 11.40 ppm, ubicándose en la categoría de contenido medio de fosforo, las parcelas con 15 años de cultivo registran 3.03 ppm, siendo el más bajo seguido de las parcelas de 10 y 5 años, que presentan 5.80 y 5.45 ppm respectivamente, ubicándose en la categoría de bajo.

Según Castillo (2015), en su trabajo de caracterización de suelos en la provincia de Sud Yungas señala que el contenido de fosforo en estos suelos es de 1.55 y llega hasta los 28.40 ppm.

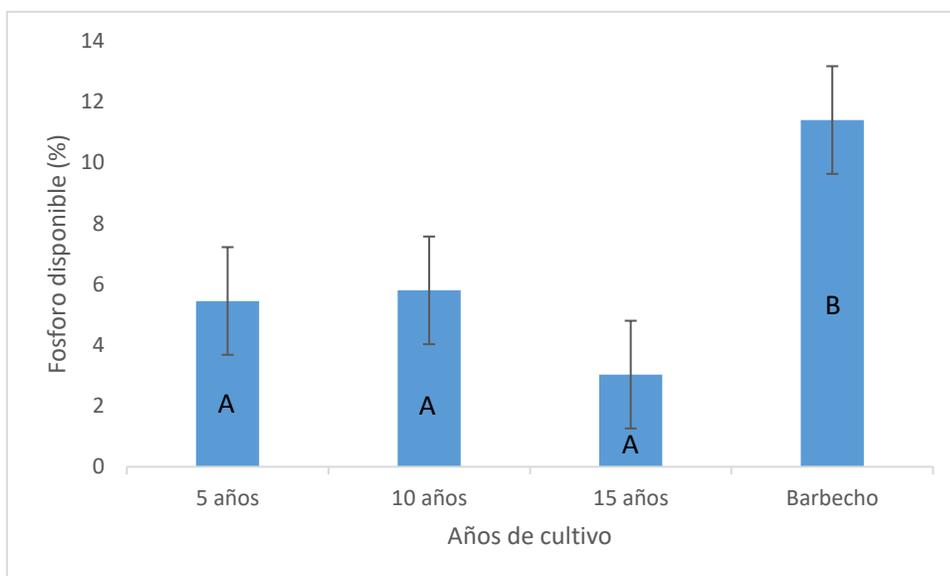


Figura 23. Valores de fosforo disponible en los suelos con cultivo de coca

5.4. Propiedades biológicas de los suelos

La biología del suelo juega un papel fundamental en la composición del suelo y sus características. Sin embargo, al ser una ciencia recién descubierta permanece mucho por investigar y como afecta la naturaleza de los suelos. Los organismos del suelo descomponen la materia orgánica proveniente de restos vegetales y animales liberando a su vez nutrientes para ser asimilados por las plantas. Los nutrientes que se encuentran almacenados dentro de los organismos del suelo impiden su pérdida por lixiviación.

Tabla 8. Propiedades biológicas de suelos con diferentes manejos, en la comunidad de San Agustín-Nor Yungas

Manejo	AM	B-glucosidasa	CM
	($\mu\text{g C-CO}_2$)	$\mu\text{g PNP/g-h}$	mgC/kg
5 años	7	0,22	35
5 años	13	0,30	23
5 años	13	0,14	11
10 años	9	0,22	23
10 años	21	0,20	21
10 años	9	0,23	22
15 años	9	0,18	45
15 años	3	0,20	30
15 años	9	0,19	37.5
Barbecho	9	0,65	96
Barbecho	9	0,67	64
Barbecho	19	0,64	80

5.5. Actividad de la Beta-glucosidasa

Las enzimas son un tipo especial de proteínas que se combinan con un sustrato específico y actúan para catalizar una reacción bioquímica, sin experimentar cambios en su estructura; en términos generales las enzimas en el suelo son esenciales para la transformación de energía y el ciclaje de nutrientes.

Como ya se mencionó las enzimas como la deshidrogenasa, Fosfatasa, Ureasa y por supuesto la β -glucosidasa se han utilizado como indicadores para evaluar el efecto del

manejo agronómico sobre características de calidad o estado de sanidad del suelo (Gajda y Mortyniuk 2005).

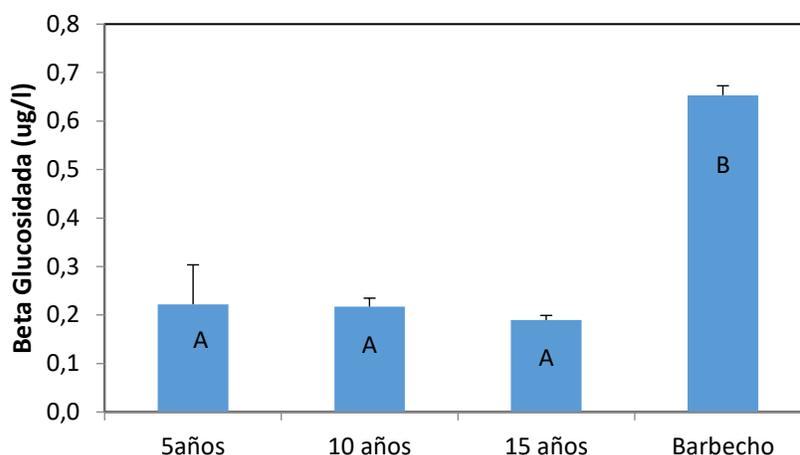


Figura 24. Valores de la enzima β -glucosidasa para suelos con cultivo de coca con diferente manejo

Según la figura 24, el suelo no sometido a ninguna actividad agrícola (barbecho), presenta los valores más altos de presencia de β -glucosidasa, mientras que los suelos con cultivo presentan menores valores de esta enzima. Estos datos señalan que la actividad enzimática es influenciada por el manejo del suelo.

En un estudio realizado en Colombia presentado por Mejía, et al., (2015), señalan que la actividad β -glucosidasa fue estadísticamente mayor en los agroecosistemas ecológicos frente a los convencionales debido a que las actividades enzimáticas son sensibles a la aplicación de herbicidas, y los microorganismos reducen la tasa de producción de enzimas, en presencia de exceso de, fertilizantes inorgánicos González, et al., citado por Mejía, et al., (2015).

Así mismo Alfaro (2013), en su trabajo de investigación realizado en suelos de Alto Beni, muestra resultados 93 a 745 $\mu\text{g PNF/g-1 S h-1}$, sus valores en promedio fueron de mayor a menor en el siguiente orden: barbecho, agroforestales orgánicos, agroforestales convencionales, monocultivo orgánico, monocultivo convencional.

Por otro lado, Henríquez et al; (2014) en su estudio realizado en Costa Rica, sobre la actividad enzimática del suelo bajo diferentes cultivos, obtuvieron valores de β -glucosidasa entre 31.9 hasta 208.1 $\mu\text{g PNF/g-1 S h-1}$.

Medina, (2012) indica que el suelo de Salamanca-España la actividad enzimática de la β -glucosidasa, disminuye a medida que avanza las estaciones del año (primavera > verano > otoño).

Según Millan, (2015), los suelos de España que fueron sometidos a contaminación con hidrocarburos aromáticos policíclicos los valores de la actividad β -glucosidasa varían entre 0.4 a 2.5 $\mu\text{g PNF/g-1 S h-1}$.

Por otra parte, García, (2017), obtuvo valores de 0.2 a 1 $\mu\text{g PNF/g-1 S h-1}$, indicando que la actividad enzimática de la β -glucosidasa es influenciada por la temperatura, a mayor temperatura mayor será la actividad enzimática.

5.6. Biomasa microbiana

La figura 25, refleja que en la presente investigación los niveles de biomasa microbiana se encuentran en un rango de 25 a 90 mgC/Kg-1 S . Estos resultados sugieren que los cambios en la biomasa microbiana están mayormente influenciados por la cantidad de materia orgánica entrante en el suelo.

Sin embargo, Alfaro, (2013) quien realizó una investigación del efecto de cinco tratamientos sobre la actividad enzimática y la biomasa microbiana del suelo en Alto Beni, obtuvo valores de 103 a 997 mgC/Kg-1 S , estos valores disminuyeron según el tipo de manejo de las parcelas, siendo los valores más altos la parcela en descanso (barbecho), tal como sucede en la presente investigación.

A su vez, Lazcano (2014), obtuvo valores similares a los obtenidos en la presente investigación, que oscilan entre 59.39 a 58.99 mg C/Kg-1 S . Así mismo Caballero (2012) quien realizó un trabajo sobre el comportamiento de la biomasa microbiana en el suelo con diferentes manejos obtuvo valores variados del contenido de C-microbiano que van desde 1.29 a 19.14 mg C/Kg-1S .

Según Medina (2012), en su trabajo realizado en España, la biomasa presentó una tendencia relacionada con la estacionalidad, siendo mayor en primavera.

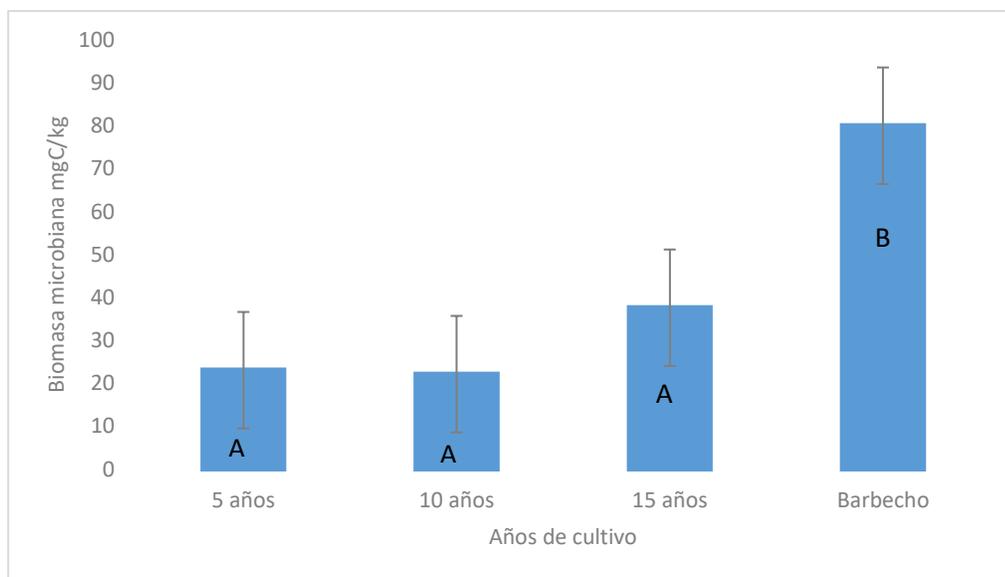


Figura 25. Valores de la biomasa microbiana para suelos con cultivo de coca con diferente manejo

5.7. Actividad Microbiana

En la tabla 10 podemos observar que las parcelas en descanso (barbecho) y de 10 años con cultivo, el promedio de CO₂ por respiración microbiana fueron similares a comparación de las de 5 años y 15 años con un promedio menor a las anteriores. Sin embargo, el análisis estadístico presentado en anexos 10, muestra diferencias no significativas de la actividad microbiana en las diferentes parcelas de evaluación. Según García, et al., (2010) citado por Alfaro (2013), señala que la aplicación de pesticidas ya sean insecticidas, fungicidas o herbicidas, es una práctica común en la agricultura convencional (en el caso de la quinua es común que la población utilice estos productos), y presenta variados efectos en la biomasa microbiana.

Sin embargo, estos efectos no parecen ser de largo plazo Kumar, et al., (2012) citado por Alfaro (2013), es posible que esta sea la razón de no encontrar diferencias en la actividad microbiana en el presente estudio.

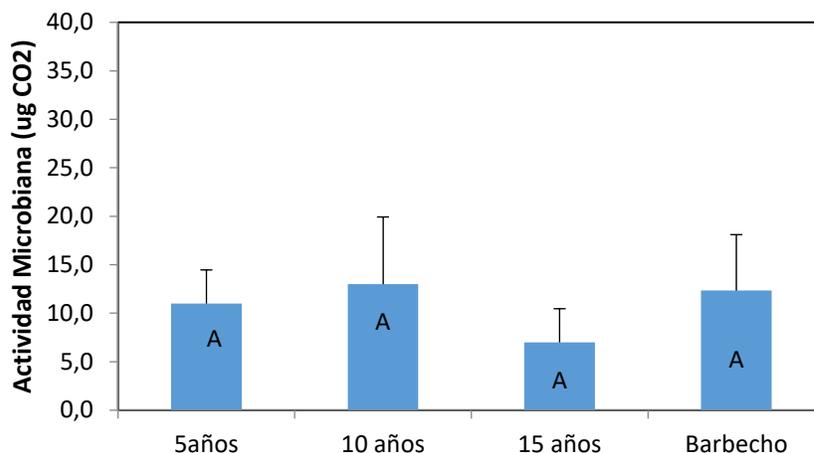


Figura 26. Valores de la actividad microbiana para suelos con cultivo de coca con diferente manejo

Estos valores se asemejan a los de Caballero (2012), en su trabajo de investigación muestra una tendencia donde la parcela con seis años en descanso presenta mayores valores en todos los meses de evaluación, con un rango de 7.48 a 11.10 mg C-CO₂* kg S * d⁻¹ y con una diferencia altamente significativa entre los meses de evaluación, por otra parte, al notar que las parcelas de 3 y 7 años en descanso también presentan mayor actividad microbiana en relación a las parcelas con residuos de cosecha cuyos valores están en un rango de 2.18 a 6.57 mg C-CO₂* kg S * d⁻¹, se puede señalar que existe una tendencia de producirse más respiración microbiana en suelos en descanso que en suelos constante cultivo.

Por otra parte, Lazcano (2014), observó que, al inicio de su investigación, en los primeros 5 días de la incubación, existen valores mayores de desprendimiento de CO₂ esto indica que los microorganismos ante la presencia del alimento suministrado realizan una degradación inmediata de la fracción lábil presentes en el estiércol añadido, ocasionando la producción de energía para el crecimiento de los microorganismos. Así mismo indica que una dosis de estiércol de 20 ton más bioinsumo provoca un incremento de la respiración.

6. Conclusiones

Los suelos presentan textura que varía de franco a franco arcilloso, por lo que puede señalarse que todos los tratamientos presentaron similares condiciones de textura. La densidad aparente, real, porosidad no fueron estadísticamente diferentes, por lo que el manejo (barbecho, 5, 10 y 15 años con cultivo de coca), no incidió en el comportamiento de estas variables físicas.

Las variables químicas resultaron ser más sensibles al manejo del suelo, en este sentido se determinó que el barbecho presentó mayores valores de materia orgánica, nitrógeno mineral y fósforo soluble en relación a los suelos sometidos a diferentes años con el cultivo de la coca, lo que denota que el cultivo de coca influye en una disminución de estas variables químicas.

La enzima Beta glucosidasa, al igual que las propiedades químicas, presentó mayores valores en el barbecho que en suelos con cultivo, por lo que se concluye que, a mayores años con cultivo, disminuye la proporción de microorganismos, esta conclusión se fundamenta por una disminución de la biomasa microbiana con la presencia de cultivos.

De acuerdo con los resultados del presente trabajo de investigación, las variables sensibles al manejo del suelo son los parámetros químicos y biológicos como la materia orgánica, nitrógeno mineral, fósforo disponible, la presencia de la enzima betaglucosidasa y la biomasa microbiana.

7. Recomendaciones

Se recomienda aumentar y precisar los puntos de muestreo para tener información con mayor detalle.

Para los análisis de los parámetros biológicos y bioquímicos, se recomienda llevar un cooler para que las muestras sean lo más frescas posibles, con un día máximo después de la recolección para su análisis.

Se recomienda estrictamente, no contaminar las muestras ya que esto afectaría considerablemente los resultados que se obtendrán, en especial para los parámetros biológicos y bioquímicos.

Se recomienda, realizar tres repeticiones y patrones para el análisis de los parámetros biológicos y bioquímicos.

Se recomienda hacer este estudio, con la evaluación de diferentes épocas del año (época seca y húmeda) ya que se sabe que la actividad enzimática, cambia con el porcentaje de humedad y la temperatura del suelo.

Se recomienda realizar este estudio en diferentes tipos de cultivo y manejos de las parcelas para mostrar la importancia de las variables biológicas, ya que ningún laboratorio de suelos realiza este análisis y su importancia no se visibiliza.

8. BIBLIOGRAFIA

AGQlabs. (2018) Análisis enzimático en suelos como indicadores de calidad ante remediación o construcción de suelos artificiales. Diagnósticos-y-soluciones-de-remediación-de-suelos-y-áreas-degradadas. Perú. Pdf. 1-6 p.

Alef, K., & Nannipieri, P. (1995). *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*.

Aldabe, J., Hueto, A., Juni, J., Lopez, P. (2014). *Biología*, Ed. Erein, 125 p.

Alfaro, A. (2013). Efecto de cinco distintos tratamientos para el cultivo de *Theobroma cacao* sobre la biomasa microbiana y la actividad enzimática del suelo, un ensayo realizado en Alto Beni una zona tropical de Bolivia. Universidad Mayor de San Andres.

Allison, et. al. (1982)). *Diagnóstico de suelos*, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 1-45p.

Alvarez, R., & Santananarolia, O. J. (1987). Determinacion de la biomasa microbiana del suelo por el metodo de fumigacion con cloroformo usando tres procedimientos diferentes. *Centro de Radiobiologia*, 8(1417), 175–180 p.

Batjes, N. H. (2016). Harmonized soil property values for broad-scale modelling (WISE30sec) with estimates of global soil carbon stocks. *Geoderma*, 269: 61-68 p.

Beare, M. (1997). Fungal and bacterial pathways of organic matter decomposition and nitrogen mineralization in arable soil.

Bedoya, G., Eduardo, A. C. & Burneo, Z. (2017). Una agricultura insostenible y la crisis del barbecho: el caso de los agricultores del valle de los ríos Apurímac y Ene, *VRAE. ANTHROPOLOGICA*, 35(38), 211-240.
<https://doi.org/10.18800/anthropologica.201701.008>

Blagodatskaya, E., Blagodatsky, S., Khomyakov, N., Myachina, O., Kuzyakov, Y. (2016). Temperature sensitivity and enzymatic mechanisms of soil organic matter decomposition along an altitudinal gradient on Mount Kilimanjaro. *Scientific Reports*, 6. Disponible en Internet:
<http://dx.doi.org/10.1038/srep22240>.

Burns, R. (1982). Enzyme activity in soil: location and possible role in microbial ecology. *soil biology and biochemistry*, 423-427 p.

Bravo, R., Arboleda, P. & Martín, P. (2014). Efecto de la calidad de la materia orgánica asociada con el uso y manejo de suelos en la retención de cadmio en sistemas

altoandinos de Colombia. *Acta Agronómica*, vol. 63 (02): 1-14. Recuperado de <http://www.redalyc.org:9081/articulo.oa?id=169930904007>

Caballero, A. R. (2012). Comportamiento del nitrógeno y biomasa microbiana en suelos con diferente manejo, en la localidad de Villa Patarni. Universidad Mayor de San Andrés.

Cairo, P. (1995). *La Fertilidad Física de suelo y la Agricultura Orgánica en el Trópico*. Universidad Nacional Agraria - Managua, Nicaragua. 228p.

Castillo, C. (2005). Selección y calibración de indicadores locales y técnico para evaluar la degradación de los suelos laderas, en la microcuenca Cuscamá El Tuma - La Dalia Matagalpa. Universidad Nacional Agraria. Managua Nicaragua. pg 28.

Castillo, E. (2015). Clasificación de los suelos de la comunidad de río blanco sud yungas de la paz, bajo el sistema de fao/unesco. facultad de agronomía UMSA. 32-67 p.

Castro, J. (2005). Propiedades químicas y potencial productivo de los suelos del departamento de La Paz, Bolivia. Carrera de ciencia químicas UMSA.

Celis, R., Florida, N. & Rengifo, A. (2020), Impacto sobre indicadores físicos y químicos del suelo con manejo convencional de coca y cacao. Tingo Maria, Peru. *Revista científica UNEMI*, 13(33). 01-09.

Chilón, E. (1997). *Manual de Edafología, practica de campo y laboratorio*. La Paz – Bolivia. Editado en la facultad de Agronomía UMSA. pp 139 – 173

Chocano, C., Hernandez, M., Melgares de Aguilar, J., Gonzales, D., & Garcia, C. (2002). La actividad microbiana como indicador de calidad del suelo en cultivos de ciruelo ecologico. *CEBAS-CSIC*, 1(1), 8.

Crespo, M. (2007). Impacto socio ambientales del cultivo de la hoja de coca. Pagina siete, págs. 3 - 7.

Cortes, P., Bravo, R., Martin, P. & Menjivar, F. (2016). Extracción secuencial de metales pesados en dos suelos contaminados (Andisol y Vertisol) enmendados con ácidos húmicos. *Acta Agron*, 65(03): 232-238. <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v65n3.44485>

Diana, S., & Morello, J. (1993). Aspectos ecologicos del cultivo de Coca. GEPAMA-UBA, 1–22.

Díaz (1999), indica un sistema la nomenclatura, 22-36, 150p.

Dillon, J.G; Huges, M.K. (2015). Degradation of five Polyurethane Gastric Bubbles Following in vivo use: SEC ATR-IR, and DSC studies. *Biomaterials*, 13 (4), 240-8.

Eldor, P. (2007). *Soil Microbiology and biochemistry* (Third edit).

Fassbender, H; Bornemisza, E. (1994). Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O. E. A. Centro de enseñanza e Investigación. San Jose, Costa Rica. 398 p.

FAO. (2019). portal de suelos de la FAO. recuperado el 15 de diciembre del 2019 de: <http://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>

Flores, L; Alcala, J. (2010). Manual de procedimientos físicos. de: https://www.academia.edu/35241117/MANUAL_DE_PROCEDIMIENTOS_ANAL%C3%8DTICOS_LABORATORIO_DE_SUELOS_UNIVERSIDAD_DEL_MAGDALENA.com

Flores, W. (2017). Determinación de aptitud de suelo para el cultivo de café (coffea arábica) en los sectores Pongo Pampa y Agrotakesi del Municipio Yanacachi provincia Sud Yungas departamento de La Paz. revista de investigacion e innovacion agropecuaria y de recursos naturales, 4 (1).

Fuentes, R. (2007). Agrosistemas sostenibles y ecológicos: la reconversión agropecuaria. Universidad Santiago de Compostela. 250 p.

Gajda, A., Martyniuk S. (2005). Microbial Biomass C and N and Activity of Enzymes in Soil under Winter Wheat Grown in Different Crop Management Systems. Polish Journal of Environmental Studies. 159-163 p.

Garcia, C; Gil, F; Hernandez, T. y Trasar, C. (2003). Técnicas de análisis de parámetros Bioquímicos en suelo. Medida de actividades enzimáticas y biomasa microbiana. Barcelona, España. Ed. Mundi- Prensa. 371 p.

Garcia, I. E. (2011). Microorganismos del Suelo y Sustentabilidad de Agroecosistemas. Revista Argentina de Microbiología, 43(1). 1–3 p.

Garcia, E. (2013). Estrategias para la recuperación de suelos degradados en ambientes semiáridos: adición de dosis elevadas de residuos orgánicos de origen urbano y su implementación en la fijación de carbono. tesis de grado. Universidad de Murcia.

García, I. (2017). Actividades enzimáticas determinadas en suelos bajo manejo agrícola sostenible. tesis de grado. departamento de agroquímica y medio ambiente UMH. 23-29 p.

Henriquez, C., Uribe, L., Valenciano, A., Nogales, R. (2014). Actividad enzimática del suelo Deshidrogenasa, glucosidasa, Fosfatasa y Ureasa bajo diferentes cultivos. agronomía costarricense, 38(1). 44-53 p.

Ingaramo, O., Paz, J., Miras, J., Vidal, E. (2007). Caracterización de las propiedades generales del suelo en una parcela experimental con distintos sistemas de laboreo. Cadernos Lab, 32(1). 127-137 p.

Lazcano, M. (2014). Mineralización de nitrógeno del suelo bajo niveles de abonamiento orgánico y un bioinsumo en condiciones de laboratorio. tesis de grado. facultad de agronomía UMSA. 39-66 p.

Lehninger, A., Nelson, D., COX, M., (2016) Principios de Bioquímica 4º Edición, Ed. Omega, Barcelona.190 p.

Matteucci, S. y Morello, J. (2002), Aspectos ecológicos del cultivo de la coca, Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires (UBA), Carrera Interdisciplinaria de Especialización de Postgrado en la Problemática del Uso Indebido de Drogas.

Medina, M. (2012). Caracterización bioquímica y microbiológica de un suelo de pradera de *Dactylis glomerata* y *Medicago sativa* bajo diferentes proporciones de siembra. tesis de doctorado. departamento de microbiología y genética Universidad de Salamanca. 45 p.

Mejia, K., Caballero, J. (2015). Actividades enzimáticas en suelos de agroecosistemas cafeteros (ecológicos y convencionales) en anolaima, cundinamarca. trabajo de grado. facultad de ingeniería. 26-74 p.

Miranda, R. (2004). Introducción a la Geología Agrícola. Facultad de Agronomía. UMSA. La Paz. Bolivia. 15 p.

Miranda, R., & Caballero, A. R. (2015). Metodos y Analisis del Suelo.

Montenegro, S. (2008). Influencia de la aplicación de vinaza sobre la presencia, actividad y biomasa microbiana del suelo en cultivo de maíz dulce (*Zea Mays*). Tesis Msc. Universidad Nacional de Colombia. 124 p.

Muller, Beck, & Lara. (2002). Mueller, R., S. G. Beck & R. Lara. 2002. Vegetación potencial de los bosques de Yungas en Bolivia, basado en datos climáticos. Ecología en Bolivia. 5 - 14 p.

Ordoñez, E. M. (2015). Evolución de la Actividad Enzimática de un Suelo Contaminado con Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla.

Orsag, V. (2010). El recurso suelo Principios para su manejo y conservación. La Paz: Zeus.

Ortega, D. (2015). Estudio del uso de fertilizantes en el cultivo de la coca (*Erythroxylum coca*) y su incidencia en la producción y la economía familiar en el municipio de Coripata de la provincia Nor Yungas – La Paz. tesis de grado. facultad de agronomía UMSA. 4 p.

Porta, J.; Lopez, M.; Roquero, C., (1994). Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente. Madrid – España, Ed. Mundi Prensa. 789 p.

Ramos, E; Zuñiga, D. (2007). Efecto de la humedad, temperatura y ph del suelo en la actividad microbiana a nivel de laboratorio. Lima-Perú. Departamento Académico de Biología, Universidad Nacional Agraria La Molina.

Rodriguez, S. F. (1982). Fertilizantes – Nutrición Vegetal. A.G.T. Editor, S.A. México. p. 33 - 53.

Rodriguez, R. M. (1991). Fisiología Vegetal. Editorial “Los amigos del Libro”. La Paz – Bolivia. p. 187

Rodríguez. (1991). Importancia del Nitrógeno. España, 22-33p.

Rodríguez, E. (2009). Influencia de la temperatura y de la humedad en la dinámica de la materia orgánica en los suelos de Galicia y su relación con el cambio climático. Tesis Doctoral. Facultad de Farmacia. Universidad de Santiago de Compostela. 675 pg. Disponible en: www.books.google.com

Rojas, N. (2016). Caracterización física y química de los suelos productivos de tres comunidades del municipio de Ancoraimos segunda sección de la provincia Omasuyos. tesis de grado. facultad de agronomía. UMSA. 78-85 p.

Salisbury, F. & Ross, C. (2000). Fisiología de las Plantas. Edit. Thomson Learning. Madrid, España. 988 p.

Sanchez, C., Musante, C., Benintende, M., & Benidente, S. (2011). Actividades enzimáticas B-Glucosidasa e hidrolisis de diacetato de fluorescencia en suelos de entre rios. Efecto del secado de muestra sobre su determinación. Revista Científica de Veterinaria, 15(12), 7–16 p.

Sanchez, M., Rojas, A., Perez, J., & Zuñiga, O. (2000). Actividad y biomasa microbiana como indicadores en sistemas de cultivos de Maracuya (*Passiflora edulis*) en Toro, Valle del Cauca, Colombia. Revista Scielo, 1, 20–28 p.

Santelises, R. (1987). Análisis físico y químico de suelos. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O. E. A. Centro de enseñanza e Investigación. San Jose, Costa Rica. 214 p.

Schlesinger, W; Andrews, J. (2000) Soil respiration and the global carbon cycle. Biogeochemistry. 7-20 p.

Sinsabaugh, R.L., Lauber, C.L., Weintraub, M.N., Ahmed, B., Allison, S.D., Crenshaw, C., Gartner, T.B. (2008). Stoichiometry of soil enzyme activity at global scale. 1252-1264 p.

Seuvain, M., Moretti, C., Rerat, E., Bravo, J., Muñoz, V., Saravia, E., Buckner, A. (1997). Uso de la hoja de coca y salud pública: Estudio químico y botánico de las diferentes formas de *Erythroxylum coca* var. coca cultivadas en Bolivia. La Paz: Enrique Vargas.

Soto, H. (2013). Caracterización de la fertilidad de suelos en el municipio de La Asunta y Palos Blancos.
disponible en: <https://www.bivica.org/files/fertilidad-suelos.pdf>

Stryer, L. (1995). Biochemistry. 4 edición. New York.

Uribe, L. (1999). Uso de indicadores microbiológicos de suelos: ventajas y limitantes. Organismos. 39–47 p.

Velasco, (1991). “propiedades de los suelos”. Editorial Trillos, Mexico, 20-34

Viguera, B. (2010). La coca y su cultivo: salud, vida y su confrontación.

Yanarico, R. (2016). Caracterización física y química en suelos productivos de acuerdo al uso y aptitud agrícola en tres comunidades del municipio de Umala – La Paz. tesis de grado. facultad de agronomía UMSA. 3 p.

Yujra, E. (2018). Evaluación de los métodos de Bray- Kurtz y Olsen para la determinación de fósforo disponible en suelos agrícolas del departamento de La Paz. Tesis de grado. Facultad de agronomía UMSA. 4-31 p.

ANEXOS

Anexo 1. Análisis de varianza de los diferentes parámetros de evaluación

Densidad real

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
D. real	12	0,27	0,00	8,43

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,12	3	0,04	0,99	0,4470
Tratamiento	0,12	3	0,04	0,99	0,4470
Error	0,32	8	0,04		
Total	0,44	11			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,52481

Error: 0,0403 gl: 8

Tratamiento	Medias	n	E.E.
Barbecho	2,28	3	0,12 A
S_10 años	2,33	3	0,12 A
S_15 años	2,36	3	0,12 A
S_5 años	2,54	3	0,12 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Densidad aparente

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Dap	12	0,22	0,00	11,74

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,04	3	0,01	0,77	0,5419
Tratamiento	0,04	3	0,01	0,77	0,5419
Error	0,13	8	0,02		
Total	0,16	11			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,33022

Error: 0,0159 gl: 8

Tratamiento	Medias	n	E.E.
Barbecho	1,02	3	0,07 A
S_10 años	1,02	3	0,07 A
S_5 años	1,11	3	0,07 A
S_15 años	1,15	3	0,07 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Porosidad

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Porosidad	12	0,34	0,09	6,18

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	46,28	3	15,43	1,35	0,3267
Tratamiento	46,28	3	15,43	1,35	0,3267
Error	91,74	8	11,47		
Total	138,01	11			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=8,85426

Error: 11,4672 gl: 8

Tratamiento	Medias	n	E.E.
S_15 años	51,48	3	1,96 A
Barbecho	55,33	3	1,96 A
S_5 años	56,06	3	1,96 A
S_10 años	56,39	3	1,96 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Humedad

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Humedad	12	0,46	0,26	46,69

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2231,67	3	743,89	2,26	0,1582
Tratamiento	2231,67	3	743,89	2,26	0,1582
Error	2629,63	8	328,70		
Total	4861,29	11			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=47,40515

Error: 328,7034 gl: 8

Tratamiento	Medias	n	E.E.
S_5 años	28,05	3	10,47 A
S_15 años	31,51	3	10,47 A
S_10 años	33,56	3	10,47 A
Barbecho	62,20	3	10,47 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

pH

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH	12	0,40	0,17	10,83

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1,72	3	0,57	1,78	0,2293
Tratamiento	1,72	3	0,57	1,78	0,2293
Error	2,58	8	0,32		
Total	4,30	11			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,48485

Error: 0,3225 gl: 8

Tratamiento	Medias	n	E.E.
Barbecho	4,69	3	0,33 A
S_10 años	5,16	3	0,33 A
S_15 años	5,41	3	0,33 A
S_5 años	5,72	3	0,33 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Conductividad eléctrica

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
C.E.	12	0,78	0,70	37,77

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,98	3	0,33	9,72	0,0048
Tratamiento	0,98	3	0,33	9,72	0,0048
Error	0,27	8	0,03		
Total	1,24	11			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,47821

Error: 0,0334 gl: 8

Tratamiento	Medias	n	E.E.
S_15 años	0,27	3	0,11 A
S_10 años	0,30	3	0,11 A
S_5 años	0,40	3	0,11 A
Barbecho	0,97	3	0,11 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Actividad enzimática

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
AE	12	0,80	0,73	38,28

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1,06	3	0,35	10,82	0,0034
Tratamiento	1,06	3	0,35	10,82	0,0034
Error	0,26	8	0,03		
Total	1,32	11			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,47294

Error: 0,0327 gl: 8

Tratamiento	Medias	n	E.E.
S_15 años	0,24	3	0,10 A
S_10 años	0,27	3	0,10 A
S_5 años	0,40	3	0,10 A
Barbecho	0,98	3	0,10 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Biomasa microbiana

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
CM	12	0,88	0,83	26,32

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	6653,06	3	2217,69	19,40	0,0005
Tratamiento	6653,06	3	2217,69	19,40	0,0005
Error	914,50	8	114,31		
Total	7567,56	11			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=27,95570

Error: 114,3125 gl: 8

Tratamiento	Medias	n	E.E.
S_10 años	22,00	3	6,17 A
S_5 años	23,00	3	6,17 A
S_15 años	37,50	3	6,17 A
Barbecho	80,00	3	6,17 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexos 2. Análisis físicos químicos y biológicos de los suelos



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMIA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA EN SUELOS Y AGUAS
(LAFASA)

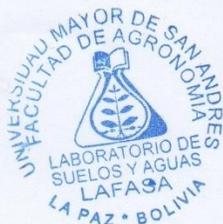


ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO Y BIOLÓGICOS DE SUELOS

INTERESADO: Joseline Antonieta Ramallo Unzueta
PROCEDENCIA: Departamento La Paz
Municipio Coripata
Provincia Nor Yungas
Comunidad San Agustín

SOLICITUD: T1R1
FECHA DE ENTREGA: 11/10/2019

	Parámetro	Unidad	Resultado	Método
TEXTURA	Arena	%	35.2	Bouyoucos
	Limo	%	33.6	
	Arcilla	%	31.2	
	Clase textural	-	Franco arcilloso	
	Densidad aparente	g/cm ³	1,14	Probeta
	Densidad real	g/cm ³	2,501	Picnómetro
	Porosidad	%	54,30	Calculo
	Humedad	%	27,63	volumetría
	pH en H ₂ O relación 1:5	-	5,98	Potenciometría
	Conductividad eléctrica	dS/m	0,54	potenciometría
	Materia orgánica	%	6,72	Walkley y black
	Carbono orgánico	%	3,9	Calculo
	Nitrógeno total	%	0,27	Kjendhal
	Nitrógeno mineral	%	31,50	Kjendhal
	Fosforo disponible	Ppm	5,45	Espectrofotometría UV-visible
	Actividad microbiana	µg C-CO ₂	7	Respiración
	Beta glucosidasa	µg PNP/g-h	0,22	colorimetría
	Carbono microbiano	mgC/kgS°	35	Fumigación y extracción



Ph.D. Roberto Miranda Casas
Ph.D. Roberto Miranda Casas
LABORATORIO DE SUELOS

Av. Landaeta esq. Héroes del Acre N.º 1850 Facultad de Agronomía
Telf. IAREN 2484647-74016356-73075326



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMIA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA EN SUELOS Y AGUAS
(LAFASA)

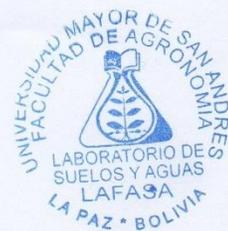


ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO Y BIOLÓGICOS DE SUELOS

INTERESADO: Joseline Antonieta Ramallo Unzueta
PROCEDENCIA: Departamento La Paz
Municipio Coripata
Provincia Nor Yungas
Comunidad San Agustín

SOLICITUD: T1R3
FECHA DE ENTREGA: 11/10/2019

	Parámetro	Unidad	Resultado	Método
TEXTURA	Arena	%	23,2	Bouyoucos
	Limo	%	37,6	
	Arcilla	%	39,2	
	Clase textural	-	Franco Arcilloso	
	Densidad aparente	g/cm ³	1,09	Probeta
	Densidad real	g/cm ³	2,692	Picnómetro
	Porosidad	%	59,40	Calculo
	Humedad	%	26,66	Volumetria
	pH en H ₂ O relación 1:5	-	5,42	Potenciometria
	Conductividad eléctrica	dS/m	0,30	Potenciometria
	Materia orgánica	%	4,03	Walkley y black
	Carbono orgánico	%	2,3	Calculo
	Nitrógeno total	%	0,27	Kjendhal
	Nitrógeno mineral	%	16,10	Kjendhal
	Fosforo disponible	ppm	5,45	Espectrofotometria UV-visible
	Actividad microbiana	µg C-CO ₂	13	Respiración
	Beta glucosidasa	µg PNP/g-h	0,14	Colorimetria
	Carbono microbiano	mgC/kgS ²	11	Fumigación y extracción




Ph.D. Roberto Miranda Casas
LABORATORIO DE SUELOS

Av. Landaeta esq. Héroes del Acre N.º 1850 Facultad de Agronomía
Telf. IIAREN 2484647-74016356-73075326



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMIA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA EN SUELOS Y AGUAS
(LAFASA)

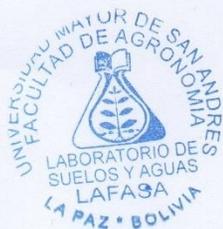


ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO Y BIOLÓGICOS DE SUELOS

INTERESADO: Joseline Antonieta Ramallo Unzueta
PROCEDENCIA: Departamento La Paz
Municipio Coripata
Provincia Nor Yungas
Comunidad San Agustín

SOLICITUD: T2R1
FECHA DE ENTREGA: 11/10/2019

Parámetro	Unidad	Resultado	Método
TEXTURA	Arena	%	35,2
	Limo	%	20,8
	Arcilla	%	44,0
	Clase textural	-	Franco
Densidad aparente	g/cm ³	0,76	Probeta
Densidad real	g/cm ³	1,962	Picnómetro
Porosidad	%	61,02	Calculo
Humedad	%	54,44	Volumetria
pH en H ₂ O relación 1:5	-	5,31	Potenciometria
Conductividad eléctrica	dS/m	0,30	Potenciometria
Materia orgánica	%	5,86	Walkley y black
Carbono orgánico	%	3,4	Calculo
Nitrógeno total	%	0,68	Kjendhal
Nitrógeno mineral	%	37,10	Kjendhal
Fosforo disponible	%	5,80	Espectrofotometría UV-visible
Actividad microbiana	µg C-CO ₂	9	Respiración
Beta glucosidasa	µg PNP/g-h	0,22	Colorimetria
Carbono microbiano	mgC/kgS ²	23	Fumigación y extracción



Ph.D. Roberto Miranda Casas
LABORATORIO DE SUELOS

Av. Landaeta esq. Héroes del Acre N.º 1850 Facultad de Agronomía
Telf. IIAREN 2484647-74016356-73075326



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMIA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA EN SUELOS Y AGUAS
(LAFASA)



ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO Y BIOLÓGICOS DE SUELOS

INTERESADO: Joseline Antonieta Ramallo Unzueta
PROCEDENCIA: Departamento La Paz
Municipio Coripata
Provincia Nor Yungas
Comunidad San Agustín

SOLICITUD: T2R2
FECHA DE ENTREGA: 11/10/2019

	Parámetro	Unidad	Resultado	Método
TEXTURA	Arena	%	43,2	Bouyoucos
	Limo	%	29,6	
	Arcilla	%	27,2	
	Clase textural	-	Franco Arcilloso	
	Densidad aparente	g/cm ³	1,17	Probeta
	Densidad real	g/cm ³	2,661	Picnómetro
	Porosidad	%	56,18	Calculo
	Humedad	%	23,00	
	pH en H ₂ O relación 1:5	-	4,95	Potenciometría
	Conductividad eléctrica	dS/m	0,45	
	Materia orgánica	%	6,99	Walkley y black
	Carbono orgánico	%	4,1	Calculo
	Nitrógeno total	%	0,68	Kjendhal
	Nitrógeno mineral	%	32,90	Kjendhal
	Fosforo disponible	ppm	5,80	Espectrofotometría UV-visible
	Actividad microbiana	µg C-CO ₂	21	Respiración
	Beta glucosidasa	µg PNP/g-h	0,20	
	Carbono microbiano	mgC/kgS ^h	21	Fumigación y extracción




Ph.D. Roberto Miranda Casas
LABORATORIO DE SUELOS

Av. Landaeta esq. Héroes del Acre N.º 1850 Facultad de Agronomía
Telf. IIAREN 2484647-74016356-73075326



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMIA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA EN SUELOS Y AGUAS
(LAFASA)



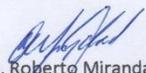
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO Y BIOLÓGICOS DE SUELOS

INTERESADO: Joseline Antonieta Ramallo Unzueta
PROCEDENCIA: Departamento La Paz
Municipio Coripata
Provincia Nor Yungas
Comunidad San Agustín

SOLICITUD: T2R3
FECHA DE ENTREGA: 11/10/2019

	Parámetro	Unidad	Resultado	Método
TEXTURA	Arena	%	41,2	Bouyoucos
	Limo	%	27,6	
	Arcilla	%	31,2	
	Clase textural	-	Franco Arcilloso	
	Densidad aparente	g/cm ³	1,14	Probeta
	Densidad real	g/cm ³	2,380	Picnómetro
	Porosidad	%	51,98	Calculo
	Humedad	%	23,23	
	pH en H ₂ O relación 1:5	-	5,22	Potenciometría
	Conductividad eléctrica	dS/m	0,14	
	Materia orgánica	%	4,70	Walkley y black
	Carbono orgánico	%	2,7	Calculo
	Nitrógeno total	%	0,68	Kjendhal
	Nitrógeno mineral	%	28	Kjendhal
	Fosforo disponible	%	5,80	Espectrofotometría UV-visible
	Actividad microbiana	µg C-CO ₂	9	Respiración
	Beta glucosidasa	µg PNP/g-h	0,23	
	Carbono microbiano	mgC/kgS ^o	22	Fumigación y extracción




Ph.D. Roberto Miranda Casas
LABORATORIO DE SUELOS

Av. Landaeta esq. Héroes del Acre N.º 1850 Facultad de Agronomía
Telf. IIAREN 2484647-74016356-73075326



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMIA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA EN SUELOS Y AGUAS
(LAFASA)

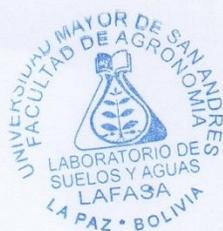


ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO Y BIOLÓGICOS DE SUELOS

INTERESADO: Joseline Antonieta Ramallo Unzueta
PROCEDENCIA: Departamento La Paz
Municipio Coripata
Provincia Nor Yungas
Comunidad San Agustín

SOLICITUD: T3R1
FECHA DE ENTREGA: 11/10/2019

	Parámetro	Unidad	Resultado	Método
TEXTURA	Arena	%	37,2	Bouyoucos
	Limo	%	31,6	
	Arcilla	%	31,2	
	Clase textural	-	Franco Arcilloso	
	Densidad aparente	g/cm ³	1,11	Probeta
	Densidad real	g/cm ³	2,453	Picnómetro
	Porosidad	%	54,70	Calculo
	Humedad	%	25,63	
	pH en H ₂ O relación 1:5	-	4,80	Potenciometría
	Conductividad eléctrica	dS/m	0,20	
	Materia orgánica	%	5,74	Walkley y black
	Carbono orgánico	%	3,3	Calculo
	Nitrógeno total	%	0,23	Kjendhal
	Nitrógeno mineral	%	10,50	Kjendhal
	Fosforo disponible	%	3,03	Espectrofotometría UV-visible
	Actividad microbiana	µg C-CO ₂	9	Respiración
	Beta glucosidasa	µg PNP/g-h	0,18	
	Carbono microbiano	mgC/kgS ^o	45	Fumigación y extracción




Ph.D. Roberto Miranda Casas
LABORATORIO DE SUELOS



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMIA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA EN SUELOS Y AGUAS
(LAFASA)

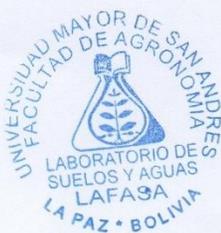


ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO Y BIOLÓGICOS DE SUELOS

INTERESADO: Joseline Antonieta Ramallo Unzueta
PROCEDENCIA: Departamento La Paz
Municipio Coripata
Provincia Nor Yungas
Comunidad San Agustín

SOLICITUD: T3R2
FECHA DE ENTREGA: 11/10/2019

	Parámetro	Unidad	Resultado	Método
TEXTURA	Arena	%	41,2	Bouyoucos
	Limo	%	30,8	
	Arcilla	%	28,0	
	Clase textural	-	Franco Arcilloso	
	Densidad aparente	g/cm ³	1,18	Probeta
	Densidad real	g/cm ³	2,345	Picnómetro
	Porosidad	%	49,83	Calculo
	Humedad	%	24,69	
	pH en H ₂ O relación 1:5	-	4,81	Potenciometría
	Conductividad eléctrica	dS/m	0,33	
	Materia orgánica	%	4,7	Walkley y black
	Carbono orgánico	%	2,7	Calculo
	Nitrógeno total	%	0,23	Kjendhal
	Nitrógeno mineral	%	32,90	Kjendhal
	Fosforo disponible	%	3,03	Espectrofotometría UV-visible
	Actividad microbiana	µg C-CO ₂	3	Respiración
	Beta glucosidasa	µg PNP/g-h	0,20	
	Carbono microbiano	mgC/kgS ⁺	30	Fumigación y extracción



Ph.D. Roberto Miranda Casas
LABORATORIO DE SUELOS



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMIA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA EN SUELOS Y AGUAS
(LAFASA)



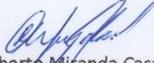
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO Y BIOLÓGICOS DE SUELOS

INTERESADO: Joseline Antonieta Ramallo Unzueta
PROCEDENCIA: Departamento La Paz
Municipio Coripata
Provincia Nor Yungas
Comunidad San Agustín

SOLICITUD: T3R3
FECHA DE ENTREGA: 11/10/2019

	Parámetro	Unidad	Resultado	Método
TEXTURA	Arena	%	27,2	Bouyoucos
	Limo	%	30,8	
	Arcilla	%	42,0	
	Clase textural	-	Franco Arcilloso	
	Densidad aparente	g/cm ³	1,15	Probeta
	Densidad real	g/cm ³	2,286	Picnómetro
	Porosidad	%	49,91	Calculo
	Humedad	%	44,20	
	pH en H ₂ O relación 1:5	-	6,63	Potenciometría
	Conductividad eléctrica	dS/m	0,27	
	Materia orgánica	%	11,55	Walkley y black
	Carbono orgánico	%	6,7	Calculo
	Nitrógeno total	%	0,23	Kjendhal
	Nitrógeno mineral	%	55,30	Kjendhal
	Fosforo disponible	%	3,03	Espectrofotometría UV-visible
	Actividad microbiana	µg C-CO ₂	9	Respiración
	Beta glucosidasa	µg PNP/g-h	0,19	
	Carbono microbiano	mgC/kgS ^a	37,5	Fumigación y extracción




Ph.D. Roberto Miranda Casas
LABORATORIO DE SUELOS

Av. Landaeta esq. Héroes del Acre N.º 1850 Facultad de Agronomía
Telf. IAREN 2484647-74016356-73075326



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMIA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA EN SUELOS Y AGUAS
(LAFASA)



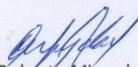
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO Y BIOLÓGICOS DE SUELOS

INTERESADO: Joseline Antonieta Ramallo Unzueta
PROCEDENCIA: Departamento La Paz
Municipio Coripata
Provincia Nor Yungas
Comunidad San Agustín

SOLICITUD: T4R1
FECHA DE ENTREGA: 11/10/2019

	Parámetro	Unidad	Resultado	Método
TEXTURA	Arena	%	30,0	Bouyoucos
	Limo	%	42,8	
	Arcilla	%	27,2	
	Clase textural	-	Arcilloso	
	Densidad aparente	g/cm ³	1,13	Probeta
	Densidad real	g/cm ³	2,357	Picnómetro
	Porosidad	%	51,92	Calculo
	Humedad	%	96,08	
	pH en H ₂ O relación 1:5	-	4,43	Potenciometría
	Conductividad eléctrica	dS/m	0,63	
	Materia orgánica	%	11,44	Walkley y black
	Carbono orgánico	%	6,6	Calculo
	Nitrógeno total	%	0,31	Kjendhal
	Nitrógeno mineral	%	83,30	Kjendhal
	Fosforo disponible	%	11,40	Espectrofotometría UV-visible
	Actividad microbiana	(µg C-CO ₂)	9	Respiración
	Beta glucosidasa	µg PNP/g-h	0,65	
	Carbono microbiano	mgC/kgS°	96	Fumigación y extracción




Ph.D. Roberto Miranda Casas
LABORATORIO DE SUELOS

Av. Landaeta esq. Héroes del Acre N.º 1850 Facultad de Agronomía
Telf. IAREN 2484647-74016356-73075326



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMIA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA EN SUELOS Y AGUAS
(LAFASA)



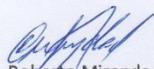
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO Y BIOLÓGICOS DE SUELOS

INTERESADO: Joseline Antonieta Ramallo Unzueta
PROCEDENCIA: Departamento La Paz
Municipio Coripata
Provincia Nor Yungas
Comunidad San Agustín

SOLICITUD: T4R2
FECHA DE ENTREGA: 11/10/2019

	Parámetro	Unidad	Resultado	Método
TEXTURA	Arena	%	41,2	Bouyoucos
	Limo	%	24,8	
	Arcilla	%	34,0	
	Clase textural	-	Franco	
	Densidad aparente	g/cm ³	0,94	Probeta
	Densidad real	g/cm ³	2,148	Picnómetro
	Porosidad	%	56,29	Calculo
	Humedad	%	43,47	
	pH en H ₂ O relación 1:5	-	4,69	Potenciometria
	Conductividad eléctrica	dS/m	1,20	
	Materia orgánica	%	25,52	Walkley y black
	Carbono orgánico	%	14,8	Calculo
	Nitrógeno total	%	0,31	Kjendhal
	Nitrógeno mineral	%	54,60	Kjendhal
	Fosforo disponible	%	11,40	Espectrofotometría UV-visible
	Actividad microbiana	(µg C-CO ₂)	9	Respiración
	Beta glucosidasa	µg PNP/g-h	0,67	
	Carbono microbiano	mgC/kgS ²	64	Fumigación y extracción




Ph.D. Roberto Miranda Casas
LABORATORIO DE SUELOS

Av. Landaeta esq. Héroes del Acre N.º 1850 Facultad de Agronomía
Telf. IAREN 2484647-74016356-73075326



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMIA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA EN SUELOS Y AGUAS
(LAFASA)

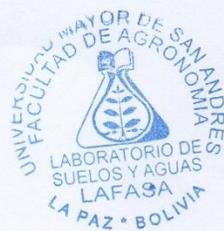


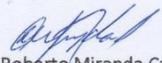
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO Y BIOLÓGICOS DE SUELOS

INTERESADO: Joseline Antonieta Ramallo Unzueta
PROCEDENCIA: Departamento La Paz
Municipio Coripata
Provincia Nor Yungas
Comunidad San Agustín

SOLICITUD: T4R3
FECHA DE ENTREGA: 11/10/2019

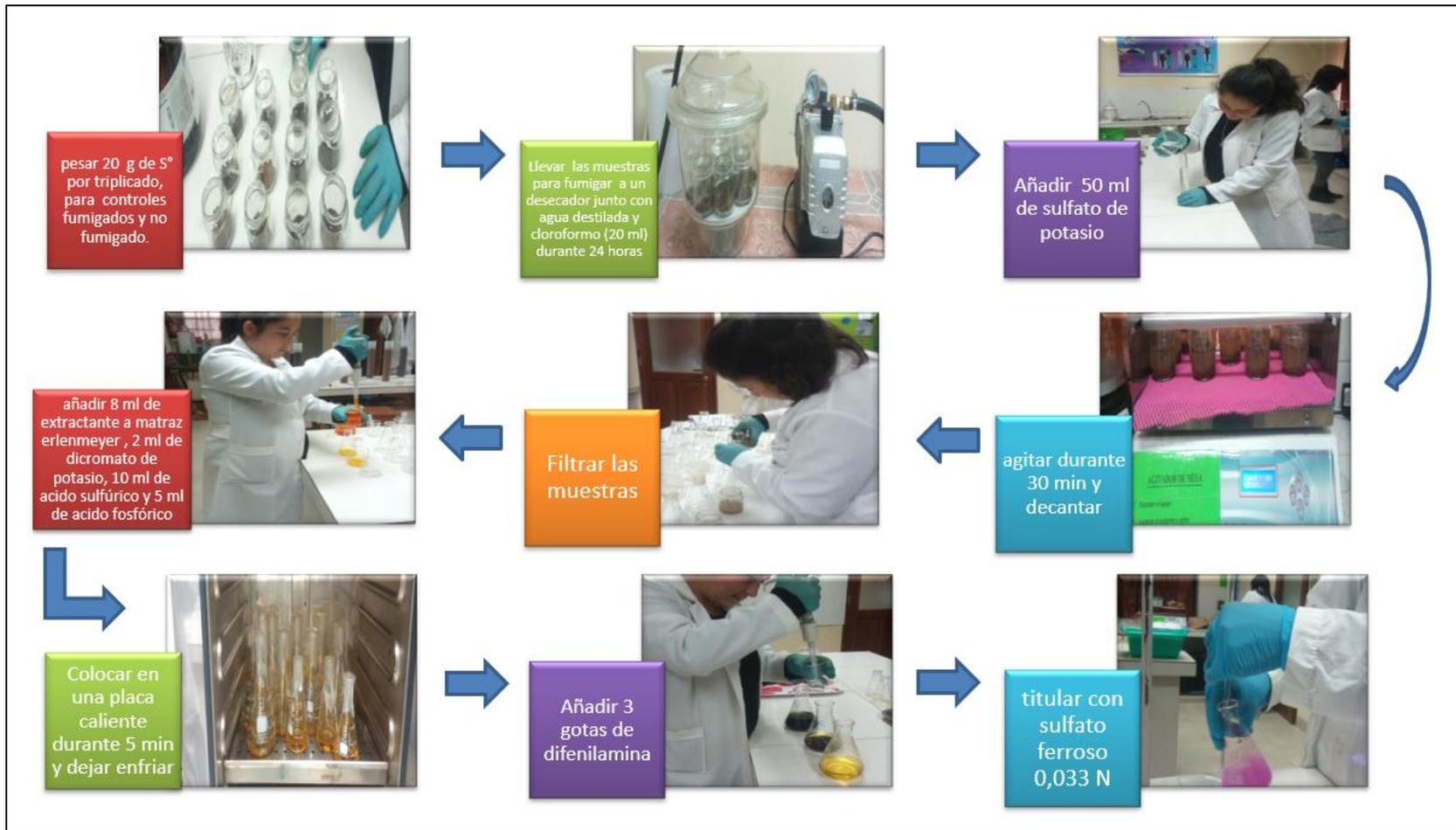
	Parámetro	Unidad	Resultado	Método
TEXTURA	Arena	%	39,2	Bouyoucos
	Limo	%	28,8	
	Arcilla	%	32,0	
	Clase textural	-	Franco Arcilloso	
	Densidad aparente	g/cm ³	0,99	Probeta
	Densidad real	g/cm ³	2,333	Picnómetro
	Porosidad	%	57,77	Calculo
	Humedad	%	47,06	
	pH en H₂O relación 1:5	-	4,94	Potenciometria
	Conductividad eléctrica	dS/m	1,08	
	Materia orgánica	%	23,51	Walkley y black
	Carbono orgánico	%	13,6	Calculo
	Nitrógeno total	%	0,31	Kjendhal
	Nitrógeno mineral	%	68,95	Kjendhal
	Fosforo disponible	%	11,40	Espectrofotometría UV-visible
	Actividad microbiana	(µg C-CO ₂)	19	Respiración
	Beta glucosidasa	µg PNP/g-h	0,64	Colorometria
	Carbono microbiano	mgC/kgS°	80	Fumigación y extracción




Ph.D. Roberto Miranda Casas
LABORATORIO DE SUELOS

Av. Landaeta esq. Héroes del Acre N.º 1850 Facultad de Agronomía
Telf. IAREN 2484647-74016356-73075326

Anexo 3. Registro fotográfico de los procesos de determinación de las variables de estudio





Pesar 100 g de suelo por triplicado



Incubar las muestras de suelo con hidróxido de sodio 1 N durante 5 días



trasvasar el hidróxido a matracas Erlenmeyer.



Titular con ácido clorhídrico 1N



añadir 2 ml de cloruro de bario y 2 gotas de fenolftaleína

