



1859

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS

NATURALES RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**EVALUACIÓN QUÍMICA Y BIOLÓGICA DE LA
FERTILIDAD DEL SUELO EN LOS SISTEMAS
AGROFORESTALES CON CAFÉ DE LOS
SECTORES CONSAPAMBA Y PUEBLO NUEVO
DE LOS CANTONES ESPÍNDOLA Y LOJA**

*Tesis de Grado previa a la
obtención del Título de
Ingeniera Agrícola*

**Paola Lourdes Zambrano Sarango
AUTORA**

1859

**M. Sc. Miguel Ángel Villamagua
DIRECTOR**

Loja-Ecuador

2019

Certificación del director de tesis

Miguel Ángel Villamagua, M. Sc.

CERTIFICA:

Que el presente trabajo de investigación titulado **“EVALUACIÓN QUÍMICA Y BIOLÓGICA DE LA FERTILIDAD DEL SUELO EN LOS SISTEMAS AGROFORESTALES CON CAFÉ DE LOS SECTORES CONSAPAMBA Y PUEBLO NUEVO DE LOS CANTONES ESPÍNDOLA Y LOJA”**; de la autoría de la señorita egresada Paola Lourdes Zambrano Sarango, previo a la obtención de Ingeniera Agrícola, ha sido revisado desde su inicio hasta su culminación dentro del cronograma aprobado; por lo tanto, autorizo su presentación, para su correspondiente calificación.

Loja, 29 de agosto del 2019



.....
Miguel Ángel Villamagua, M. Sc.

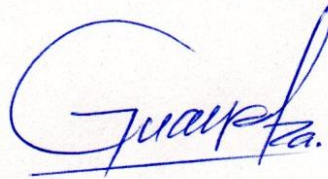
DIRECTOR

CERTIFICACIÓN

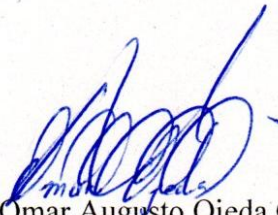
TRIBUNAL DE GRADO

El Tribunal Calificador de la tesis **EVALUACIÓN QUÍMICA Y BIOLÓGICA DE LA FERTILIDAD DEL SUELO EN LOS SISTEMAS AGROFORESTALES CON CAFÉ DE LOS SECTORES CONSAPAMBA Y PUEBLO NUEVO DE LOS CANTONES ESPÍNDOLA Y LOJA**, de autoría de la señorita **Paola Lourdes Zambrano Sarango**, egresada de la Carrera de Ingeniería Agrícola, certificamos que se ha incorporado al documento de tesis las sugerencias respectivas. Por lo tanto autorizamos la impresión y publicación.

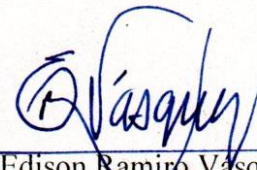
Loja, 21 de octubre del 2019



M.Sc. Pedro Manuel Guaya Pauta
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



M.Sc. Omar Augusto Ojeda Ochoa
VOCAL DEL TRIBUNAL



Ph.D. Edison Ramiro Vásquez
VOCAL DEL TRIBUNAL

Autoría

Yo, **Paola Lourdes Zambrano Sarango**, declaro ser autora del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma: 

Autora: Paola Lourdes Zambrano Sarango.

C.I.: 1104144488

Fecha: Loja, 17 de octubre del 2019

Carta de autorización de tesis por parte de la autora para la consulta, reproducción parcial o total y publicación electrónica del texto completo.

Yo, Paola Lourdes Zambrano Sarango, declaro ser autora de la tesis titulada **“EVALUACIÓN QUÍMICA Y BIOLÓGICA DE LA FERTILIDAD DEL SUELO EN LOS SISTEMAS AGROFORESTALES CON CAFÉ DE LOS SECTORES CONSAPAMBA Y PUEBLO NUEVO DE LOS CANTONES ESPÍNDOLA Y PUEBLO NUEVO”**, como requisito para optar al grado de INGENIERO AGRÍCOLA, autorizó al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los días del mes de octubre del dos mil diecinueve, firma el autor.

Firma: 

Autora: Paola Lourdes Zambrano Sarango

C.I.: 1104144488

Dirección: Catamayo – 24 de Mayo entre Olmedo y Juan Montalvo

Correo Electrónico: lulita.zambrano@hotmail.es

Celular: 0992049242

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: M.Sc. Miguel Ángel Villamagua

Tribunal de Grado: M.Sc. Pedro Guayas Paute.

Ing. Omar Ojeda Ochoa

Dr. Edison Ramiro Vásquez.

Agradecimiento

A la Universidad Nacional de Loja, a la Facultad Agropecuaria de Recursos Naturales Renovables y de manera muy especial a la carrera de Ingeniería Agrícola, con toda su planta docente por haberme formado como profesional para el servicio de la sociedad.

Mi agradecimiento al Ing. Miguel Ángel Villamagua, por su valiosa dirección y revisión y a Karina Tandazo por su ayuda desinteresada en la presente investigación

Finalmente, agradecer a mis padres por su apoyo moral y económico, y a todos y cada una de las personas que han aportado a lo largo de este proyecto universitario, mis más sinceros agradecimientos.

Paola Zambrano

Dedicatoria

A Dios, quien supo darme la fuerza para seguir adelante, sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento. A mis padres por sus consejos y apoyo, a mis queridos hijos por su amor, comprensión y motivación, que me impulsan a seguir adelante.

Paola Zambrano Sarango

TEMA:

**EVALUACIÓN QUÍMICA Y BIOLÓGICA DE LA
FERTILIDAD DEL SUELO EN LOS SISTEMAS
AGROFORESTALES CON CAFÉ DE LOS SECTORES
CONSAPAMBA Y PUEBLO NUEVO DE LOS CANTONES
ESPÍNDOLA Y LOJA**

Contenido

Certificación del director de tesis	i
Certificación	¡Error! Marcador no definido.
Autoría	¡Error! Marcador no definido.
Carta de autorización	¡Error! Marcador no definido.
Agradecimiento	v
Dedicatoria.....	vii
Contenido	ix
Anexos	xi
1. Introducción	3
2. Revisión de Literatura.....	5
2.1. Nutrientes esenciales para el desarrollo vegetal	5
2.2. Propiedades químicas del suelo	8
2.3. Condiciones físicas de los suelos de la Región Sur del Ecuador.....	9
2.4. Evaluación química de la fertilidad del suelo	9
2.5. Métodos directos para el análisis químico de la fertilidad de los suelos	10
2.6. Utilización de la solución Olsen Modificado en el Ecuador	11
2.7. Evaluación biológica de la fertilidad del suelo	12
2.8. Fertilización de cafetales	13
2.9. Evaluación química y biológica en suelos del Ecuador.....	14
3. Materiales y Métodos	16
3.1. Ubicación de los sectores de Consapamba y Pueblo Nuevo	16
3.2. Localización del ensayo de evaluación biológica.....	17
3.3. Materiales y equipos	17
3.4. Metodología.....	17
3.4.1. Caracterización física y química de las unidades de suelos.....	17
3.4.2. Evaluación biológica de la fertilidad del suelo.....	18

3.4.3. Establecer la correspondencia entre la evaluación biológica y los análisis químicos de laboratorio:.....	23
3.4.4. Elaborar plan de fertilización.....	24
4. Resultados y Discusión.....	25
4.1. Características morfológicas, físicas, químicas y de fertilidad del suelo en el sistema agroforestal con café de Consapamba	25
4.1.1. Suelo del sistema agroforestal con café, en pendiente del 15 %	25
4.1.2. Suelo del sistema agroforestal con café, en pendiente del 20 %	26
4.1.3. Suelo del sistema agroforestal con café, en pendiente del 20 % bajo el canal de riego	27
4.2. Características morfológicas, físicas, químicas y de fertilidad del suelo en el sistema agroforestal con café de Pueblo Nuevo	29
4.2.1. Suelo del sistema agroforestal con café de Pueblo Nuevo	29
4.3. Evaluación biológica de la fertilidad actual	32
4.3.1. Altura y producción de biomasa de la planta indicadora del suelo del sistema agroforestal con café del sector Consapamba.....	32
4.3.2. Altura y producción de biomasa de la planta indicadora del suelo del sistema agroforestal con café del sector Pueblo Nuevo.....	34
4.4 Correspondencia entre el análisis químico y la evaluación biológica	37
4.5. Fertilización para los cafetales.....	40
4.5.1. Fertilización para el sector Consapamba	40
4.5.2. Fertilización para el sector Pueblo Nuevo	42
5. Conclusiones.....	45
6. Recomendaciones	46
7. Bibliografía	47
Anexos.....	51

Anexos

Anexo 1. Descripción de perfiles de la unidad de suelo en el SAF con café, del sector Consapamba (Perfil 1).	51
Anexo 2. Descripción de perfiles de la unidad de suelo en el SAF con café, en pendiente del 20 % (Perfil 2).	53
Anexo 3. Descripción de perfiles de la unidad de suelo en el SAF con café, en pendiente 20 % bajo el canal de riego (Perfil 3).	55
Anexo 4. Descripción del perfil del uso de suelo en el SAF con café, en el sector Pueblo Nuevo (Perfil 1).	57
Anexo 5. Diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo (Valarezo et al, 1998).	59
Anexo 6. Altura promedio de la planta indicadora (cm) a los 60 días de edad, del suelo del sistema agroforestal con café del sector Consapamba	60
Anexo 7. Porcentaje de altura promedio de la planta indicadora a los 60 días de edad, del suelo del sistema agroforestal con café del sector Consapamba.....	60
Anexo 8. Promedio de biomasa seca de la planta indicadora del suelo del sistema agroforestal con café del sector Consapamba	61
Anexo 9. Porcentaje de biomasa seca de la planta indicadora del suelo del sistema agroforestal con café del sector Consapamba	61
Anexo 10. Altura promedio de la planta indicadora (cm) a los 60 días de edad, del suelo del sistema agroforestal con café del sector Pueblo Nuevo	62
Anexo 11. Porcentaje de altura promedio de la planta indicadora, a los 60 días de edad del suelo del sistema agroforestal con café en el sector Pueblo Nuevo	62
Anexo 12. Promedio de biomasa seca de la planta indicadora del suelo del sistema agroforestal con café del sector Pueblo Nuevo	63
Anexo 13. Porcentaje de biomasa seca de la planta indicadora del suelo del sistema agroforestal con café del sector Pueblo Nuevo	63
Anexo 14. Contenido de elementos disponibles en la capa 00-25 cm en los usos de suelo del sector Consapamba (extracción con la solución de Olsen Modificada). .	64
Anexo 15. Análisis químicos del suelo en el suelo del SAF con café de Pueblo Nuevo	64
Anexo 16. Composición química de los fertilizantes utilizados para el plan de fertilización	64
Anexo 17. Tríptico divulgativo entregado a los asistentes en el día de campo.	65
Anexo 18. Planificación del evento de difusión de resultados	67

Anexo 19. Evaluación biológica del suelo del SAF con café, en pendiente del 15 % (Perfil 1)	68
Anexo 20. Evaluación biológica del suelo del SAF con café en pendiente del 20 % (Perfil 2)	68
Anexo 21. Evaluación biológica del suelo del SAF con café, en del pendiente del 20 %, bajo el canal de riego (Perfil 3).....	69
Anexo 22. Evaluación biológica del suelo del SAF con café, Zona 1	69
Anexo 23. Evaluación biológica del suelo del SAF con café, Zona 2	70
Anexo 24. Evaluación biológica del suelo del SAF con café, Zona 3	70

Resumen

En la provincia de Loja, el café es uno de los productos más importantes que se cultivan y es conocido a nivel nacional e internacional por su calidad y aroma. El deterioro de la capacidad productiva de los suelos y la consecuente disminución en los rendimientos afectan la economía de los caficultores quienes en su afán de revertir esta situación buscan restituir la disponibilidad de nutrientes en el suelo a través del uso de fertilizantes recomendado por las casas comerciales, sin considerar la disponibilidad de los nutrientes y los requerimientos de los cultivos. La solución extractora de Olsen Modificada, utilizada oficialmente en el país por la Red de Laboratorios de Suelos del Ecuador para determinar el contenido del elemento aprovechable para la planta, se evaluó los contenidos de N, P, K, S, Mg, Zn, Mn, Cu, Fe y B, para realizar un análisis comparativo, a fin de generar un plan de fertilización. En el SAF con café de Consapamba las condiciones físicas del suelo, se ubicó en la categoría de muy pobre; el pH H₂O prácticamente neutro, la capacidad de intercambio catiónico bajo, el P, Zn, Mn, B y Fe no presentó correspondencia entre el peso de la materia seca de la evaluación biológica con la concentración del nutriente disponible del análisis químico para ningún elemento, los elementos más deficientes son N, S, P. En el SAF con café de Pueblo Nuevo las condiciones físicas del suelo, se ubicó en la categoría de pobre; el pH H₂O ácido, la capacidad de intercambio catiónico bajo, el N, P, K, Mg, Zn, Mn y B no presentó correspondencia entre el peso de la materia seca de la evaluación biológica con la concentración del nutriente disponible del análisis químico, los elementos más deficientes son P, N, S, Mg, K y B.

Palabras clave: evaluación biológica, solución extractante, soluciones nutritivas, planta indicadora, correspondencia.

Summary

In Loja province, coffee is one of the most important products grown and is known nationally and internationally for its quality and aroma. The deterioration of the productive capacity of the soils and the consequent decrease in yields affect the economy of coffee farmers who, in their eagerness to reverse this situation, seek to restore the availability of nutrients in the soil through the use of fertilizers recommended by commercial houses, without considering nutrient availability and crop requirements. The modified Olsen extractor solution, officially used in the country by the Soil Laboratories Network of Ecuador to determine the content of the element that can be used for the plant, evaluated the contents of N, P, K, S, Mg, Zn, Mn, Cu, Fe and B, to perform a comparative analysis, in order to generate a fertilization plan. In the SAF with coffee from Consapamba the physical conditions of the soil were placed in the category of very poor; the practically neutral $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$, the low cation exchange capacity, the P, Zn, Mn, B and Fe did not correspond between the weight of the dry matter of the biological evaluation with the concentration of the available nutrient of the chemical analysis for any element, the most deficient elements are N, S, P. In the SAF with coffee from Pueblo Nuevo, the physical conditions of the soil were placed in the category of poor; the acidic $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$, the low cation exchange capacity, the N, P, K, Mg, Zn, Mn and B did not correspond between the weight of the dry matter of the biological evaluation with the concentration of the available nutrient of the chemical analysis, the most deficient elements are P, N, S, Mg, K and B.

Keywords: biological evaluation, extractant solution, nutritional solutions, indicator plant, correspondence.

1. Introducción

El café es uno de los productos importantes que se cultivan en la provincia de Loja, y es conocido a nivel nacional e internacional por su calidad y aroma. La provincia con mayor superficie de cultivo de café en Ecuador es Manabí que ocupa alrededor de 70.700 ha, mientras que la provincia de Loja ocupa el segundo lugar con aproximadamente 29.600 ha. Los cantones con mayor superficie cultivada en la provincia de Loja son Puyango, Paltas y Chaguarpamba (Andrade, 2017).

El deterioro de la capacidad productiva de los suelos y la consecuente disminución en los rendimientos afectan la economía de los caficultores quienes en su afán de revertir esta situación buscan restituir la disponibilidad de nutrientes en el suelo; según Guerrero (2017), el 67 % de los caficultores de la provincia emplean productos químicos en dosis recomendadas por los proveedores de las casas comerciales, sin el suficiente conocimiento ni criterio para considerar la disponibilidad actual de nutrientes y los requerimientos de los cultivos.

La presente investigación se realizó para disponer de información sobre la disponibilidad de nutrientes en el suelo, con la metodología del elemento faltante (evaluación biológica) y Olsen Modificada (análisis químico), para realizar un análisis comparativo, a fin de generar un plan de fertilización para el sistema agroforestal con café. La solución extractora de Olsen Modificada, establecida en el país por la Red de Laboratorios de Suelos del Ecuador (RELASE) para determinar el contenido del elemento aprovechable para la planta, no siempre corresponde con la situación de la planta indicadora utilizada en la evaluación biológica.

Con estas consideraciones la Universidad Nacional de Loja, realiza investigaciones en diferentes ecosistemas del país, con la finalidad de encontrar la correspondencia entre los contenidos extraídos por la solución referida y la evaluación biológica, con el método del elemento faltante, a través del tomate de mesa utilizada como planta indicadora, bajo condiciones de invernadero, cuya técnica ha sido adaptada por Valarezo, (1985) y probado por Guayllas (1988); posteriormente en suelos de la provincia de Loja desarrollados sobre andesita Zhunaula, (2016) y Aguirre, (2017), señalan que no existe una correlación total entre ambas metodologías para los elementos de N, P, K, S, Mg y B.

Los objetivos planteados para esta investigación se mencionan a continuación:

Objetivo general

- Evaluar química y biológicamente la disponibilidad de los nutrientes a fin de generar un plan de fertilización para el sistema agroforestal con café en los sectores de Consapamba y Pueblo Nuevo de los cantones Espíndola y Loja.

Objetivos específicos

- Realizar la caracterización física y química los suelos de Consapamba y Pueblo Nuevo.
- Establecer la correspondencia entre la evaluación química y biológica de la fertilidad actual del suelo.
- Proponer un plan de fertilidad para el cultivo de café en cada sector.

2. Revisión de Literatura

2.1. Nutrientes esenciales para el desarrollo vegetal

Las plantas requieren de muchos nutrientes químicos para vivir y desarrollarse, los elementos esenciales son 16. A partir del aire y del agua se obtiene de manera combinada el carbono, hidrogeno y oxígeno. Los 13 elementos restantes se toman del suelo y según la cantidad absorbida por planta, se dividen en macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg y S) estos se necesitan en cantidades relativamente grandes, y en micronutrientes (Mo, Fe, B, Zn, Cu, Mn) los cuales se requieren en cantidades considerablemente menores. Sin embargo, otros elementos minerales son considerados beneficiosos porque son esenciales para algunas especies de plantas bajo ciertas condiciones.

La cantidad de nutrientes disponibles para las plantas es afectada por; la calidad del sustrato, la calidad del agua, el tipo de planta. Los nutrientes son absorbidos por los finos pelos de las raíces, no por las raíces grandes (Roca, s.f).

Los nutrientes se vuelven disponibles para las plantas a través de la desintegración de minerales y la descomposición de la materia orgánica, con excepción del nitrógeno que se incorpora al suelo al ser fijado de la atmosfera mediante la acción microbiana de bacterias (Roca, s.f).

El nitrógeno, es absorbido por las raíces de las plantas, preferentemente, en forma de nitrato (NO_3^-) o de amonio (NH_4^+). Forma parte del contenido de todas las proteínas e animales y vegetales.

La dinámica del nitrógeno en el suelo, está influenciada por procesos que estas íntimamente ligadas entre sí; la fijación del nitrógeno atmosférico por microorganismos que viven libremente en el suelo, por bacterias simbióticas, aportes por el agua de lluvia y nieve, aportaciones de nitrógeno en fertilizantes, estiércol y plantas verdes (Navarro, 2013).

El suministro de nitrógeno es insuficiente, las plantas crecen despacio; en comparación con plantas sanas, presentan un aspecto ahilado, raquítico y pálido. El color verde pálido de plantas proviene de la reducción de clorofila, la palidez suele ser más pronuncias en las hojas viejas y, especialmente, a lo largo de las nerviaciones (Thompson y Troeh, 2004).

El fósforo, es absorbido predominantemente como anión monovalente fosfato (H_2PO_4) y en menor cantidad como anión divalente (HPO_4^{-2}). La presencia de una u otra forma iónica depende del pH. En un pH alcalino la disponibilidad del fósforo está limitada por la formación de fosfatos de calcio, no aprovechables por las plantas. Igualmente, en condiciones de pH bajo, la alta solubilidad del aluminio y del hierro precipitan el fósforo, limita la disponibilidad de este elemento para las plantas (Rodríguez y Floréz, 2004).

El fosforo puede incorporarse a los suelos mediante la fijación bioquímica por microorganismos, el fosforo tiene ayuda microbiana la cantidad expresada como P_2O_5 en el suelo en raras ocasiones sobrepasa el valor de 0,5% (Navarro y Navarro, 2013).

La deficiencia ocasiona un débil desarrollo de la planta, causa que las hojas presenten nervios pocos pronunciados y de una coloración azul, verdosa con tintes bronceados o purpuras, se presentan con frecuencia en las hojas viejas, dado que el fosforo se mueve con rapidez de estas a las hojas jóvenes (Iñiguez, 2007).

El potasio, es absorbido por las raíces bajo la forma de K^+ . El papel del potasio en las plantas es variado, ya que actúa como regulador de las funciones de la planta, razón por la cual se explica su participación activa en los tejidos jóvenes. Por eso cuando hay escases se traslada con facilidad a las hojas jóvenes, por cuyo motivo las deficiencias se manifiestan en primer lugar en las hojas viejas.

Los síntomas de deficiencia de K^+ asimilable se expresan en formas diversas: existe un retraso en el crecimiento de la planta, cuando la deficiencia se agudiza se produce quemado en los bordes de las hojas, el sistema radicular presenta un escaso desarrollo, los tallos son débiles (Iñiguez, 2007).

El calcio, es absorbido por las plantas fundamentalmente bajo la forma de Ca^{++} . Este elemento puede actuar en la planta bajo dos formas: como componente estructural de paredes y membranas celulares y como cofactor de varios enzimas. El calcio es muy importante para el desarrollo de las raíces, en las cuales ejerce una triple función: multiplicación celular, crecimiento celular y neutralización de los hidrogeniones (García y García, 2013).

El magnesio, es absorbido por las plantas como catión divalente Mg^{2+} , es un elemento menos abundante en el suelo.

Este elemento es muy móvil en la planta asciende por el xilema, forma compuestos con aniones como NO_3^- y en las hojas forma la clorofila que se distribuye para cumplir su acción fotosintética, al captar la energía solar y transformarla en energía química. Una clara deficiencia de magnesio se la ubica en las hojas viejas que forman estrías cloróticas en las mismas (Serrano, 2017).

El azufre, es absorbido por la planta casi exclusivamente en forma de anión sulfato (SO_4^{2-}), a través de su sistema radicular. La cantidad de azufre en forma asimilable depende, sobre todo, de la riqueza de humus y de la actividad biológica de los suelos.

Sus síntomas carenciales en general no son muy visibles. Los efectos de su carencia tienen tendencia a manifestarse en primer lugar en los órganos jóvenes que presentan una clorosis ligada a una disminución del contenido de clorofila (Aguilar, 2018).

El zinc, es absorbido por la planta como catión divalente (Zn^{2+}) o quelato vía radical o foliar. Este es un elemento transportado vía xilema y relativamente poco móvil en el interior de la planta. El zinc es importante, porque es constituyente de la enzima anhidrasa carbónica, que cataliza la formación de ácido carbónico a partir de CO_2 y agua (Rodríguez y Flórez, 2004).

La deficiencia de zinc comienza en las hojas jóvenes, las cuales presentan un amarillento progresivo y disminución del tamaño de la hoja.

El cobre, es absorbido por la planta como Cu^{+2} , por vía radicular o foliar. No es muy móvil, aunque puede desplazarse en cierta proporción de las hojas viejas a las jóvenes. El cobre es un micronutriente esencial en el balance de bioelementos que en la planta regulan un proceso tan trascendental como es la transpiración.

La deficiencia de cobre, aunque los síntomas varían con los cultivos, las alteraciones en general se observan primero en los órganos más jóvenes. En ellos, el efecto más característico es la deformación y muerte de las hojas jóvenes, después de aparecer clorosis, manchas pardas y necrosis en los bordes y ápice (Navarro y Navarro, 2013).

El hierro, puede ser absorbido por la planta mediante su sistema radicular como Fe^{+2} , o como quelatos de hierro. La forma de Fe^{+3} es de menor importancia, debido a la pequeña solubilidad de los compuestos férricos en la mayor parte de los suelos. El hierro

interviene en muchos procesos vitales para la planta, forma parte de diversos sistemas enzimáticos (Navarro y Navarro, 2013).

La deficiencia de hierro se caracteriza porque las plantas desarrollan una clorosis intervenal pronunciada. Debido a que este elemento es poco móvil dentro de la planta, los síntomas de deficiencia aparecen en las hojas jóvenes de la parte superior de la misma (Rodríguez y Flórez, 2004).

El manganeso, es absorbido por la planta bajo la forma de Mn^{+2} y como quelato, tanto por su sistema radicular como por las hojas directamente, las funciones del manganeso son aún desconocidas, si se sabe que interviene en numerosos procesos metabólicos que se realizan en las plantas incluyendo la fotosíntesis, la respiración y la asimilación de nitrógeno.

El manganeso es un elemento poco móvil en la planta, y por ello los síntomas de deficiencia suelen aparecer primero en las hojas jóvenes, su carencia produce hojas viejas cloróticas con lesiones necróticas y mal formadas; en las hojas jóvenes se aprecia clorosis intervenal (PROMIX, 2018).

El boro, es absorbido por la planta en formas de ácido bórico: H_2BO_3 o HBO_3 . Este elemento es básicamente transportado por el xilema, lo que implica que su distribución en las plantas está determinada principalmente por la transpiración ya que es un elemento poco móvil (Rodríguez y Flórez, 2004).

La deficiencia de este elemento en la planta se presenta con un retraso en el crecimiento. Las hojas jóvenes presentan color verde pálido, tienden a retrocederse y finalmente mueren, cesando el crecimiento terminal (Navarro y Navarro, 2013).

2.2. Propiedades químicas del suelo

pH, determina el grado de adsorción de iones (H^+) por las partículas del suelo e indica si un suelo está ácido o alcalino. Es el indicador principal en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, influyendo en la solubilidad, movilidad, disponibilidad y de otros constituyentes y contaminantes inorgánicos presentes en el suelo. El valor del pH en el suelo oscila entre 3,5 (muy ácido) a 9,5 (muy alcalino). Los suelos muy ácidos (<5,5) tienden presentar cantidades elevadas y tóxicas de aluminio y manganeso. Los suelos muy alcalinos (>8,5) tienden a dispersarse. La actividad de los organismos del

suelo es inhibida en suelos muy ácidos y para los cultivos agrícolas el valor del pH ideal se encuentra en 6,5 (Piedrahíta, 2009).

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), es una medida de cantidad de cargas negativas presentes en las superficies de los minerales y componentes orgánicos del suelo y representa la cantidad de cationes que las superficies pueden retener. Estos serán intercambiados por otros cationes o iones de hidrógeno presentes en la solución del suelo y liberados por las raíces. El nivel de CIC indica la habilidad de suelos a retener cationes, disponibilidad y cantidad de nutrientes a la planta, su pH potencial entre otras. La unidad de medición de CIC es en centimoles de carga por kg de suelo cmol kg^{-1} o $\text{meq } 100\text{g}^{-1}$ de suelo (FAO, s.f.).

2.3. Condiciones físicas de los suelos de la Región Sur del Ecuador

Valarezo *et al.*(1998), en clase textural franco arcilloso arenoso (Fo.Ac.Ao.), los valores del rango de las características físicas de los suelos de la Región Sur de Ecuador en los dos horizontes superiores < 180 cm son: densidad aparente (g cm^{-3}) de 1,05 – 1,64; capacidad de campo (%) de 27,40 – 50,04; punto de marchitez permanente (%) de 11,41 – 32,41; capacidad de aireación (%) de 1,13 – 26,57; agua aprovechable (%) de 12,25 – 17,63; zona muy pobre a media.

En la clase textural franco (Fo), los valores del rango de las características físicas de los suelos de la Región Sur de Ecuador en los dos horizontes superiores < 180 cm son: densidad aparente (g cm^{-3}) de 0,89 – 1,59; capacidad de campo (%) de 21,44 – 59,80; punto de marchitez permanente (%) de 8,25 – 41,00; capacidad de aireación (%) de 3,70 – 14,27; agua aprovechable (%) de 9,14 – 21,58; zona muy pobre a media. Los valores del rango de las características físicas de los suelos que reporta la bibliografía internacional para la misma clase textural son: densidad aparente (g cm^{-3}) de 1,35 – 1,50; capacidad de campo (%) de 25,00 – 36,00; punto de marchitez permanente (%) de 11,00 – 17,00; capacidad de aireación % (CA) 16; agua aprovechable % (AA) de 14,00 – 20,00.

2.4. Evaluación química de la fertilidad del suelo

La fertilidad química se refiere a la capacidad que tiene el suelo de proveer nutrientes esenciales a los cultivos (aquellos que de faltar determinan reducciones en el crecimiento y/o desarrollo del cultivo). En este sentido se evalúa la disponibilidad de

nutrientes en el suelo a través de análisis de suelos y/o plantas a través de un proceso de diagnóstico y posteriormente se definen estrategias de fertilización (Ibáñez, 2018).

Fertilidad actual y potencial. La fertilidad potencial, depende del contenido en materia orgánica, y la fertilidad actual, se sujeta al contenido en nutrientes inmediatamente asimilables. Cuando no se aplican fertilizantes al suelo, la fertilidad actual depende de la fertilidad potencial, ya que la actual es una movilización de la potencial; pero la segunda también depende de la primera porque a medida que se aprovecha la fertilidad actual, la potencial repone las cantidades sustraídas y por lo tanto ésta decrece (FAO, 2017).

2.5. Métodos directos para el análisis químico de la fertilidad de los suelos

Principios generales. Los laboratorios de análisis de suelos utilizan soluciones de compuestos químicos conocidos como extractantes que tratan de emular la cuantía que la planta extrae del suelo de los elementos disponibles. La diversidad de tipos de suelos y sus diferentes características físicas y químicas ha hecho que se desarrolle diferentes soluciones extractantes, por lo general se encuentran constituidas por diferentes compuestos químicos en los que se incluye: sales, ácidos, bases, compuestos acomplejantes, etc., que se regulan a un pH específico (Aucatoma, 2017).

Solución extractora Mehlich I. La solución extractora está compuesta por: ácido clorhídrico 0.05 N, ácido sulfúrico 0.0125 N. Esta solución fue propuesta en 1953 por Nelson et. al. También conocida como Carolina del Norte. Extrae la mayoría de los nutrimentos necesarios para evaluar el estado de fertilidad de un suelo, aunque esta no fue efectiva en suelos alcalino (Chonay, Herrera, Sabaja, Carias, y Castillo, 2000).

Solución extractora Mehlich II. La solución está compuesta de 0,2 N de ácido acético (HOAc); 0,25 N de nitrato de amonio (NH_4NO_3); 0,015 de fluoruro de amonio (NH_4F); 0,013 N de ácido nítrico (HNO_3) y 0,001 M de EDTA regulada al pH de 2,5. De acuerdo a la literatura, puede ser utilizada para la extracción simultánea de macronutrientes como: Ca, Mg, K, P, S y micronutrientes como: Cu, Zn y Mn, siendo una ventaja sobre las demás soluciones extractoras (Cabalceta y Molina, 2006).

Solución extractora Bray I. La solución Bray I contiene HCl 0.025 N y NH_4F 0.03 N. El HCl lleva parte del fósforo a la solución; el NH_4F induce a la formación de iones complejos con el hierro y el aluminio soluble, impidiendo que el fósforo sea

precipitado de nuevo. El fósforo extraído por la solución Bray I presenta una buena correlación con la respuesta de los cultivos en la mayoría de los suelos jóvenes, sean ácidos o alcalinos. Una solución extractora más energética, como Bray II (HCl 0.1N + NH₄F 0.03N) da buenos resultados en suelos antiguos y ácidos, pero en suelos calizos o que han recibido aplicaciones de fosfatos minerales, proporciona estimaciones demasiado elevadas. Una solución alcalina que contenga Na₂CO₃ o K₂CO₃ es más efectiva para extraer el fósforo disponible de suelos alcalinos (Thompson y Troeh, 2004).

Solución extractora Olsen Modificado. La solución está compuesta de 0.5 N de bicarbonato de sodio (NaHCO₃), 0.01M EDTA con 0.5 g de superfloc 127 para preparar 10 litros de solución, es apropiado para suelos de origen volcánico; además, representa un método para extracción de macronutrientes como: P, K, Ca, Mg, S y micronutrientes como: Zn, Cu, Fe y Mn. La determinación de los elementos metálicos se los realiza haciendo las lecturas directamente del filtrado original en el espectrofotómetro de absorción atómica con la lámpara correspondiente al elemento (RELEASE, 2016).

2.6. Utilización de la solución Olsen Modificado en el Ecuador

Actualmente, la mayoría de laboratorios que pertenecen a la Red de Laboratorios de Análisis Químico de Suelos del Ecuador (RELEASE) utilizan la solución extractante Olsen Modificado. Dado que las investigaciones realizadas con otras soluciones extractantes han sido limitadas y se plantea la necesidad de estudiar la extracción con otras soluciones. En cuanto a las técnicas de análisis para macronutrientes y micronutrientes catiónicos la Absorción Atómica (AA) constituye la base de los análisis (Chávez, 2011).

El extractante para suelos de uso más generalizado en la Costa y Sierra ecuatoriana es Olsen Modificado con el que se extrae previo a su cuantificación el contenido disponible de los macro elementos P, K, Ca y Mg y de los micro elementos Zn, Cu, Fe y Mn, no obstante Olsen Modificado no es de uso generalizado en el Mundo, aparte de Ecuador se usan solo en determinadas regiones de países como Costa Rica y Argentina, lo cual ha dado como resultado que no sea atractivo comercialmente preparar materiales de referencia certificados (Aucatoma, 2017).

La red de laboratorios de suelos en el Ecuador. La RELEASE tiene como objetivos brindar a los productores un servicio que cumpla con los estándares de calidad para el estudio de suelos, foliares y aguas, así como también homologar e implementar

metodologías de análisis para la determinación de nutrientes en dichas matrices y establecer planes de mejora en los diferentes laboratorios agrícolas del país que se encuentran conformando la Red, actualmente se encuentra bajo la Coordinación de la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro – AGROCALIDAD, a través del Laboratorio de Suelos, Foliare y Aguas (Jaramillo, 2018).

Las metodologías utilizadas para los análisis de suelos y plantas, por los diferentes laboratorios que intervienen la RELASE, a través del método de Olsen Modificado cuantía elementos disponibles como: P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn (Carrera, 2008).

Se está evaluando las nuevas propuestas con métodos normalizados y calibrados, para la extracción de macro y micronutrientes asimilables en suelos, como es el caso de la solución Mehlich 3 y Bray 2, ya que en los laboratorios del Ecuador se realiza la extracción por el método de Olsen modificado para todos los tipos de suelos (RELASE, 2016).

2.7. Evaluación biológica de la fertilidad del suelo

La técnica del elemento faltante es un procedimiento rápido para la detección de carencias de nutrientes en el suelo, el cual incluye el uso de plantas indicadoras bajo condiciones de invernadero o campo.

Esta técnica se fundamenta en el hecho de eliminar de la fórmula nutritiva completa que se añade a las plantas, un elemento metódicamente de manera tal que permita el análisis de esta ausencia en la planta indicadora que se usa. El objetivo principal de esta práctica es el de establecer la capacidad de un suelo de proveer los elementos nutritivos para un adecuado desarrollo (Briceño y Pacheco, 1984).

La técnica es rápida, eficiente y efectiva en la evaluación de la fertilidad del suelo; involucra el uso de ciertos procedimientos analíticos e interpretaciones para determinar el estado de distintos nutrientes a fin de corregirlo, y además para demostrar mediante procedimientos usados en el invernadero la efectividad de la interpretación de los resultados analíticos y de las medidas correctivas. En esta técnica se debe reconocer que el crecimiento (producción de materia seca) bajo condiciones de invernadero no es comparable con el crecimiento bajo condiciones de campo, pero puede correlacionarse con el crecimiento en el campo, cuando otro factor que no sea el estado de fertilidad del suelo sea más limitante que la misma fertilidad.

Plantas de sorgo, arroz, trigo, girasol, maíz, rábano o tomate han sido usadas como plantas indicadoras en esta técnica, donde el sorgo parece ser una de las mejores; es sensible a la mayoría de las deficiencias, crece rápido, tiene semillas pequeñas y crece bien en un amplio rango de condiciones climáticas (Rodríguez y Rodríguez, 2011).

2.8.Fertilización de cafetales

Es la aplicación de abonos en forma racional, en diferentes etapas del cultivo, como: en viveros, al momento de plantar, en la etapa de crecimiento (hasta los 18 meses después del establecimiento) y en la etapa de producción.

Las recomendaciones de fertilización deben adaptarse a los objetivos de caficultor, si es producción convencional se pueden usar los abonos orgánicos y químicos, si se trata de la producción orgánica hay que cumplir los estándares de los países consumidores y usar solo los abonos, enmiendas y sustancias permitidas por la agencia certificadora. Para fertilizar cafetales se deben tener en cuenta los siguientes aspectos: requerimientos del cultivo, grado de acidez del suelo, composición química de los fertilizantes y enmiendas, compatibilidad de los fertilizantes, topografía del terreno, época de aplicación, recomendaciones técnicas y otras formas de mejorar la fertilidad (González, 2014).

Requerimientos de nutrimentos. La cantidad de fertilizantes y las fuentes de macro y micronutrientes a ser aplicados en lo cafetales se determinan en función de los análisis del suelo, en cafetales en crecimiento, hasta los 18 meses de edad el campo, se aplica la mitad de la dosis recomendada para cafetales en producción, a continuación, se indican los requerimientos de macro nutrientes y micro nutrientes, de acuerdo a la interpretación del análisis químico del suelo alto, medio y bajo (Enríquez y Duicela, 2014).

Tabla 1. Requerimientos de macro y micro nutrientes en cafetales en producción

Autores	I	N	P	K	S	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
Enríquez y Duicela, 2014		200	60	150	150	340	15	3	3	3	1,5	10
COFENAC y Dublinsa, 2012		300	60	150	150	340	15	3	-	3	1,5	3
Iñiguez, 2007	B	286	74	291	-	-	-	-	-	-	-	-
INIAP, 1993		100	17	74,7	-	-	-	-	-	-	-	-
Valarezo, 2014		100	60	100	5	-	80	-	-	-	-	-
Enríquez y Duicela, 2014		100	40	50	50	150	10	1,5	1,5	1,5	0,75	5
COFENAC y Dublinsa, 2012		200	40	50	50	150	10	1,5	-	1,5	0,8	1,5
Iñiguez, 2007	M	208	57	216	-	-	-	-	-	-	-	-
INIAP, 1993		50	9	37	-	-	-	-	-	-	-	-
Valarezo, 2014		50	30	50	3	-	60	-	-	-	-	-
Enríquez y Duicela, 2014		50	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0
COFENAC y Dublinsa, 2012	A	100	20	20	0	0	0	0	-	0	0	0
Iñiguez, 2007		130	40	140	-	-	-	-	-	-	-	-
Valarezo, 2014		25	15	25	0	-	20	-	-	-	-	-

I= interpretación de los análisis químicos; A=Alto; M= Medio; B=Bajo

Relaciones entre cationes intercambiables. Con los resultados cuantitativos de los análisis químicos, se calculan las relaciones de los cationes intercambiables: Ca/Mg, Mg/K, (Ca+Mg) / K. partiendo de esta información se evalúa el balance de cationes y se toman decisiones pertinentes referidas a la adición de los fertilizantes que se encuentran en desequilibrio (Enríquez y Duicela, 2014).

Tabla 2. Relaciones entre cationes intercambiables adecuados para el café

Relación entre cationes	Rangos óptimos (cmol kg ⁻¹)	Nivel crítico (cmol kg ⁻¹)	Recomendación
Ca/Mg	2,6 – 8,0	Si < 2,6	Agregar Calcio
		Si > 8,0	Agregar Magnesio
Mg/K	7,5 – 15,0	Si < 7,5	Agregar Magnesio
		Si > 15,0	Agregar Potasio
(Ca + Mg)/K	27,5 – 55,0	Si < 27,5	Agregar Ca y Mg
		Si > 55,0	Agregar Potasio

2.9 Evaluación química y biológica en suelos del Ecuador

Castillo y Salinas (2014) en suelos de origen volcánico, en unidades de suelos de los predios: Santa Marianita, del cantón Buena Fé, provincia de Los Ríos; y Cucaracha del cantón Quinindé, provincia de Esmeraldas, concluye: Predio Santa Marianita en la evaluación biológica se evidencio que el N, P y K es bajo, mientras que en los análisis

químicos determino alto (N) y medio (P y K); para el Mg en la evaluación biológica se evidenció alto y en los análisis químicos determino contenidos bajos; En el predio la Cucaracha en la evaluación biológica se evidencio que el N y K es bajo, mientras que en los análisis químicos determino alto.

Castillo y Villavicencio (2015) en suelos de cultivo en callejones de *Gliricida sepium*, concluyen que el N, P, K, Mn en la evaluación biológica se evidencio que son bajos, mientras que en los análisis químicos es alto.

Zhunaula (2016) Desarrollado sobre andesita en seis unidades productivas del Sistema de riego La Era, Cantón Catamayo, en las unidades productivas (huerta, pasto, yuca, pimiento, caña y maíz más zarandaja), concluye que en la evaluación biológica se evidencio que el N, P y K son bajos, mientras que en los análisis químicos es alto.

3. Materiales y Métodos

3.1. Ubicación de los sectores de Consapamba y Pueblo Nuevo

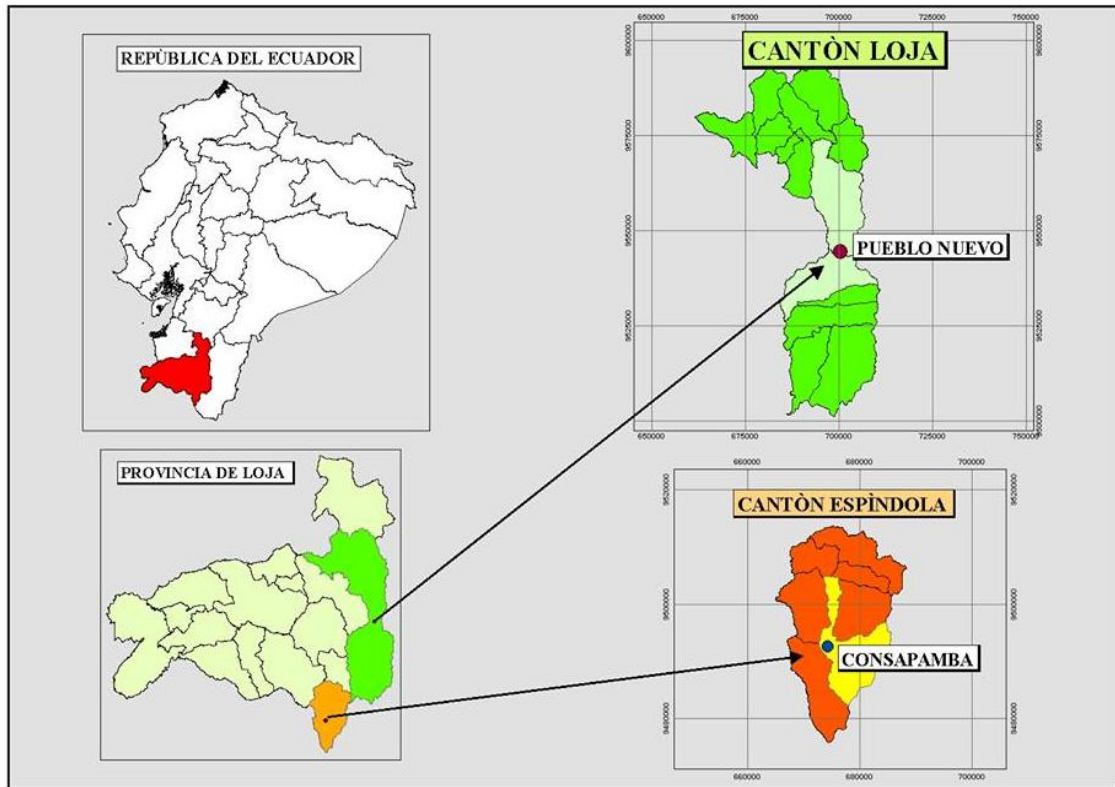


Figura 1. *Ubicación geográfica de los sectores de estudio*

Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano

Ubicación política, geográfica y características biofísicas del sector Consapamba

La zona de estudio está ubicada, en el cantón Espíndola, parroquia Bellavista, en el barrio Consapamba que se encuentra a 1 km al sur del centro parroquial de Amaluza, limitado al sur con la parroquia Bellavista, al este con el barrio Cofradía y al oeste con la parroquia Jimbura. La ubicación geográfica en las coordenadas planas corresponde a 9 492 435 m N, 674 299 m E, hasta 9 492 552 m N, 674 328 m E, a una altitud de 1762 a 1805 msnm.

Geológicamente la zona de estudio se encuentra en la formación Sacapalca caracterizada por toba andesítica, andesitas. La temperatura oscila entre los 34.8°C en la parte más baja en las parroquias El Ingenio y 27 de abril, hasta los 10°C en la cordillera con la que se limita con la provincia de Zamora Chinchipe. Época lluviosa de octubre a marzo. La clasificación taxonómica USDA corresponde a un Ustorthents (PDOT del cantón Espíndola, 2015).

Ubicación política, geográfica y características biofísicas del sector Pueblo Nuevo

La zona de estudio está ubicada dentro de la hacienda EL CRISTAL que se encuentra en la provincia de Loja, cantón Loja, Parroquia Malacatos, entre los barrios de Pueblo Nuevo y Tres Leguas. La entrada principal a la hacienda se encuentra a 4 km aproximadamente de la entrada al Sendero la Cascarilla, vía Malacatos. La ubicación geográfica en las coordenadas planas corresponde a 9 544 493 m N, 700 429 m S, a una altitud de 2071 msnm.

Geológicamente la zona de estudio se encuentra en la formación Rocas Metamórficas Indiferenciadas, caracterizada por lutitas, filitas, cuarcitas, esquistos e intrusivas, areniscas, limonita y tobas, esta formación ocupa la toda la zona de estudio. Según Koppen, (1936) posee un clima tropical húmedo, cuenta con temperaturas promedio anual de 18 °C, con precipitaciones anuales de 1200 mm. La clasificación taxonómica preliminar USDA de suelo Kandiodults (Ultisol).

3.2. Localización del ensayo de evaluación biológica

El ensayo se instaló con las muestras de los sectores de estudio, en el invernadero ubicado en la Quinta Experimental la Argelia de la Universidad Nacional de Loja, la misma que está ubicada a 3 km al sur de la ciudad de Loja, en las coordenadas planas 9554 004,92m N, 699 868,76m E a una altitud de 2 139 msnm.

3.3. Materiales y equipos

216 tarrinas de plástico de 700ml, 216 vasos de plásticos de 250 ml, semillas de tomate riñón (variedad Floradade), fundas de papel y plástico, recipientes de plástico de 20 l, barreno, baldes, tejido nylon, muestras de suelo, cilindros Kopecky de 100 cm³, probeta de 500 y 1000 ml, pipetas de 5 y 10 ml, GPS, balanza de precisión 0.1 g, estufa.

3.4. Metodología

3.4.1. Caracterización física y química de las unidades de suelos

En cada uno de los sectores seleccionados, de acuerdo al material parental se procedió a evaluar la disponibilidad de nutrientes para los suelos del Sector Consapamba y Pueblo Nuevo.

En cada unidad de suelos reconocida se realizó una calicata de 1,20 m de profundidad, en la que se describió cada uno de los perfiles del suelo, basándose en las normas contenidas en la “Guía y Claves para la Descripción de Perfiles de Suelos” de La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura 2009. La designación de los horizontes y capas se realizó siguiendo la nomenclatura contenida en el USDA Soil Taxonomy (2014).

Se recolecto muestras alteradas para los dos sectores, hasta una profundidad de 25 cm, y se envió a realizar el análisis químico de los suelos seleccionados donde se determinó: $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$, elementos disponibles (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Mn, Fe, B, Zn), capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica, materia orgánica tanto en el Laboratorio de Suelos, Foliare y Aguas AGROCALIDAD.

En cada perfil del suelo se tomaron muestras inalteradas por duplicado de los dos horizontes superiores, con los anillos Kopecky de 100 cm³, para la determinación de: porosidad total, capacidad de campo a una presión de 1/10 y 1/3 de atmosfera, punto de marchitez permanente y la densidad aparente.

En cada sector de estudio, se determinó la infiltración en un lugar representativo aproximadamente a una distancia de 1 a 2 m de cada perfil del suelo, mediante el método del doble anillo, durante el tiempo necesario hasta alcanzar la infiltración básica.

3.4.2. Evaluación biológica de la fertilidad del suelo

Diseño experimental del Sector Consapamba

Se utilizó el diseño de bloques completamente al azar, con 36 tratamientos (3 x 12) y con tres repeticiones, con las siguientes especificaciones técnicas: número total de plantas 108, número de unidades de uso de suelos 1, número de tratamientos de soluciones 12; cada muestra es extraída a una profundidad de 25 cm.

Tabla 3. Descripción de factores y niveles de estudio dentro del diseño de bloques al azar del Sector Consapamba.

FACTOR	NIVELES	
A. Soluciones Nutritivas	Solución nutritiva completa	(SC)
	Solución nutritiva menos	(-N)
	Solución nutritiva menos	(-P)
	Solución nutritiva menos	(-K)
	Solución nutritiva menos	(-Mg)
	Solución nutritiva menos	(-S)
	Solución nutritiva menos	(-Zn)
	Solución nutritiva menos	(-Cu)
	Solución nutritiva menos	(-Mn)
	Solución nutritiva menos	(-B)
	Solución nutritiva menos	(-Fe)
	Testigo	
B. Pendiente	Pendiente del 15%	
	Pendiente del 20%	
	Pendiente 20%, bajo el canal de riego	

Especificaciones del ensayo.

- Número total de unidades de uso de suelo: 3
- Número de niveles soluciones: 12
- Número total de unidades experimentales: 108
- Número de repeticiones: 3
- Número total de plantas: 108

Modelo aditivo lineal.

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

y_{ij} = Una observación cualquiera bajo el efecto del tipo de pendiente del terreno, soluciones nutritivas.

μ = medida general del experimento.

α_i = es el efecto del i-ésimo nivel del factor soluciones nutritivas.

β_j = es el efecto del j-ésimo nivel del factor uso del suelo.

ϵ_{ij} = efecto de error experimental para el componente interacción

Diseño experimental del Sector Pueblo Nuevo

Se utilizó el diseño de bloques completamente al azar, con 36 tratamientos (3 x 12) y con tres repeticiones, con las siguientes especificaciones técnicas: número total de

plantas 108, número de unidades de uso de suelos 1, número de tratamientos de soluciones 12; cada muestra es extraída a una profundidad de 25 cm.

Tabla 4. Descripción de factores y niveles de estudio dentro del diseño de bloques al azar del Sector Pueblo Nuevo.

FACTOR	NIVELES	
A. Soluciones Nutritivas	Solución nutritiva completa	(SC)
	Solución nutritiva menos	(-N)
	Solución nutritiva menos	(-P)
	Solución nutritiva menos	(-K)
	Solución nutritiva menos	(-Mg)
	Solución nutritiva menos	(-S)
	Solución nutritiva menos	(-Zn)
	Solución nutritiva menos	(-Cu)
	Solución nutritiva menos	(-Mn)
	Solución nutritiva menos	(-B)
	Solución nutritiva menos	(-Fe)
	Testigo	
B. Zonificación	Zona 1	
	Zona 2	
	Zona 3	

Especificaciones del ensayo.

- Número total de unidades de uso de suelo: 3
- Número de niveles soluciones: 12
- Número total de unidades experimentales: 108
- Número de repeticiones: 3
- Número total de plantas: 108

Modelo aditivo lineal.

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

y_{ij} = Una observación cualquiera bajo el efecto del tipo de pendiente del terreno, soluciones nutritivas.

μ = medida general del experimento.

α_i = es el efecto del i-ésimo nivel del factor soluciones nutritivas.

β_j = es el efecto del j-ésimo nivel del factor uso del suelo.

ϵ_{ij} = efecto de error experimental para el componente interacción

Variables evaluadas. Altura de planta (cm) y peso de materia seca (gr) de la planta de tomate.

Preparación de soluciones nutritivas. En la Tabla 5 y 6 se indican los tipos de sales y las cantidades expresadas en gramos para la preparación de las soluciones madres (1N) de los macro y micro elementos.

Tabla 5. Tipos de sales y las cantidades expresadas en gramos para preparar las soluciones madres 1N de los macro elementos

Sales utilizadas	Peso molecular(g)	Cantidad de 1 L Sol 1N (g/l)
Ca (NO ₃) ₂ . 4H ₂ O	236	118
KNO ₃	101	101
KH ₂ PO ₄	136	136
NaH ₂ PO ₄	120	120
K ₂ SO ₄	174	87
MgSO ₄ .7H ₂ O	246	123
MgCl ₂ .6H ₂ O	202	101
CaCl ₂ .6H ₂ O	218	109
NaCl	58	58

Tabla 6. Concentración de la solución madre y cantidades de sales expresadas en gramos para la solución madre de micronutrientes.

Sales	g l⁻¹	ppm solución madre	ml l⁻¹	ppm solución nutritiva
MnCl ₂ . 4H ₂ O	1,81	500	1	0,5
H ₃ BO ₃	2,86	500	1	0,5
ZnSO ₄ . 7H ₂ O	0,22	50	1	0,05
CuSO ₄ . 5H ₂ O	0,16	40	1	0,04
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ . 4H ₂ O	0,04	20	1	0,02
NaFe – EDTA	32.75	5000	1	5,00

Después de la preparación de las soluciones madre, en la Tabla 7 se presenta los volúmenes de soluciones madre en ml para preparar 1 l de soluciones nutritivas.

Tabla 7. Volúmenes de las soluciones madre que se necesita para 1l en las diferentes soluciones nutritivas

Solución stock	Mililitros de soluciones madre que se debe adicionar										
	SC	-N	-P	-K	-Mg	-S	-Zn	-Cu	-Mn	-B	-Fe
Ca (NO ₃) ₂ . 4H ₂ O	6,0	-	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
KNO ₃	2,0	-	2,0	-	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
KH ₂ PO ₄	2,0	2,0	-	-	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
NaH ₂ PO ₄	-	-	-	2,0	-	-	-	-	-	-	-
K ₂ SO ₄	-	2,0	2,0	-	1,0	-	-	-	-	-	-
MgSO ₄ . 7H ₂ O	1,5	1,5	1,5	1,5	-	-	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
MgCl ₂ . 6H ₂ O	-	-	-	-	-	1,5	-	-	-	-	-
CaCl ₂ . 6H ₂ O	-	6,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NaCl	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
NaFe-EDTA	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-
MnCl ₂ . 4H ₂ O	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-	1,0	1,0
H ₃ BO ₃	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-	1,0
ZnSO ₄ . 7H ₂ O	1v	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-	1,0	1,0	1,0	1,0
CuSO ₄ . 5H ₂ O	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-	1,0	1,0	1,0
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ . 4H ₂ O	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Preparación de las muestras de suelo. Se secaron al aire y sin contacto directo al sol, bajo un ambiente de cubierta libre de impurezas.

Preparación de los recipientes. En los vasos plásticos de 250 ml, se recortó la base y se sustituyó un pedazo de tejido nylon sujetado con cinta y liga delgada, con la finalidad de soportar los 200 g de suelo y para que las raíces de las plantas puedan atravesar hacia la solución nutritiva.

En las tapas de las tarrinas de 700 ml, se hizo un recorte en forma circular del tamaño del diámetro de los vasos que contienen el suelo.

Instalación del experimento. Se etiquetó la tarrina y el vaso con sus respectivas repeticiones, siendo cada tarrina la unidad básica. En las tarrinas se añadió 600 ml de solución nutritiva como: solución nutritiva completa, la misma que contiene 5 macro (N, P, K, Mg, S) y 5 micro elementos (Fe, Mn, Zn, B, Cu); solución nutritiva menos nitrógeno, solución nutritiva menos fósforo, solución nutritiva menos potasio, solución nutritiva menos magnesio, solución nutritiva menos azufre, solución nutritiva menos hierro, solución nutritiva menos manganeso, solución nutritiva menos zinc, solución nutritiva menos boro, solución nutritiva menos cobre; contienen los macro y micro elementos menos el elemento señalado, luego se colocó la tapa perforada y se introduce

en el vaso plástico que contiene los 200 g de suelo, y asegurar que el vaso este en contacto con la solución nutritiva a una profundidad de 1 cm.

Siembra y raleo de la planta indicadora. En cada vaso se sembró tres semillas de tomate (variedad Floradade), previamente se dejó un tiempo de 24 horas para que la solución nutritiva por efecto de capilaridad ascienda y humedezca todo el suelo, esto sucederá siempre que el nivel del agua de la tarrina este en contacto con el vaso, 15 días después de la germinación se realizó el raleo, se deja una planta por vaso.

Reposición de la solución nutritiva. Se realizó la reposición de la solución nutritiva de acuerdo a la evapotranspiración del cultivo durante los 60 días del ensayo.

Registro del crecimiento y peso seco de la planta. Se registró la altura de las plantas por cada tratamiento a los 55 y 60 días después de la germinación luego de la última medición se corta a nivel del cuello separando la parte aérea de la raíz, luego se coloca en la estufa a 60°C durante cuatro días para determinar la biomasa seca.

3.4.3. Establecer la correspondencia entre la evaluación biológica y los análisis químicos de laboratorio:

Se realizó la correspondencia de los nutrientes entre el análisis químico en base a la interpretación de la Tabla 8 y la evaluación biológica (altura y biomasa seca) en base a la Tabla 9.

Tabla 8. Interpretación de resultados - región Costa y Amazonia

Elemento	Unidades	Parámetro		
		Bajo	Medio	Alto
N	%	0-0,15	0,16-0,30	>0,31
P	mg kg ⁻¹	0-10	11-20	>21
K	cmol kg ⁻¹	<0,2	0,2-0,38	>0,4
Ca	cmol kg ⁻¹	<5	5-9	>9,0
Mg	cmol kg ⁻¹	<1,6	1,6-2,3	>2,3
Fe	mg kg ⁻¹	0-20	21-40	>41
Mn	mg kg ⁻¹	0-5,	6,0-15	>16
Cu	mg kg ⁻¹	0-1	1,1-4	>4,1
Zn	mg kg ⁻¹	0-3	3,1-6	>6,1
B	mg kg ⁻¹	<1	1-2	>2,1
S	mg kg ⁻¹	<12	12-24	>24

Tabla 9. Interpretación de valores de altura y biomasa de la planta indicadora

Valor	Parámetro
< 33 %	Bajo
33-66 %	Medio
> 66 %	Alto

Fuente: Miguel Villamagua, comunicación personal, 2019.

3.4.4. Elaborar plan de fertilización

Se definió las cantidades y tipos de fertilizantes a aplicar, basándose en los nutrientes disponibles en el suelo de acuerdo a la evaluación biológica, requerimientos del cultivo, eficiencia de los fertilizantes y la relación de cationes determinados por los análisis químicos, para el cultivo de café siendo Ca/Mg: 2.6-8 cmol kg⁻¹; Mg /K: 7,5-15 cmol kg⁻¹; (Ca+Mg)/K 27.5-55 cmol kg⁻¹.

4. Resultados y Discusión

4.1. Características morfológicas, físicas, químicas y de fertilidad del suelo en el sistema agroforestal con café de Consapamba

La vegetación del sistema agroforestal de Consapamba está compuesta de; Banano, Porotillo, Guabo, Higuierilla, Mango, Pico-Pico, Aguacate y Café.

4.1.1. Suelo del sistema agroforestal con café, en pendiente del 15 %

Características morfológicas. Suelo formado a partir de dos procesos y materiales parentales. En la parte superior (hasta los 65 cm) el material parental es de andesita coluvional, donde se identifica un horizonte Ap de 12 cm de espesor, pardo oscuro con raíces finas y muy finas, comunes; un horizonte Bw de 10 cm de espesor, pardo muy oscuro con 50 % de piedras y gravas angulares, y recubrimientos delgados de arcilla y humus; una capa CR con 95 % de piedras de 10 a 15 cm de diámetro de aristas vivas, con muy pocas raíces. En la parte inferior, se encuentra la capa denominada 2C, de 55 cm de espesor, de textura fina, masivo, sin raíces, formada a partir de la roca subyacente, que posiblemente es andesita. El drenaje interno es bueno, las raíces son abundantes en los 12 cm superiores (Anexo 1).

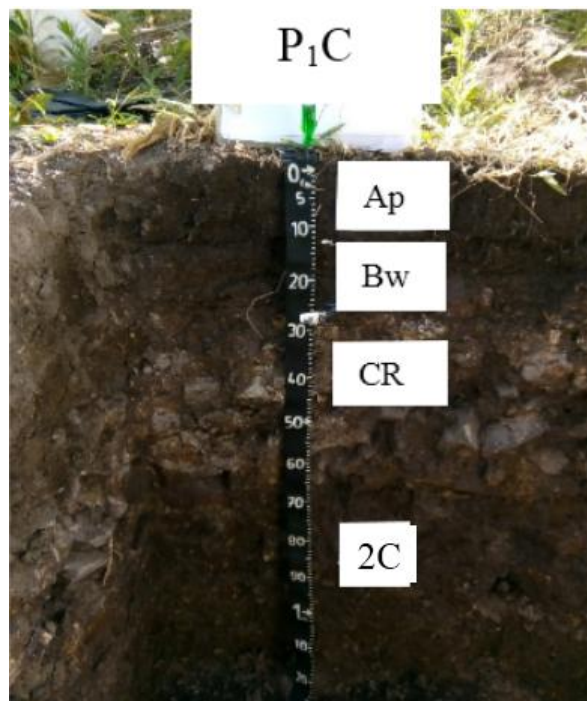


Figura 2. Perfil 1. Sector Consapamba

Características Físicas. En el SAF con café pendiente del 15 %, el AA se encontró en un rango muy alto (39 %), debido a que está en función de la textura, la capacidad de aireación (CA), se ubicó en un rango bajo (5,1 %); lo que indica que posee una condición física de clase muy pobre, ocasionado probablemente por la textura de Franco arcilloso y su bajo contenido de MO (Tabla 10).

Fertilidad Actual. El contenido elementos disponibles en las capas de 00-25 cm, según los resultados de los análisis químicos, utilizando el método de Olsen Modificado se encuentran en un rango alto el P, K, Mg, y Fe; en medio el Zn, Cu, Mn; y bajo para N, S, y B (Anexo 11).

4.1.2. Suelo del sistema agroforestal con café, en pendiente del 20 %

Características morfológicas. Suelo formado por dos depósitos. El depósito superior hasta los 55 cm, corresponde a un material coluvial pedregoso con aristas pronunciadas de 2 a 7 cm de diámetro. El segundo material es arcilloso hasta los 130 cm de profundidad. En el material coluvial se identifican tres horizontes: Ap de 12 cm de espesor con abundantes raíces muy finas, finas y medias; AE de 15 cm de espesor con alrededor del 30 % de grava; con pocas raíces finas y medias. El horizonte Bt presenta recubrimientos delgados de arcilla y humus iluvial; raíces muy pocas y muy finas. El horizonte 2C es de textura fina, masivo, sin raíces. El drenaje interno es bueno (Anexo 2).

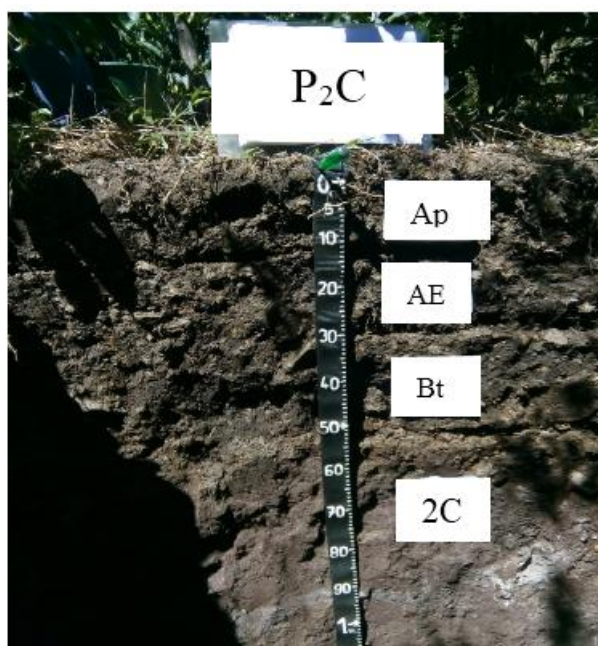


Figura 3. Perfil 2. Sector Consapamba

Características Físicas. En el suelo del SAF con café, pendiente en 20 % el agua aprovechable se encontró en un rango muy alto (32,7), debido a que el AA está en función de la textura, la capacidad de aireación (CA), se ubicó en un rango bajo (5,1); lo que indica que posee una condición física de clase muy pobre, ocasionado probablemente por la textura de Franco arcillo arenoso y su bajo contenido de MO (Tabla 10).

Características Químicas. La reacción del suelo se encontró en el rango prácticamente neutro (pH 7,09), la acidez intercambiable ($H^+ + Al^{3+}$) (0,34), y aluminio intercambiable (A^{3+}) (0,24), corresponden a un rango bajo. El contenido de la CIC es bajo y la saturación de bases se encuentra saturada (Tabla 13).

Según Padilla (2007), la CIC de un suelo puede estar completamente saturada, con casi todos los sitios de intercambio llenos con bases intercambiables (Ca, Mg, K, etc.). Este es el caso general encontrado en regiones áridas, donde el lavado de las bases no ocurre o puede presentarse también en suelos recién encalados ya sea con fuentes calizas o dolomíticas

Fertilidad Actual. Según los resultados de los análisis químicos, el P, Mg y Fe se encuentra en el rango alto; el K, Cu y Mn en el rango medio; y, el N, S, Zn, y B con contenidos bajos. Además, en esta capa se encuentra un contenido de materia orgánica bajo los contenidos de los elementos disponibles (Anexo 11).

4.1.3. Suelo del sistema agroforestal con café, en pendiente del 20 % bajo el canal de riego

Características Morfológicas. Suelo formado por material coluvial en procesos secuenciales de acumulación de material fino proveniente de las partes superiores. La capa de coluvión se encuentra entre 90 y 130 cm de profundidad, con el 40 % de piedras y gravas angulares de 5-15 cm de diámetro. Se observan características vérticas con caras lustrosas en el horizonte Bw de color oscuro. La división entre Ap y Bw se realizó por criterio de laboreo. Las raíces muy pocas y finas se observan hasta los 90 cm. A 130 cm de profundidad resume agua proveniente del canal de riego (Anexo 3).

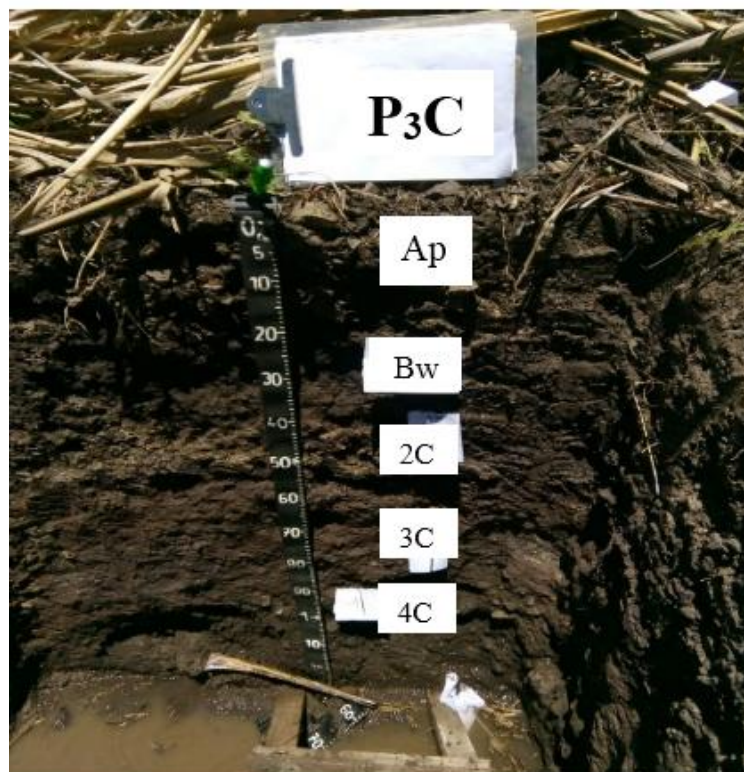


Figura 4. Perfil 3. Sector Consapamba

Características Físicas. En el suelo del SAF con café en pendiente del 20 % bajo el canal de riego, el agua aprovechable se encontró en un rango muy alto (37,8), debido a que el AA está en función de la textura, la capacidad de aireación (CA), se ubicó en un rango bajo (5,5); lo que indica que posee una condición física de clase pobre, ocasionado probablemente por la textura de Franco arcillo arenoso y su bajo contenido de MO (Tabla 10).

Fertilidad Actual. Según los resultados de los análisis químicos, el P, Mg se encuentra en el rango alto; el K, Cu, Mn y Fe en el rango medio; y, el N, S, Zn, y B con contenidos bajos. Además, en esta capa se encuentra un contenido de materia orgánica bajo los contenidos de los elementos disponibles (Anexo 11).

Las características físicas de los suelos de clase textural franco arcilloso arenoso (FoAcAo), como es el caso del SAF con café de Consapamba (Tabla 8), se encuentran en el rango manifestado por Valarezo 1998 para; densidad aparente g cm^{-3} (Da) de 1,05 – 1,64; capacidad de campo % (CC) de 27,40 – 50,04; punto de marchitez permanente % (PMP) de 11,41 – 32,41; capacidad de aireación % (CA) de 1,13 – 26,57; agua aprovechable % (AA) de 12,25 – 17,63; zona muy pobre a media.

Tabla 10. Propiedades físicas del suelo en el sistema agroforestal con café del Sector Consapamba

Unidad de Da suelo (g cm ⁻³)	Condiciones físicas del suelo (% Θ_v)								Equivalencia			
	SS	CC	PPM	AA	CA	VS	VPFI	AA	CA	Zona	Clase	
Pendiente 15%	1.1	51.2	46.2	7.2	39.0	5.1	48.8	55.9	MA	B	I	MP
Pendiente 20%	1.2	50.5	45.4	12.7	32.7	5.1	49.5	62.2	MA	B	I	MP
Pendiente 20%, bajo riego	1.1	52.2	46.8	9.0	37.8	5.5	47.8	56.8	MA	B	II	P

MA: muy alto, MP: muy pobre, B: bajo, P: pobre

Tabla 11. Infiltración básica del agua en el suelo para el sector Consapamba

Uso de Suelo	Velocidad de infiltración básica (cm h ⁻¹)	Interpretación
SAF con café a pendiente del 15 %	8,5	Moderadamente rápida
SAF con café a pendiente del 20 %	11,08	Moderadamente rápida

El SAF con café pendiente del 15 %, presenta una velocidad de infiltración de 8,5 cm/h, y una clase textural franco arcilloso. Su contenido de arena y arcilla que presenta (Arena: 39 % - Limo: 28 % - Arcilla: 33 %). El SAF con café pendiente del 20 %, presenta una velocidad de infiltración de 11,08 cm/h, una clase textural franco arcilloso arenoso (Arena: 53 % - Limo: 19 % - Arcilla: 28 %), mayor por su alto contenido de arena.

4.2. Características morfológicas, físicas, químicas y de fertilidad del suelo en el sistema agroforestal con café de Pueblo Nuevo

4.2.1. Suelo del sistema agroforestal con café de Pueblo Nuevo

La vegetación del sistema agroforestal de Pueblo Nuevo está compuesta de un total de 1620 plantas ha⁻¹ identificadas comúnmente como: alisos y principalmente café.

Características Morfológicas. Suelo muy profundo (120 cm), constituido por las siguientes capas y horizontes: una ligera capa orgánica de 2-3 cm, que pertenece a un suelo mineral; un horizonte Ap de 8 cm de espesor, franco limoso; un horizonte AE de 20 cm de espesor, franco limoso; un horizonte Bt1 de 20 cm de espesor, franco arcillo limoso; un horizonte Bt2 de 20 cm de espesor, franco arcillo limoso, y un horizonte C de 50 cm de espesor, franco arcilloso. Sin presencia de manchas en los 4 primeros horizontes.

Las raíces son medianas, finas y muy finas se observan hasta los 70 cm de profundidad (Anexo 4).

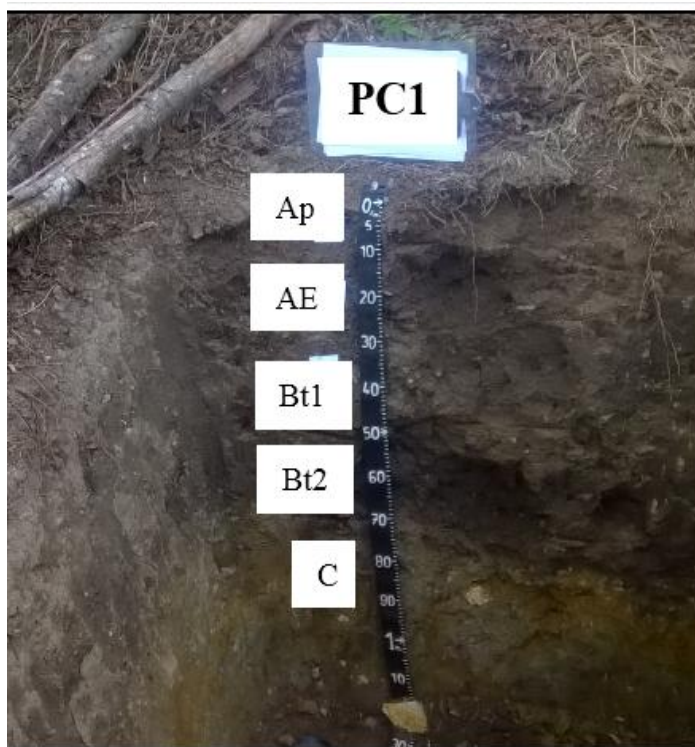


Figura 5. Perfil 1. Sector Pueblo Nuevo

Características Físicas. En el horizonte Ap (00-8 cm) el AA es 32.6 % (muy alto), la CA 5,0 (bajo), ubicado en la zona II, correspondiente a una situación pobre de las condiciones físicas del suelo para la planta. En el horizonte Ae (8–30 cm) el AA es 36 (muy bajo), la CA es 5,6 (bajo), ubicado en la zona II que corresponde a una situación pobre. La baja capacidad de aireación se debe probablemente a la textura del suelo que es Franco (Tabla 12).

Características Químicas. En las condiciones químicas, el valor de $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ de 4,54, se encontro en el rango ácido, la acidez cambiante intercambiable ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) y aluminio (Al^{3+}), corresponden a un rango tóxico, esta acidez permite una baja capacidad de intercambio catiónico CIC (7,19) y una menor disponibilidad de Ca, Mg y K (Tabla 13).

Existen diferentes factores, tanto naturales como antrópicos, que condicionan la magnitud e intensidad del proceso de acidificación de los suelos y, por ende, la aparición del aluminio en la solución del suelo. Entre estos factores están las altas precipitaciones que ocasionan la lixiviación de cationes intercambiables, el alto contenido de materia

orgánica (7,86 %), a pesar de ser menos peligroso, el humus último estado de degradación de los restos orgánicos contienen

grupos activos que se comportan como ácidos débiles y liberan iones de hidrógeno (Encina, 2016).

Fertilidad Actual. Según los resultados de los análisis químicos, el Cu, Fe se encuentra en el rango alto; el N, P, S, Mn en el rango medio; y, el K, Mg, Zn, B con contenidos bajos. Además, en esta capa se encuentra un contenido de materia orgánica bajo los contenidos de los elementos disponibles (Anexo 11).

Tabla 12. Propiedades físicas del suelo en el sistema agroforestal con café del Sector Pueblo Nuevo

Horizonte	Prof. (cm)	Da (g/cm ³)	Condiciones físicas del suelo (% Θ_v)							Equivalencia			
			SS	CC	PPM	AA	CA	VS	VPFI	AA	CA	Zona	Clase
Ap	8	1,2	47,2	42,2	9,6	32,6	5,0	52,8	62,4	MA	B	II	P
AE	30	1,2	54,4	48,8	12,7	36,0	5,6	45,6	58,3	MA	B	II	P

MA: muy alto, B: bajo, P: pobre

Tabla 13. Propiedades químicas de los suelos de los sistemas agroforestales con café de los sectores Consapamba y Pueblo Nuevo.

Sector	Prof (cm)	M.O.		cmol kg ⁻¹		pH		CIC	Cationes cambiabiles				SB %	Saturación de bases (%)		
		%	Al ³⁺ +H ⁺	Al ³⁺	H ₂ O	cmol kg ⁻¹				Ca	Mg	K				
						K	Ca		Mg					Na		
Consapamba	12	1,6	0,3	0,2	7,1	16,2	0,3	18,6	3,9	0,2	Sat.	80,7	16,7	1,3		
Pueblo Nuevo	8	7,9	4,2	2,1	4,5	7,2	0,5	1,9	0,8	0,1	44,8	35,3	14,5	8,5		

Tabla 14. Velocidad de infiltración básica del agua del suelo del sector Pueblo Nuevo

Uso de Suelo	Velocidad de infiltración básica (cm h ⁻¹)	Interpretación
SAF con café y alisos	2,7	Media

En el suelo con pendiente del 40 % el valor de velocidad de infiltraciones es de 2,74 cm/h la misma que se la cataloga como media en la cual es muy beneficiosa implantar y continuar con los cultivos establecidos en el lugar ya que el desarrollo del mismo es muy factible.

4.3. Evaluación biológica de la fertilidad actual

4.3.1. Altura y producción de biomasa de la planta indicadora del suelo del sistema agroforestal con café del sector Consapamba

Altura de la planta. La altura promedio de la planta indicadora, oscila entre 13 cm para el testigo y 68 cm para la SC, con un coeficiente de variabilidad del 3 %.

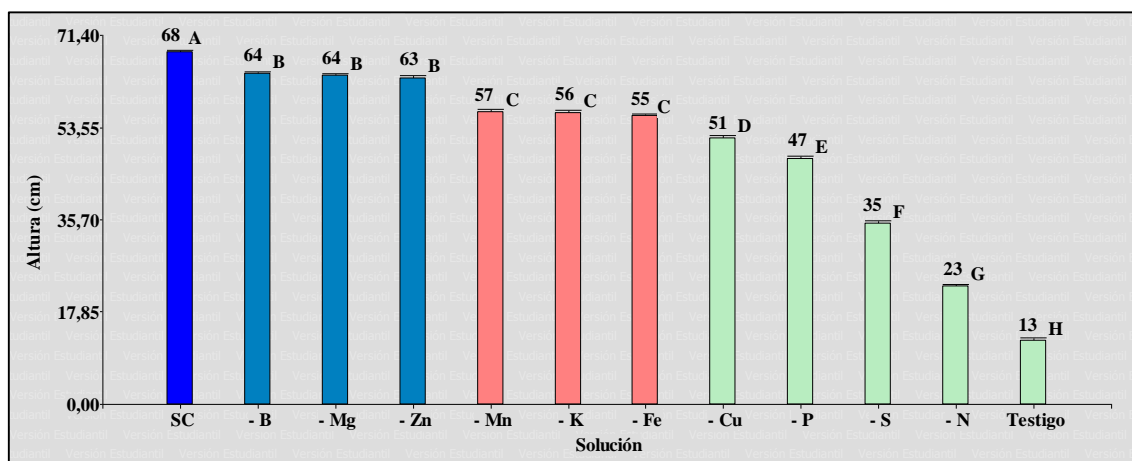


Figura 6. Promedio de altura de la planta de tomate (cm) y prueba de Tukey al 5 % a los 60 días de edad, para el factor solución

La altura de planta en la SC aumento significativamente en relación a las demás soluciones nutritivas en las que se ha suprimido uno de los elementos esenciales. La mayor altura de planta estadísticamente se encuentra en 68 cm que corresponde a SC, seguidos de B (64 cm), Mg (64 cm), Zn (63 cm), y los valores que están en rango medio son de: 57 cm (Mn), 56 cm (K), 55 cm (Fe). Por lo tanto, la menor altura de planta se encuentra en 51 cm (Cu), 47 cm (P), 35 cm (S), 23 cm (N).

Biomasa seca. En la Figura 7, los valores promedio de biomasa seca de la planta de tomate, los valores fluctúan entre 1 g para el testigo y 10 g para la SC, con una variabilidad en sus pesos de 2 %

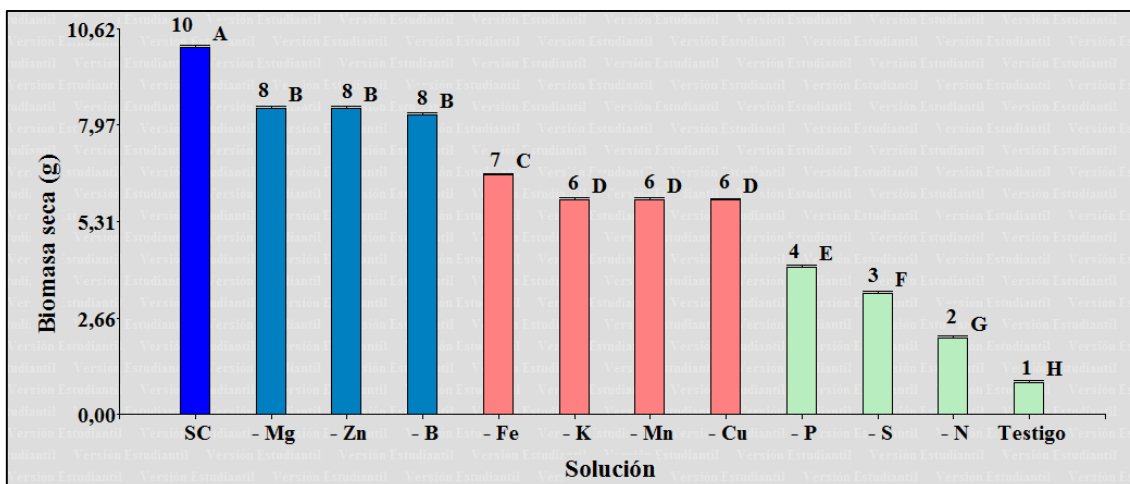


Figura 7. Promedio y prueba de Tukey al 5% de biomasa seca de la planta de tomate (g), para el factor soluciones

La biomasa seca de la planta en la SC aumento significativamente en relación a las demás soluciones nutritivas. La mayor biomasa seca de la planta se encuentra en 10 g que corresponde a SC, seguido de Mg, Zn, B con un valor promedio de 8 g, los valores que se encontraron en rango medio son de: 7 g, 6 g, 6 g, y 6 g para Fe, K, Mn, Cu respectivamente, y en el rango bajo se encuentra en 4 g (P), 3 g (S) y 2 g (N) (Figura 7).

En la figura 8, se puede evidenciar estadísticamente el mayor peso de materia seca representa la pendiente del 15% con una media de 7 g seguido de la pendiente del 20%, bajo el canal de riego con 6 g y la pendiente del 20%, resulto con el menor peso de 6 g, esta clasificación se deduce por la topografía del lugar y también porque a menor pendiente mayor disponibilidad de nutrientes.

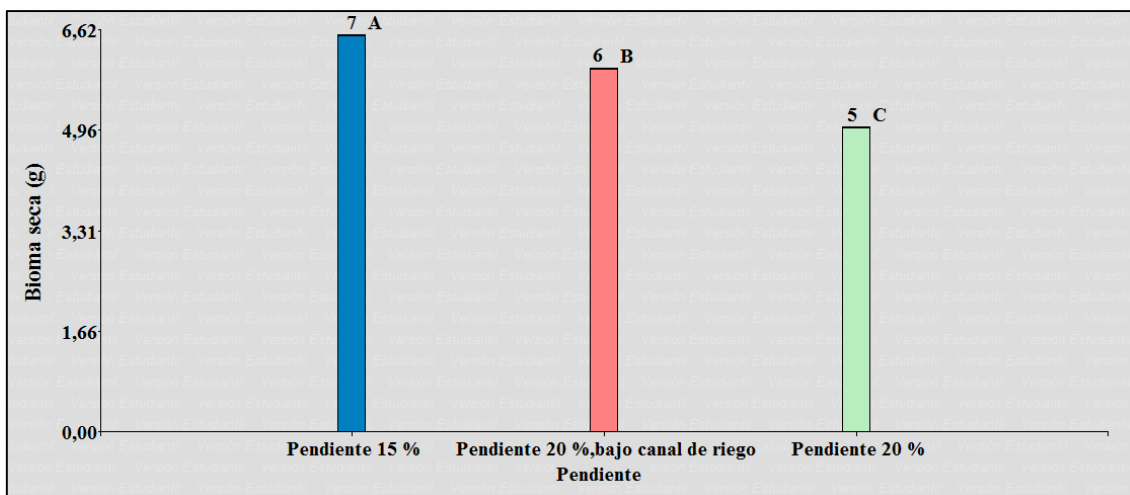


Figura 8. Promedio y prueba de Tukey al 5%, de biomasa seca de la planta de tomate (g), para el factor pendiente

4.3.2. Altura y producción de biomasa de la planta indicadora del suelo del sistema agroforestal con café del sector Pueblo Nuevo

Altura de la planta. La altura promedio de la planta indicadora, oscila entre 6 cm para el testigo y 73 cm para la SC, con un coeficiente de variación de 5 % (Figura 9).

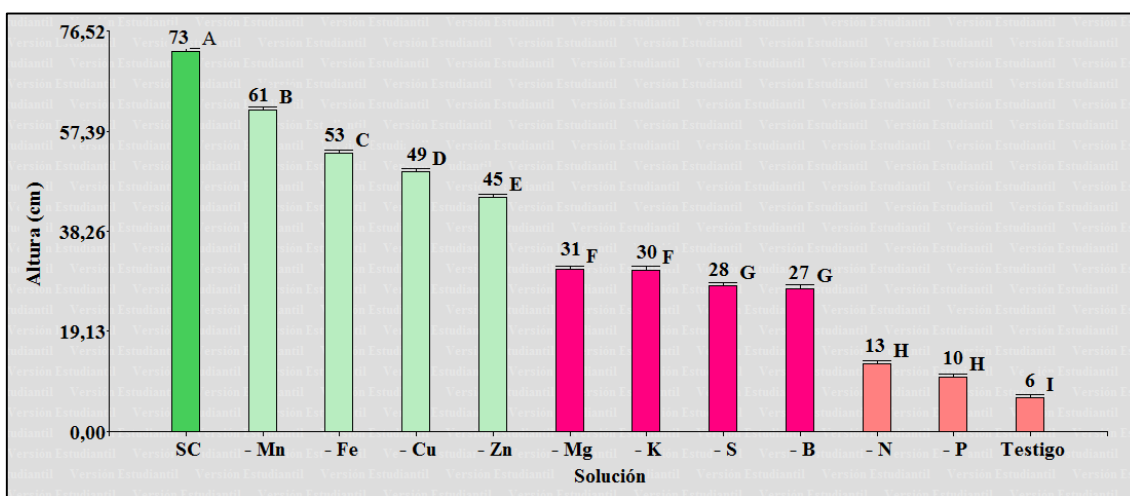


Figura 9. Promedio de altura de la planta de tomate (cm) y prueba de Tukey al 5 % a los 60 días de edad, para el factor solución

La altura de planta en la SC aumento significativamente en relación a las demás soluciones nutritivas en las que se ha suprimido uno de los elementos esenciales. La mayor altura de planta estadísticamente se encuentra en 73 cm que corresponde a SC, seguidos de Mn (61 cm), y los valores que están en rango medio son de: 53 cm (Fe), 49 cm (Cu), 45 cm (Zn). Por lo tanto, la menor altura de planta se encuentra en rango bajo

con 31 cm, 30 cm, 28 cm, 27 cm, que son Mg, K, S, B respectivamente y en rango muy bajo el N, P con valores de 13 y 10 cm respectivamente.

Biomasa seca. En la Figura 10, los valores promedio de biomasa seca de la planta de tomate, fluctúan entre 0,5 g para el testigo y 9 g para la SC, con un coeficiente de variación de 3,79 %.

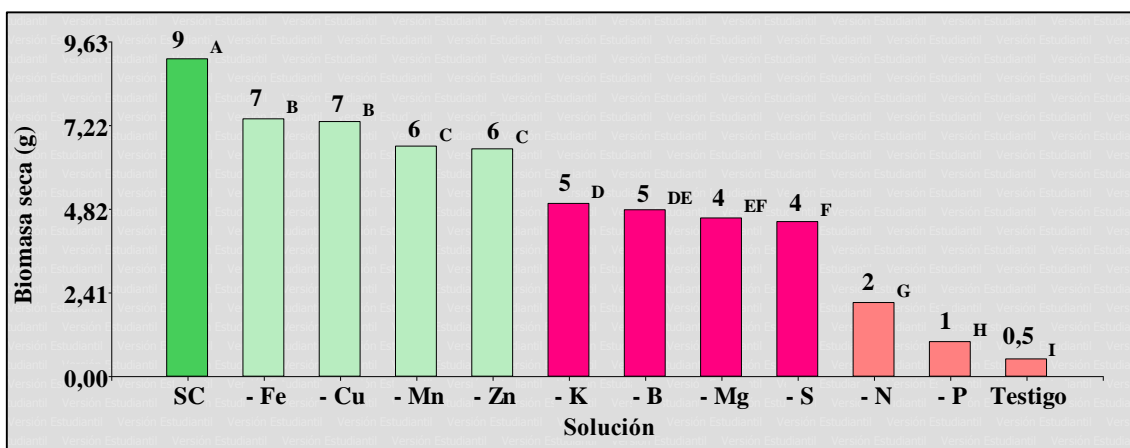


Figura 10. Promedio y prueba de Tukey al 5% de biomasa seca de la planta de tomate (g), para el factor soluciones

La biomasa seca de la planta en la SC aumento significativamente en relación a las demás soluciones nutritivas. La mayor biomasa seca de la planta se encuentra en 9 g que corresponde a SC, seguido de Fe, Cu, Mn, Zn con valores de 7 g, 7 g, 6 g y 6 g respectivamente valores que se encontraron en rango medio. Por lo tanto, el rango bajo se encuentra con 5 g, 5 g, 4 g, 4 g, que son K, B, Mg, S respectivamente y en rango muy bajo el N, P con valores de 2 y 1 G respectivamente.

En la figura 11, se puede evidenciar estadísticamente el mayor peso de materia seca representa la pendiente del 15% con una media de 7 g seguido de la pendiente del 20%, bajo el canal de riego con 6 g y la pendiente del 20%, resultado con el menor peso de 6 g, esta clasificación se deduce por la topografía del lugar y también porque a menor pendiente mayor disponibilidad de nutrientes.

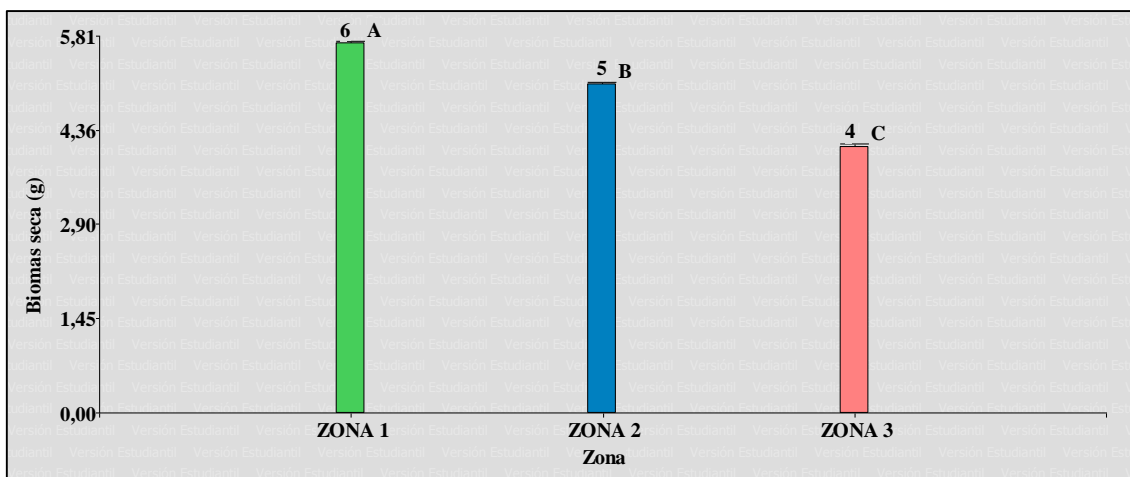


Figura 11. Promedio y prueba de Tukey al 5%, de biomasa seca de la planta de tomate (g), para el factor zona

Aspecto de la planta indicadora

La SC, contiene macro y micronutrientes para el desarrollo de las plantas, razón por la que alcanzaron mayor contenido de biomasa, con respecto a las carentes de un elemento.

Los síntomas de deficiencia fueron visibles en la planta indicadora tal como lo señala Thompson y Troeh 2004, un aspecto ahilado, raquítrico y pálido, la palidez se observó en las hojas viejas y, especialmente, a lo largo de las nerviaciones.

La deficiencia de fósforo ocasiona un desarrollo débil de la planta, causa que las hojas presenten nervios pocos pronunciados y de una coloración azul, verdosa con tintes bronceados o púrpuras, se presentan con frecuencia en las hojas viejas tal como lo manifiesta Iñiguez, 2007; estos síntomas se presentaron en la planta indicadora deficiente de este elemento. Los bajos contenidos de fósforo en el suelo son ocasionado por: extracción por cultivos, lixiviación, erosión y volatilización (Navarro y Navarro, 2013).

El azufre sus síntomas carenciales en general no son muy visibles. Los efectos de su carencia tienen tendencia a manifestarse en primer lugar en los órganos jóvenes que presentan una clorosis tal como lo manifiesta Aguilar, 2018; estos síntomas se presentaron en la planta indicadora deficiente de este elemento.

La absorción de zinc tiene lugar, predominante, como catión divalente Zn^{++} a niveles bajos de pH; como catión monovalente, $ZnOH^+$, lo hace a pH elevados; cantidades elevadas de otros cationes, como el Ca^{++} , inhibe su absorción (Agustí y Fonfría, 2010). Según este investigador los niveles de zinc para este sector son altos como catión

En suelos con pH alcalinos el manganeso se convierte en Mn^{3+} y Mn^{4+} , insoluble y difícilmente asimilable (Agustí y Fonfría, 2010).

En el Fe, los síntomas de deficiencia fueron visibles en la planta indicadora tal como lo señala Rodríguez y Flórez, 2004, las plantas desarrollan una clorosis intervenal pronunciada. Debido a que este elemento es poco móvil dentro de la planta, los síntomas de deficiencia aparecen en las hojas jóvenes de la parte superior de la misma

4.4 Correspondencia entre el análisis químico y la evaluación biológica

SAF con café, banano, fréjol de palo del sector Consapamba. En la Figura 12 se observa la correspondencia entre el peso de la materia seca de la evaluación biológica con la concentración del nutriente disponible del análisis químico a partir de la extracción con la solución de Olsen Modificada.

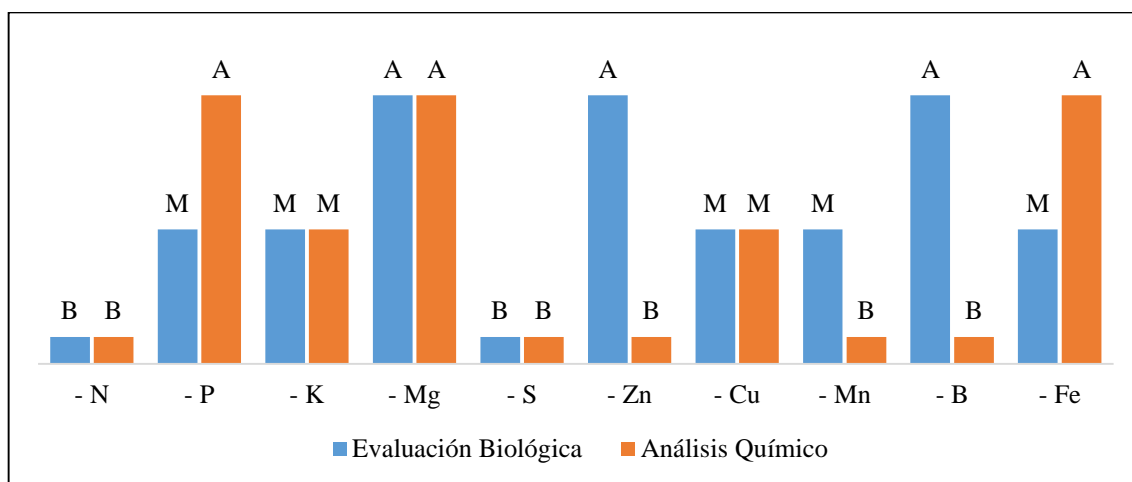


Figura 12. Correspondencia entre la evaluación biológica y el análisis químico del suelo del SAF con café del sector Consapamba

SAF con café, en pendiente del 15 %. El P, K, S, Zn, Cu, Mn y B no presentó correspondencia entre el peso de la materia seca de la evaluación biológica con la concentración del nutriente disponible del análisis químico a partir de la extracción con la solución de Olsen Modificada.

SAF con café, en pendiente del 20 %. El P, Zn, B y Fe no presentó correspondencia entre el peso de la materia seca de la evaluación biológica con la concentración del nutriente disponible del análisis químico a partir de la extracción con la solución de Olsen Modificada.

SAF con café, en pendiente del 20 %, bajo el canal de riego. El P, Zn, Cu, B y Fe no presentó correspondencia entre el peso de la materia seca de la evaluación biológica con la concentración del nutriente disponible del análisis químico a partir de la extracción con la solución de Olsen Modificada.

En la Tabla 15 se presenta los requerimientos del cultivo de café en producción para los SAF de Consapamba, en base a la correspondencia entre la evaluación biológica y el análisis químico (Figura 10); y, los requerimientos de macro y micro nutrientes de cafetales en producción propuesto por varios autores (Tabla 1), según Enríquez y Duicela 2014, para cafetales en crecimiento, hasta los 18 meses después de establecidos en el campo, se recomienda aplicar la mitad, para el fósforo se recomendó en las dos etapas la misma cantidad, debido a que es un elemento altamente deficiente según la evaluación biológica, el zinc se aplicó la dosis de bajo para no agotar la reserva de este nutriente.

Tabla 15. Requerimiento del cultivo para cafetales en producción del SAF con café en Consapamba

Elemento	Sistema agroforestal con café, banano, fréjol de palo					
	Pendiente 15 %		Pendiente 20 %		Pendiente 20 %, bajo el CR	
	Análisis químico	Evaluación biológica	Análisis químico	Evaluación biológica	Análisis químico	Evaluación biológica
N	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0
P	15,0	30,0	15,0	30,0	15,0	30,0
K	20,0	50,0	50,0	50,0	50,0	20,0
Mg	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
S	150,0	50,0	150,0	150,0	150,0	150,0
Zn	1,5	0,0	3,0	0,0	3,0	0,0
Cu	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,0
Mn	0,8	0,0	0,8	0,8	0,8	0,8
B	10,0	0,0	10,0	0,0	10,0	0,0
Fe	0,0	0,0	0,0	1,5	1,5	0,0

No hay correspondencia para P, Zn, Cu, B, Fe, entre el peso de la materia seca de la evaluación biológica con la concentración del nutriente disponible del análisis químico a partir de la extracción con la solución de Olsen Modificada, para el sector.

SAF con café del sector Pueblo Nuevo. En la Figura 13, se observa la correspondencia entre el peso de la materia seca de la evaluación biológica con la

concentración del nutriente disponible del análisis químico a partir de la extracción con la solución de Olsen Modificada.

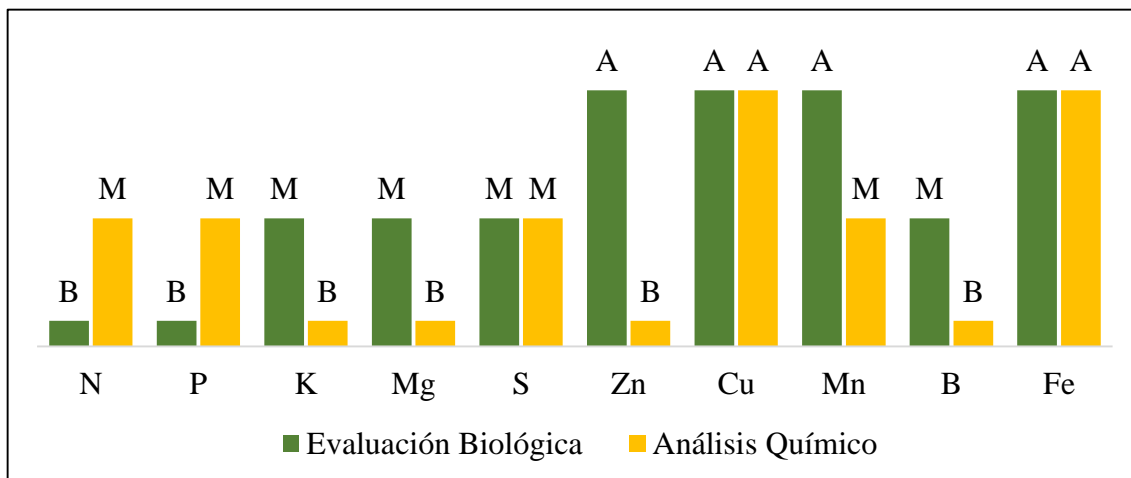


Figura 13. Correspondencia entre la evaluación biológica y el análisis químico para el suelo del SAF con café del sector Pueblo Nuevo

Zona 1. El N, P, K, Mg, Zn, Cu, Mn y B no presentó correspondencia entre el peso de la materia seca de la evaluación biológica con la concentración del nutriente disponible del análisis químico a partir de la extracción con la solución de Olsen Modificada.

Zona 2. El N, P, K, Mg, Zn, Mn y B no presentó correspondencia entre el peso de la materia seca de la evaluación biológica con la concentración del nutriente disponible del análisis químico a partir de la extracción con la solución de Olsen Modificada.

Zona 3. El N, P, K, Mg, Zn y B no presentó correspondencia entre el peso de la materia seca de la evaluación biológica con la concentración del nutriente disponible del análisis químico a partir de la extracción con la solución de Olsen Modificada.

En la Tabla 16 se presenta los requerimientos del cultivo de café en producción para el suelo del SAF de Pueblo Nuevo, en base a la correspondencia entre la evaluación biológica y el análisis químico (Figura 13); y, los requerimientos de macro y micro nutrientes de cafetales en producción propuesto por varios autores (Tabla 1), según Enríquez y Duicela 2014, para cafetales en crecimiento, hasta los 18 meses después de establecidos en el campo, se recomienda aplicar la mitad, para el fósforo se recomendó en las dos etapas la misma cantidad, debido a que es un elemento altamente deficiente

según la evaluación biológica, el zinc se aplicó la dosis de bajo para no agotar la reserva de este nutriente.

Tabla 16. Requerimiento del cultivo para cafetales en producción del SAF con café, en Pueblo Nuevo

Elemento	Sistema agroforestal con café					
	Zona 1		Zona 2		Zona 3	
	Análisis Químico	Evaluación Biológica	Análisis Químico	Evaluación Biológica	Análisis Químico	Evaluación Biológica
-N	100,0	200,0	100,0	200,0	100,0	200,0
-P	30,0	60,0	30,0	60,0	30,0	60,0
-K	20,0	50,0	20,0	50,0	20,0	50,0
-Mg	80,0	60,0	80,0	60,0	20,0	60,0
-S	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
-Zn	3,0	0,0	3,0	0,0	3,0	1,5
-Cu	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
-Mn	1,5	0,0	1,5	0,0	0,8	0,8
-B	10,0	5,0	10,0	5,0	10,0	5,0
-Fe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

El N, P, K, S, Mg, Zn, Mn y B no presentó correspondencia entre el peso de la materia seca de la evaluación biológica con la concentración del nutriente disponible del análisis químico a partir de la extracción con la solución de Olsen Modificada, para el sector.

4.5. Fertilización para los cafetales

Si el contenido de nutrientes requerido por la planta es bajo, indica que las dosis de fertilización de macro y micronutrientes se deben programar anualmente. Los nutrimentos pueden proporcionarse aplicando diferentes fertilizantes, para este caso se calculo en base a los disponibles en el mercado y a los costos, estos fertilizantes fueron: sulfato de potasio, urea, kieserita, 18-46-0 (DAP), Sulfato de zinc, borax y para encalar cal agricola, en el anexo 12, se muestra el porcentaje de nutrimento que presenta cada fertilizante.

4.5.1. Fertilización para el sector Consapamba

Para suplir los requerimientos del cultivo de café de N: 200; P:30; K:50; Mg:20; S:150; Zn:3; B:5; kg ha-1, para los dos sectores.

Tabla 17. Cálculo del CICE del suelo, sector Consapamba

B. Intercambiables	cmol kg⁻¹	cmol kg⁻¹	TOTAL
Ca⁺⁺	18,6	0,00	18,60
Mg⁺⁺	3,85	0,00	3,85
K⁺	0,31	0,11	0,42
Na⁺	0,05		0,05
Al⁺⁺⁺+H⁺	0,34		
Al⁺⁺⁺	0,24		
CICE 1	23,05	CICE 2	22,92

El pH del suelo del SAF con café, es de 7,09; es decir se encuentra en el rango óptimo. Cuando está en el rango adecuado para el café, no es necesario encalar sin embargo es importante poner en equilibrio la relación de cationes.

Tabla 18. Enmienda y relación de cationes en los rangos óptimos del suelo del sector Consapamba

Enmienda				Relación de cationes			
SB	Antes	Después	R. óptimo (%)	Antes	Agregar	Después	R. óptimo
Ca	81,0	81	(60-70)	Ca/Mg	4,83	4,8	2,6 -8
Mg	17,0	17	(15-25)	Mg/K	12,42	9,2	7,5-15
K	1,3	1,8	(5-10)	Ca+Mg K ⁻¹	72,4	K	53,9
							27,5-55

Al realizar la relación de cationes (Ca + Mg) K⁻¹, no está en el rango adecuado, se basó en la tabla 2, si la relación (Ca + Mg)/K es > a 55, se debe agregar K, para este caso se adicionó 0,11 meq de K, con este valor se aproxima la relación de cationes a los rangos óptimos, equivalente a 100 kg*ha⁻¹ de K, a través del sulfato de potasio se pretende suplir este elemento, que equivale a 964 kg*ha⁻¹, de este fertilizante, se lo plantea aplicar en dos años, al inicio de la época lluviosa del sector de estudio, en el anexo 15, indica el porcentaje de K que presenta este fertilizante.

Tabla 19. Fertilizantes recomendados para el cultivo de café en producción para el sector Consapamba

Fertilizantes	kg ha⁻¹	g planta⁻¹	U. de sacos ha⁻¹	V unitario (\$)	V total (\$)
DAP (18-46) (50 kg)	149,3	29,9	3,00	31	93,0
Urea (50 kg)	376,3	75,3	8,00	22	176,0
ZnSO ₄ (25 kg)	16,3	3,3	1,00	37	37,0
Borax (25 kg)	45,5	9,1	2,00	28	56,0
S. potasio (25 kg)	241,0	48,2	5,00	20	100,0
Kieserita	133,3	26,7	3,00	18,5	55,5
Total					517,5

Los contenidos en kg ha^{-1} de fertilizantes, se plantearon en base a los requerimientos del cultivo de café basado en la evaluación biológica Tabla 15, relación de cationes del cultivo, tabla 2, el costo por ha para corregir la baja fertilidad del suelo por ha en cafetales en producción el costo es de \$ 517,5; se debe señalar que la densidad de siembra de este sector se recomendó de 1,0 m entre planta por 2,0 m entre hilera.

Tabla 20. Plan de fertilización para cafetales en producción para el sector Consapamba

Fertilizantes	2019		2020				Total (kg ha^{-1})
	Dic		Ene	Feb	Mar	Abr	
	S1	S4	S4	S4	S4	S4	
DAP (18-46) (50 kg)	-	29,9	29,9	29,9	29,9	29,9	149,3
Urea (50 kg)	-	188,2	-	-	-	188,2	376,3
ZnSO ₄ (25 kg)	-	8,2	-	-	8,2	-	16,3
Borax (25 kg)	-	22,7	-	-	22,7	-	45,5
S. potasio (25 kg)	241,0	-	-	-	-	-	241,0
Kieserita	-	26,7	26,7	26,7	26,7	26,7	133,3
Total	241,0	275,6	56,5	56,5	87,4	244,7	961,7

El plan de fertilización se lo realizó considerando la época de invierno del sector Consapamba, que es de diciembre a abril, la aplicación de los fertilizantes se debe realizar alrededor de cada planta cada 30 días, en el caso del sulfato de potasio, se propone realizar la enmienda en la primera semana del mes de diciembre, en la cuarta semana de cada mes lluvioso aplicar los macronutrientes y cada 3 meses aplicar los micronutrientes, en los cafetales en producción.

Según Enríquez y Duicela, 2014, los abonos nitrogenados deben aplicarse fraccionados, en dos partes al inicio y al final de la época lluviosa.

4.5.2. Fertilización para el sector Pueblo Nuevo

Tabla 21. Cálculo de la CICE del suelo del SAF del sector Pueblo Nuevo

B. Intercambiables	meq 100 g ⁻¹	meq 100 g ⁻¹	Total
Ca ⁺⁺	1,88	5,25	7,13
Mg ⁺⁺	0,77	0,41	1,18
K ⁺	0,45	0,04	0,49
Na ⁺	0,12	-	0,12
Al ⁺⁺⁺ +H ⁺	4,16	-	8,93
Al ⁺⁺⁺	2,1	-	-
CICE 1	5,32	CICE 2	8,93

Según Enríquez y Duicela, 2014, indican que el pH adecuado para el café oscila entre 5,6 a 6,5; si el pH está por debajo de 5,4; se requiere encalar el suelo, según los requerimientos del cultivo, se recomienda aplicar cal agrícola al momento de plantar cafetos. La cal se debe aplicar en banda, bien esparcido que no entren en contacto en el cuello de los cafetos.

El pH del suelo del sector Pueblo Nuevo es de 4,5, para lo cual se recomienda aplicar por cada unidad de Al^{+3} ; 2,5 meq de Ca, es decir $2520 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de Ca, en el anexo 15, se presenta el valor del ingrediente activo de la cal agrícola a emplear.

Tabla 22. Enmienda y relación de cationes en los rangos óptimos del suelo del sector Pueblo Nuevo

SB	Enmienda				Relación de cationes			
	Antes	Después	R. óptimo		Antes	Agregar	Después	R. óptimo
Ca	35,34	79,87	(60-70)	Ca/Mg	2,44	Ca	6,0	(2,6 -8)
Mg	14,47	13,25	(15-25)	Mg/K	1,71	Mg	2,4	(7,5-15)
K	8,5	5,54	(5-10)	Ca+Mg K^{-1}	5,9	Ca - Mg	16,8	(27,52-55)

Al realizar la relación de cationes Ca/Mg; Mg/K; Ca+Mg/K, no está en el rango adecuado, basándose en la tabla 2, se debe agregar Ca y Mg, para suplir estos elementos se agregó kieserita y cal agrícola, en el anexo 15, indica el porcentaje de Mg y Ca que presentan estos fertilizantes.

Tabla 23. Fertilizantes recomendados para el cultivo de café en crecimiento para el sector Pueblo Nuevo

Fertilizantes	kg ha^{-1}	g planta $^{-1}$	U. de sacos ha^{-1}	V unitario (\$)	V total (\$)
Urea	100,5	20,1	2,0	23,0	46,2
18-46-0	298,7	59,7	6,0	34,0	203,1
ZnSO4	16,3	3,3	0,7	42,0	27,4
BORO	45,5	9,1	1,8	28,0	50,9
Sulopmag	314,2	62,8	6,3	34,0	213,6
Kieserita	600,0	120,0	12,0	18,5	222,0
Cal agrícola	2520,0	504,0	50,4	4,0	201,6
Total/ha					964,9

El contenido en g planta $^{-1}$ o kg ha^{-1} de fertilizantes, se realizó en base a los requerimientos del cultivo de café basados en la evaluación biológica, Tabla 16, relación de cationes del cultivo de café, Tabla 2 y en el análisis químico y biológico, el costo por

ha para corregir el pH y la baja fertilidad del suelo por ha en cafetales en crecimiento hasta los 18 meses, es de \$ 964,9. Cabe señalar que la densidad de siembra de este sector es de 1,0 m entre plantas y 2,0 m entre hilera.

Tabla 24. Plan de fertilización para cafetales en crecimiento para el sector Pueblo Nuevo

Fertilizantes	2019		2020							Total
	Oct		Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	
	S1	S4	S4	S4	S4	S4	S4	S4	S4	
Urea	-	50,3	-	-	-	-	-	-	50,3	100,5
18-46-0	-	37,3	37,3	37,3	37,3	37,3	37,3	37,3	37,3	298,7
ZnSO4	-	8,2	-	-	-	8,2	-	-	23,0	39,3
BORO	-	22,7	-	-	-	22,7	-	-	-	45,5
Sulopmag	314,2	-	-	-	-	-	-	-	-	314,2
Kieserita	600,0	-	-	-	-	-	-	-	-	600,0
Cal agrícola	2520,0	-	-	-	-	-	-	-	-	2520,0
Total/ha	3434,2	118,5	37,3	37,3	37,3	68,2	37,3	37,3	110,6	3918,1

El plan de fertilización se lo elaboro de acuerdo a la época de invierno del sector, que es de octubre a mayo, la aplicación de los fertilizantes se debe realizar alrededor de cada planta cada 30 días, en el caso de la cal agrícola la aplicación es por área (1,25 m²) de la planta, en la primera semana del mes de octubre se propone realizar la enmienda, en la cuarta semana de los meses lluviosos aplicar el 18-46-0, y cada 4 meses aplicar los micronutrientes, para los cafetales en crecimiento.

5. Conclusiones

En el suelo del SAF con café en Consapamba

Las condiciones físicas del suelo, se ubicó en la categoría de pobre a muy pobre; y la velocidad de infiltración en moderadamente rápida, y las propiedades químicas como el $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ es prácticamente neutro, la capacidad de intercambio catiónico en bajo, la saturación de bases saturada, la materia orgánica bajo.

En la evaluación biológica, el N, S, P resultaron ser los elementos más deficientes.

El P, Zn, Mn, B, Fe, no presentó correspondencia entre el peso de la materia seca de la evaluación biológica con la concentración del nutriente disponible del análisis químico.

Propuesta de aplicación de nutrientes para cafetales en producción: N:200; P:30; K:100; Mg:20; S:150; Zn:3; B:5; kg ha^{-1} .

En el suelo del SAF con café en Pueblo Nuevo

Las condiciones físicas del suelo en la capa 00 a 25 cm se ubicó en rango pobre; y la velocidad de infiltración en media, y las propiedades químicas como el $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ es ácido, la capacidad de intercambio catiónico bajo, la acidez y aluminio intercambiable, en tóxico, y la materia orgánica alta.

En la evaluación biológica, el P, N, Mg, S, K y B resultaron ser los elementos más deficientes.

El N, P, K, Mg, Zn, Mn y B no presentó correspondencia entre el peso de la materia seca de la evaluación biológica con la concentración del nutriente disponible del análisis químico.

Para incrementar el pH y neutralizar el Al^{3+} se propuso aplicar Cal agrícola 2520,0 kg ha^{-1} ; con una relación de cationes de Ca Mg^{-1} : 6,0; Mg K^{-1} : 2,4; (Ca+Mg) K^{-1} : 16,8 cmol kg^{-1} .

Propuesta de aplicación de nutrientes para cafetales en crecimiento: N:100; P:60; S:25; Zn:3; B:5; kg ha^{-1} .

6. Recomendaciones

Realizar el ensayo de la evaluación biológica en un ambiente controlado que no se contamine por infestación de plagas.

Para la realización de la evaluación biológica de la fertilidad de los suelos ácidos de los SAF con café, se debe corregir la acidez a fin de que facilite la determinación del P disponible.

7. Bibliografía

- Aguilar, B. (2018). El suelo de cultivo y las condiciones climáticas. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=Oen2AgAAQBAJ&pg=PT117&dq=La+cantidad+de+azufre+en+forma+asimilable+depende,+sobre+todo,+de+la+riqueza+de+humus+y+de+la+actividad+biol%C3%B3gica+de+los+suelos&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjbp7XGi43kAhVvg-AKHZeBPQQ6AEIKDAA#v=onepage&q=La%20cantidad%20de%20azufre%20en%20forma%20asimilable%20depende%2C%20sobre%20todo%2C%20de%20la%20riqueza%20de%20humus%20y%20de%20la%20actividad%20biol%C3%B3gica%20de%20los%20suelos&f=false>
- Aguirre, V. (2017). Evaluación química y biológica de la fertilidad de un suelo desarrollado sobre andesita en el sector San Vicente de la parroquia Chuquiribamba, cantón Loja. Universidad Nacional de Loja. Loja-Ecuador.
- Agustí, M., y Fonfría, M. A. (2010). Fruticultura. Mundi-Prensa Libros.
- Andradre, A. (2017). Análisis y perspectivas de las empresas ecuatorianas exportadoras de productos industrializados de café, periodo 2009-2015. (Tesis de grado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito.
- Aucatoma, B. (2017). Elaboración y caracterización de un material de referencia intercambio de suelos para los macro elementos P, K Ca y Mg extraídos con Olsen Modificado para análisis en suelos cañeros del orden inceptisol, entisol y vertisol de la cuenca baja del Ríos Guayas (Escuela Superior Politécnica del Litoral). Recuperado de <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/102821/DCD102872.pdf>
- Briceño, y Pacheco. (1984). Muestreo de Suelos. México: Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas.
- Cabalceta, G., y Molina, E. (2006). Niveles críticos de nutrimentos en suelos de Costa Rica utilizando la solución extractora Mehlich 3. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/436/43630203.pdf>
- Cango, T. (2018). Caracterización de la vegetación y el microclima en sistemas agroforestales café (*Coffea arabica* L.) en tres pisos altitudinales en la zona cafetalera Quilanga–Espíndola de la provincia de Loja. Universidad Nacional de Loja. Loja- Ecuador.
- Carrera, G. (2008). Avances de los resultados de la estandarización metodológica en la red de laboratorios de análisis de suelos del Ecuador (RELASE). Presentado en XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, Quito, Ecuador.
- Castillo, F. y Salinas, J. (2014). Correspondencia entre la evaluación química y biológica de la fertilidad actual de suelos de origen volcánico en dos unidades productivas

- de las provincias de Los Ríos y Esmeraldas. Universidad Nacional de Loja. Loja-Ecuador
- Castillo, J., y Villavicencio, P. (2015). Evaluación biológica y química. Universidad Nacional de Loja. Loja-Ecuador
- COFENAC, y Dublinsa, (2012). Mejoramiento genético y desarrollo de metodologías para la producción de café Robusta, en el trópico seco del litoral ecuatoriano. Portoviejo-Ecuador.
- Chávez, F. (2011). Determinación multielemental de macro y micronutrientes catiónicos en suelos por espectroscopía de emisión por acoplamiento de plasma inductivo y detección óptica ICP-OES (Pontificia Universidad Católica del Ecuador). Recuperado de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/4757/DISERTACI%C3%93N.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Chonay, J., Herrera, E., Sabaja, A., Carias, A., y Castillo, I. (2000). Evaluación de las soluciones extractoras en la fertilidad de los suelos para las regiones fisiográficas: llanura costera del Pacífico y pendiente volcánica reciente de Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Encina, A. (2016). Efectos nocivos del aluminio en el suelo. abc COLOR. Paraguay. Editorial AZETA. Recuperado de <https://www.abc.com.py/edicion-impresa/suplementos/abc-rural/efectos-nocivos-del-aluminio-en-el-suelo---prof-dr-arnulfo-encina-rojas--1509421.html>
- Enríquez, G., y Duicela, L. (2014). Guía técnica para la producción y poscosecha de café.
- FAO. (2017). Los fertilizantes y su empleo. Recuperado de [/factor-intensidad-de-los-nutrientes.html](#)
- García, G. y García, S. (2013). Química agrícola (Vol. 3). España: Mundi-Prensa.
- González, H. (2014). Ciencia, tecnología e innovación para la caficultura colombiana. Épocas recomendables para la fertilización de cafetales. Recuperado de <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/498/3/avt0442.pdf>
- Guerrero, M. (2017). Rendimientos de café grano seco en el Ecuador. Quito: Coordinación General del Sistema de Información Nacional-navarr de Agricultura y Ganadería.
- Ibáñez, J. (2008). ¿Qué es la Fertilidad del Suelo?: Fertilidad Física, Química y Biológica. Recuperado de <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/01/29/83481>
- INIAP. (1993). Manual del cultivo de café. Quevedo - Ecuador.
- Iñiguez, M. (2007). Fertilidad, Fertilizantes y fertilización del suelo. Loja: Universidad Nacional de Loja.

- Jaramillo, R. (2018). La red nacional de laboratorios de suelos refuerza calidad para productores ecuatorianos. Recuperado de <http://www.agrocalidad.gob.ec/laboratorios/>
- Koppen, W. (1936). Das geographische system der klimate. Berlin: Handbuch der Klimatologie, pp. 1-44.
- Mageningen, S. (1983). Curso de crecimiento de vegetales. 14.
- Navarro, G., y Navarro, S. (2013). Química Agrícola (tercera). España: Mundi-Prensa.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO. (s.f.). Propiedades Físicas y Químicas del Suelo. Obtenido de <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- Padilla, W. (2007). Manejo de la química y fertilidad de los suelos (4. a ed.). Clínica agrícola.
- Piedrahita, O. (2009). Acidez del suelo. Recuperado de http://www.nuprec.com/Nuprec_Sp_archivos/Literatura/Acidez%20del%20Suelo/Fuentes%20y%20efectos.pdf
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Espíndola. (2014). Sistemas Vinculados Al Desarrollo Integral. 10-42
- PROMIX. (2018). La función del manganeso en el cultivo de plantas. Recuperado de <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-funcion-del-manganeso-en-el-cultivo-de-plantas/>
- RELEASE. (2016). Informe de gestión correspondiente al año 2015. Recuperado de RELEASE website: [http://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/pdf/laboratorios/suelos-foliars-aguas/INFORME%20DE%20LA%20RED%20NACIONAL%20DE%20LABORATORIOS%20DE%20SUELOS%20\(RELEASE\)%20INFORME%20GESTI%C3%93N%202015.pdf](http://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/pdf/laboratorios/suelos-foliars-aguas/INFORME%20DE%20LA%20RED%20NACIONAL%20DE%20LABORATORIOS%20DE%20SUELOS%20(RELEASE)%20INFORME%20GESTI%C3%93N%202015.pdf)
- Roca, A. (s.f). Elementos del suelo esenciales para las plantas. InfoAgro. España. Recuperado de http://www.infoagro.com/abonos/elementos_suelo_esenciales_plantas.htm
- Rodríguez, M. y Floréz, V. (2004). Fertirriego - Elementos esenciales y Beneficiosos . Colombia – Bogotá.
- Rodríguez, h. R. (2011). Métodos de análisis de suelos y plantas. Criterios de interpretación. México: trillas.
- Sela, G. (2014). El Análisis Químico del Suelo - Evaluar la Disponibilidad de Nutrientes. SMART. Recuperado de <https://www.smart-fertilizer.com/es/articles/extraction-method>

- Serrano, E. (2017). Evaluación del efecto de dos Catalizadores en la absorción de nutrientes en cultivos de albahaca (*Ocimum basilicum*) en la finca San Alfonso, El Quinche, Pichincha. UDLA.
- Thompson, L. y Troeh, F. (2004). Los suelos y su fertilidad. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=AegjDhEIVAQC&pg=PA301&dq=el+nitrogeno+en+las+plantas&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiZ9vfhv4zkAhUPx1kKHcoCBKgQ6AEIMDAB#v=onepage&q=el%20nitrogeno%20en%20las%20plantas&f=false>
- Valarezo, C., Iñiguez, I., Valarezo, L., y Guaya, P., (1998). Condiciones físicas de los suelos de la región Sur del Ecuador (Universidad Nacional de Loja). Ecuador.
- Valarezo, C. (2014). Gestión de la fertilidad del suelo en el trópico húmedo, en la Región Amazónica Ecuatoriana bajo sistemas agroforestales. Universidad Nacional de Loja. CEDAMAZ Y PROMSA, Loja-Ecuador. p 27-29.
- Zhunaula, G. (2016). Evaluación química y biológica de la fertilidad actual de un suelo, desarrollado sobre andesita en el sistema de riego la Era, cantón Catamayo. Loja-Ecuador.

Anexos

Anexo 1. Descripción de perfiles de la unidad de suelo en el SAF con café, del sector Consapamba (Perfil 1).

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

“Efecto de la sombra y la densidad poblacional en el desarrollo del cafeto (*Coffea arabica* L.) en sistemas agroforestales en tres localidades de Loja”

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE PERFILES DE SUELOS

Código PIC Fecha: 23-08-2018 **Autores:** Carlos Valarezo y Miguel Villamagua. **Sitio** Consapamba

Altitud (m s.n.m.): 1805 **Coordenadas:** 674299 E 9 492435 N

Paisaje (montaña), **Tipo de relieve:** vertiente, **Forma del Terreno:** (pendiente alta), **Pendiente** 15 %

Uso Actual o cobertura vegetal: Café (2 años de edad) + banano+ fréjol de palo.

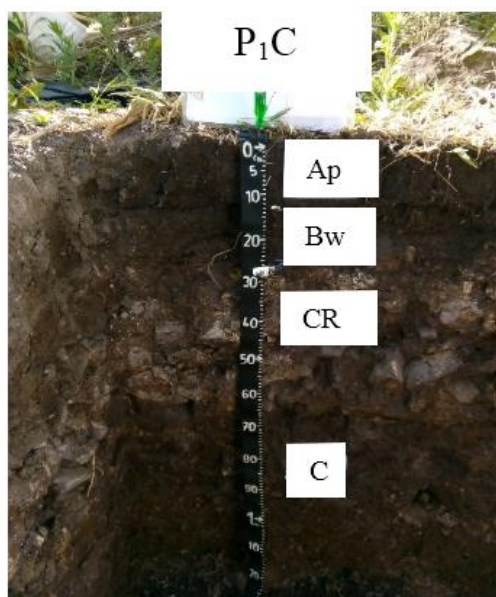
Condiciones de Humedad: (*húmedo*). **Pedregosidad superficial:** 0 %; Tamaño: cm

Afloramientos rocosos: No **Tipo Material parental:** andesita coluvional

Profundidad de la capa freática: No. fluctuación No cm

Presencia de Sales o Alcalis: Libre

Drenaje: Bueno



DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL

Suelo formado a partir de dos procesos y materiales parentales. En la parte superior (hasta los 65 cm) el material parental es de andesita coluvional, donde se identifica un horizonte Ap de 12 cm de espesor, pardo oscuro con raíces finas y muy finas, comunes; un horizonte Bw de 10 cm de espesor, pardo muy oscuro con 50 % de piedras y gravas angulares, y recubrimientos delgados de arcilla y humus iluvial; una capa CR con 95 % de piedras de 10 a 15 cm de diámetro de aristas vivas, con muy pocas raíces.

En la parte inferior, se encuentra la capa denominada 2C, de 55 cm de espesor, de textura fina, masivo, sin raíces, formada a partir de la roca subyacente, que posiblemente es andesita. El drenaje interno es bueno, las raíces son abundantes en los 12 cm superiores.

Descripción individual de los horizontes o capas P₁C:

Ap 00 – 12 cm	Pardo oscuro (10YR 2/2) en húmedo; franco arcilloso al tacto; bloques angulares, finos y medios, moderadamente desarrollados; muy adherente, plástico, friable; poros frecuentes, raíces comunes, muy finas, finas y medias; límite brusco y plano.
Bw 12 – 22 cm	Pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; arcilloso al tacto; bloques subangulares, medios y gruesos, moderadamente desarrollados; muy adherente, muy plástico, friable; poros frecuentes, finos y muy finos; con 50 % de fragmentos rocosos angulares de 5-15 cm de diámetro; raíces muy pocas, muy finas; límite brusco y plano.
CR 22 – 65 cm	Pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; con 95 % de fragmentos rocos angulares de 10-20 cm; límite brusco y plano.
C 65 – 120 cm	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; arcillo limoso al tacto; masivo; adherente, plástico, firme y muy duro.

Anexo 2. Descripción de perfiles de la unidad de suelo en el SAF con café, en pendiente del 20 % (Perfil 2).

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

“Efecto de la sombra y la densidad poblacional en el desarrollo del cafeto (*Coffea arabica* L.) en sistemas agroforestales en tres localidades de Loja”

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE PERFILES DE SUELOS

Código P2C **Fecha:** 22-08/2018 **Autor:** Carlos Valarezo y Miguel Villamagua **Sitio** Consapamba

Altitud (m s.n.m.): 1766 **Coordenadas:** 674303 E 9 492513 N

Paisaje: montaña, **Tipo de relieve:** vertiente, **Forma del Terreno:** pendiente media, **Pendiente** 20 %

Uso Actual o cobertura vegetal: Café (dos años de edad) + banano + fréjol de palo.

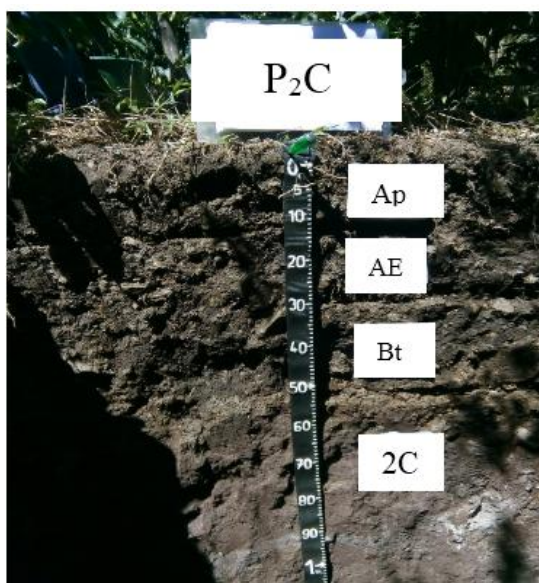
Condiciones de Humedad: húmedo. **Pedregosidad superficial:** 0 %; Tamaño: cm

Afloramientos rocosos: No **Tipo Material parental:** Coluvial –andesita.

Profundidad de la capa freática: profundidad 0 cm fluctuación No cm

Presencia de Sales o Alcalis: Libre

Drenaje: Bueno



DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL

Suelo formado por dos depósitos. El depósito superior hasta los 55 cm, corresponde a un material coluvial pedregoso con aristas pronunciadas de 2 a 7 cm de diámetro. El segundo material es arcilloso hasta los 130 cm de profundidad. En el material coluvial se identifican tres horizontes: Ap de 12 cm de espesor con abundantes raíces muy finas, finas y medias; AE de 15 cm de espesor con alrededor del 30 % de grava; con pocas raíces finas y medias. El horizonte Bt presenta recubrimientos delgados de arcilla y humus iluvial; raíces muy pocas y muy finas. El horizonte 2C es de textura fina, masivo, sin raíces. El drenaje interno es bueno.

Descripción individual de los horizontes o capas P₂C:

Ap 00 – 12 cm	Pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; franco arcilloso al tacto; gránulos finos, fuertemente desarrollados; adherente, plástico, friable; poros frecuentes, muy finos y finos; raíces comunes, medias, finas y muy finas; límite brusco y plano.
AE 12 – 30 cm	Pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; franco arcilloso al tacto; bloques subangulares, medios y gruesos, moderadamente desarrollados; adherente, plástico, friable; poros frecuentes, finos y muy finos; raíces pocas, medias y finas; límite brusco y plano.
Bt 30 – 55 cm	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; arcilloso al tacto; bloques subangulares, medios y gruesos, moderadamente desarrollados, con cutanes continuos y delgados; muy adherente, muy plástico, friable; poros frecuentes, finos y muy finos; raíces muy pocas, medias y muy finas; límite brusco y plano.
2C 55 – 130 cm	Pardo amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo; arcillo limoso al tacto; masivo; sin raíces.

Anexo 3. Descripción de perfiles de la unidad de suelo en el SAF con café, en pendiente 20 % bajo el canal de riego (Perfil 3).

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

“Efecto de la sombra y la densidad poblacional en el desarrollo del cafeto
 (*Coffea arabica* L.) en sistemas agroforestales en tres localidades de Loja”

FICHA DE DESCRIPCION DE PERFILES DE SUELOS

Código P3C Fecha: 23-08-2018 **Autores:** Carlos Valarezo y Miguel Villamagua **Sitio** Consapamba

Altitud (m s.n.m.): 1 762 **Coordenadas:** 674328 E 9 492552 N

Paisaje: pie de monte, **Tipo de relieve:** vertiente, **Forma del Terreno:** pendiente baja, **Pendiente** 20 %

Uso Actual o cobertura vegetal: Café + banano + fréjol de palo.

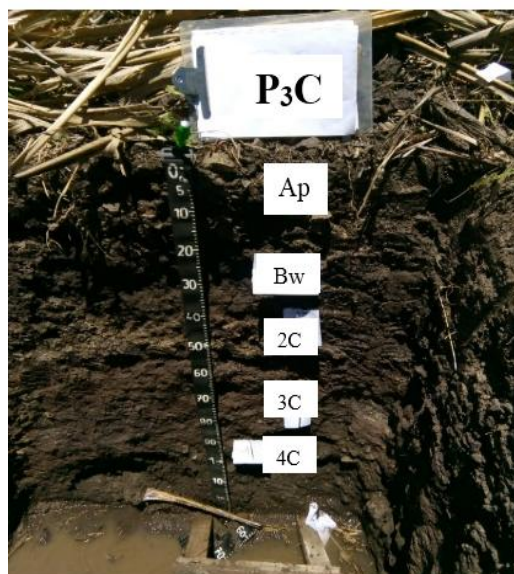
Condiciones de Humedad: húmedo. **Pedregosidad superficial:** 0 %; Tamaño: cm

Afloramientos rocosos: No **Tipo Material parental:** Coluvial –andesita.

Profundidad de la capa freática: profundidad 0 cm fluctuación No cm

Presencia de Sales o Alcalis: Libre

Drenaje: Bueno



DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL

Suelo formado por material coluvial en procesos secuenciales de acumulación de material fino proveniente de las partes superiores. La capa de coluvión se encuentra entre 90 y 130 cm de profundidad, con el 40 % de piedras y gravas angulares de 5-15 cm de diámetro. Se observan características vérticas con caras lustrosas en el horizonte Bw de color oscuro. La división entre Ap y Bw se realizó por criterio de laboreo. Las raíces muy pocas y finas se observan hasta los 90 cm. A 130 cm de profundidad resume agua proveniente del canal de riego.

Descripción individual de los horizontes o capas P3C:

Ap 00 – 20 cm	Pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo; arcilloso al tacto; bloques subangulares finos y medios, moderadamente desarrollados; muy adherente, muy plástico, firme y muy duro; raíces pocas finas; límite gradual y plano.
Bw 20 – 45 cm	Pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; arcilloso al tacto; bloques subangulares, medios, fuertemente desarrollados; muy adherente, muy plástico, firmes y muy duros; poros muy pocos y finos; raíces muy pocas y finas; límite brusco y plano.
2C 45 – 55 cm	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; arcilloso al tacto; masivo, cutanes continuos y delgados; muy adherente, muy plástico, firme y muy duro; poros frecuentes, finos y muy finos; raíces muy pocas, finas; límite brusco y plano.
3C 55 – 90 cm	Pardo muy oscuro (7.5 YR 2,5/2) en húmedo; arcillo limoso al tacto; masivo con 40 % de fragmentos rocosos angulares de 5-15 cm; raíces muy pocas y finas; límite brusco y plano.
4C 90 – 130 cm	Pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; franco arcillo arenoso al tacto; masivo; ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable y muy duro; sin raíces.

Anexo 4. Descripción del perfil del uso de suelo en el SAF con café, en el sector Pueblo Nuevo (Perfil 1).

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE SUELOS DE LA HACIENDA EL CRISTAL

Código: PC1. **Fecha:** 18/10/17 **Autor:** Carlos Valarezo y Miguel Villamagua. **Sitio:** El Cristal.

Altitud: 2071m s.n.m. **Coordenadas** 9 544493 N, 17M0700429 S. **Pendiente:** 40 %.

Paisaje: ladera de una colina; **Tipo de relieve:** loma; **Forma del Terreno:** ladera muy escarpada.

Uso Actual o cobertura vegetal: Sistema Agroforestal: [Alisos + café]

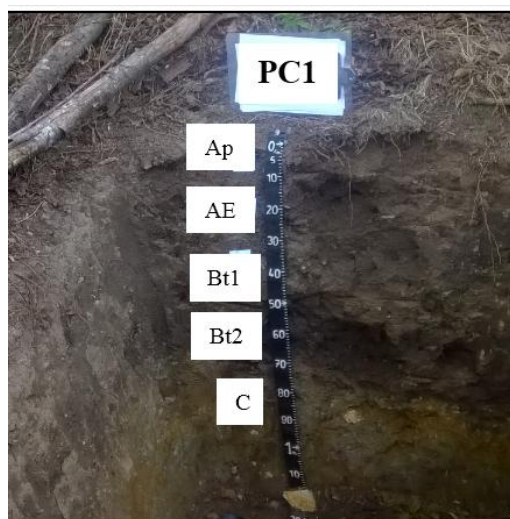
Condiciones de Humedad: húmedo **Pedregosidad superficial:** 0 %; **Tamaño:** cm

Afloramientos rocosos: No **Tipo:** No **Material parental:** Rocas metamórficas: filitas.

Profundidad de la capa freática: profundidad: 0 cm **fluctuación** cm

Presencia de Sales o Alcalis: No; **Drenaje:** bueno

Clasificación taxonómica preliminar USDA (2006): **Kandiudults**



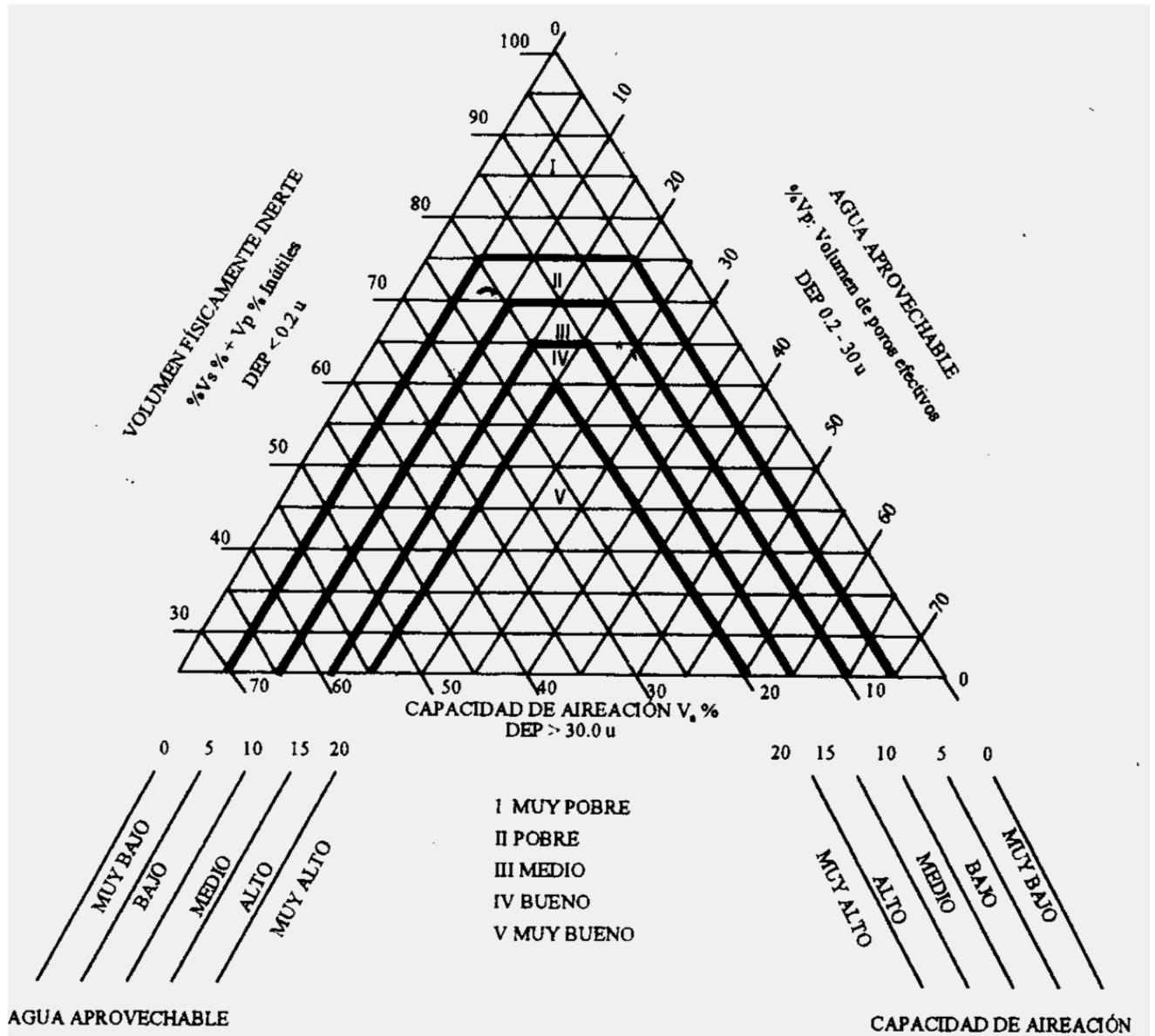
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL

Suelo muy profundo (120 cm), constituido por las siguientes capas y horizontes: una ligera capa orgánica de 2-3 cm, que pertenece a un suelo mineral; un horizonte Ap de 8 cm de espesor, franco limoso; un horizonte AE de 20 cm de espesor, franco limoso; un horizonte Bt1 de 20 cm de espesor, franco arcillo limoso; un horizonte Bt2 de 20 cm de espesor, franco arcillo limoso, y un horizonte C de 50 cm de espesor, franco arcilloso. Sin presencia de manchas en los 4 primeros horizontes. Las raíces son medianas, finas y muy finas se observan hasta los 70 cm de profundidad.

Descripción individual de los horizontes o capas PC1:

O 00 – (-3 cm)	Horizonte orgánico, con abundantes raíces, muy finas, finas y gruesas.
Ap 00 – 8 cm	Marrón grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo; franco limoso al tacto; bloques subangulares finos y medios, moderadamente desarrollados; ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo; sin presencia de poros; raíces comunes, medias; límite brusco y plano.
AE 08- 30 cm	Marrón grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo; franco limoso al tacto; bloques subangulares finos y medios, moderadamente desarrollados; ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo; sin presencia de poros; raíces pocas, finas; límite brusco y plano.
Bt1 30- 50 cm	Marrón grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo; franco arcillo limoso al tacto; bloques subangulares, medios y gruesos, moderadamente desarrollados; ligeramente adherente, ligeramente plástico y friable en húmedo; cutanes zonales y delgados; sin presencia de poros; raíces pocas, finas; límite brusco y plano.
Bt2 50-70 cm	Muy oscuro grisáceo (10YR 3/2) en húmedo; franco arcillo limoso al tacto; bloques subangulares, gruesos y muy gruesos, moderadamente desarrollados; ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo; cutanes zonales y delgados; sin presencia de poros; raíces muy pocas, muy finas; límite brusco y plano.
C >70 cm	Marrón rojizo (2.5YR 4/3) en húmedo, con 60 % de manchas grandes, definidas y difusas; marrón amarillento (10YR 5/6) en húmedo; con 40 % de manchas; franco arcilloso al tacto; su estructura es masiva; adherente, plástico, firme en húmedo; sin presencia de poros y raíces; límite brusco y plano.

Anexo 5. Diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo (Valarezo et al, 1998).



Anexo 6. Altura promedio de la planta indicadora (cm) a los 60 días de edad, del suelo del sistema agroforestal con café del sector Consapamba

Solución	Pendiente 15 %	Pendiente 20%	Pendiente 20% bajo riego
SC	70,3	68,0	66,0
- N	27,7	23,0	17,7
- P	58,0	40,3	44,3
- K	56,7	55,0	57,7
- Mg	67,3	61,3	62,0
- S	36,7	33,3	35,0
- Zn	63,0	65,0	61,3
- Cu	63,0	47,7	44,0
- Mn	60,3	53,0	56,3
- B	67,7	64,0	60,0
- Fe	65,0	43,3	59,0
Testigo	14,3	10,3	12,3

Anexo 7. Porcentaje de altura promedio de la planta indicadora a los 60 días de edad, del suelo del sistema agroforestal con café del sector Consapamba

SOLUCIÓN	USO DE SUELO					
	Pendiente 15 %		Pendiente 20 %		Pendiente, 20 % bajo riego	
	%	Interpretación	%	Interpretación	%	Interpretación
SC	100	Alto	100	Alto	100	Alto
- N	39	Medio	34	Bajo	29	Bajo
- P	79	Alto	59	Medio	64	Alto
- K	81	Alto	81	Alto	82	Alto
- Mg	96	Alto	91	Alto	94	Alto
- S	52	Medio	49	Medio	52	Medio
- Zn	92	Alto	96	Alto	96	Alto
- Cu	90	Alto	70	Alto	71	Alto
- Mn	84	Alto	79	Alto	82	Alto
- B	92	Alto	94	Alto	92	Alto
- Fe	92	Alto	72	Alto	80	Alto
Testigo	20	Bajo	15	Bajo	18	Bajo

Anexo 8. Promedio de biomasa seca de la planta indicadora del suelo del sistema agroforestal con café del sector Consapamba

Solución	Pendiente 15%	Pendiente 20%	Pendiente 20%, bajo riego
SC	11	10	10
- N	3	2	1
- P	5	3	4
- K	6	5	6
- Mg	8	8	9
- S	4	3	3
- Zn	9	8	8
- Cu	6	4	7
- Mn	8	5	5
- B	9	7	9
- Fe	9	3	8
Testigo	1	1	1

Anexo 9. Porcentaje de biomasa seca de la planta indicadora del suelo del sistema agroforestal con café del sector Consapamba

USO DE SUELO						
SOLUCIÓN	Pendiente 15 %		Pendiente 20 %		Pendiente, 20 % bajo riego	
	%	Interpretación	%	Interpretación	%	Interpretación
SC	100	Alto	100	Alto	100	Alto
- N	31	Bajo	18	Bajo	13	Bajo
- P	43	Medio	34	Bajo	43	Medio
- K	59	Medio	55	Medio	63	Medio
- Mg	79	Alto	83	Alto	89	Alto
- S	34	Medio	31	Bajo	33	Bajo
- Zn	87	Alto	85	Alto	79	Alto
- Cu	58	Medio	44	Medio	73	Alto
- Mn	72	Alto	54	Medio	57	Medio
- B	82	Alto	75	Alto	88	Alto
- Fe	80	Alto	35	Medio	79	Alto
Testigo	9	Bajo	7	Bajo	10	Bajo

Anexo 10. Altura promedio de la planta indicadora (cm) a los 60 días de edad, del suelo del sistema agroforestal con café del sector Pueblo Nuevo

Solución	Zona 1	Zona 2	Zona 3
SC	83	73	62
- N	14	13	11
- P	13	9	9
- K	37	30	26
- Mg	41	28	23
- S	31	29	24
- Zn	58	44	32
- Cu	53	50	45
- Mn	66	52	66
- B	38	28	16
- Fe	66	54	39
Testigo	7	7	5

Anexo 11. Porcentaje de altura promedio de la planta indicadora, a los 60 días de edad del suelo del sistema agroforestal con café en el sector Pueblo Nuevo

SOLUCIÓN	USO DE SUELO					
	Zona 1		Zona 2		Zona 3	
	%	Interpretación	%	Interpretación	%	Interpretación
-SC	100	Alto	100	Alto	100	Alto
- N	17	Bajo	18	Bajo	18	Bajo
- P	15	Bajo	12	Bajo	15	Bajo
- K	44	Medio	41	Medio	42	Medio
- Mg	50	Medio	39	Medio	37	Medio
- S	37	Medio	39	Medio	39	Medio
- Zn	70	Alto	60	Medio	52	Medio
- Cu	64	Medio	68	Alto	73	Alto
- Mn	80	Alto	71	Alto	99	Medio
- B	46	Medio	38	Medio	41	Bajo
- Fe	80	Alto	74	Alto	63	Medio
Testigo	9	Bajo	9	Bajo	9	Bajo

Anexo 12. Promedio de biomasa seca de la planta indicadora del suelo del sistema agroforestal con café del sector Pueblo Nuevo

Solución	Zona 1	Zona 2	Zona 3
SC	10	9	9
- N	2	2	2
- P	1	1	1
- K	6	5	4
- Mg	6	4	4
- S	5	4	4
- Zn	8	7	5
- Cu	8	7	7
- Mn	8	8	4
- B	6	5	4
- Fe	8	8	6
Testigo	1	1	0

Anexo 13. Porcentaje de biomasa seca de la planta indicadora del suelo del sistema agroforestal con café del sector Pueblo Nuevo

SOLUCIÓN	USO DE SUELO					
	Zona 1		Zona 2		Zona 3	
	%	Interpretación	%	Interpretación	%	Interpretación
-SC	100	Alto	100	Alto	100	Alto
- N	25	Bajo	22	Bajo	22	Bajo
- P	13	Bajo	11	Bajo	8	Bajo
- K	55	Medio	54	Medio	50	Medio
- Mg	54	Medio	47	Medio	44	Medio
- S	53	Medio	48	Medio	45	Medio
- Zn	77	Alto	73	Alto	64	Medio
- Cu	67	Alto	74	Alto	78	Alto
- Mn	85	Alto	88	Alto	69	Medio
- B	53	Medio	57	Medio	57	Medio
- Fe	83	Alto	82	Alto	75	Alto
Testigo	6	Bajo	5	Bajo	5	Bajo

Anexo 14. Contenido de elementos disponibles en la capa 00-25 cm en los usos de suelo del sector Consapamba (extracción con la solución de Olsen Modificada).

Elementos Disponibles		SAF con café, pendiente del 15 %		SAF con café, pendiente del 20 %		SAF con café, pendiente del 20 %, bajo el canal de riego	
N	%	0,13	Bajo	0,08	Bajo	0,1	Bajo
P	mg kg ⁻¹	52,5	Alto	30,4	Alto	22	Alto
K	cmol kg ⁻¹	0,51	Alto	0,29	Medio	0,38	Medio
Mg	cmol kg ⁻¹	2,96	Alto	2,42	Alto	3,05	Alto
S	mg kg ⁻¹	11,67	Bajo	11,41	Bajo	10,55	Bajo
Zn	mg kg ⁻¹	3,59	Medio	2,44	Bajo	2,55	Bajo
Cu	mg kg ⁻¹	3,62	Medio	3,95	Medio	2,55	Medio
Mn	mg kg ⁻¹	13,57	Medio	12,97	Medio	11,74	Medio
B	mg kg ⁻¹	<0.50	Bajo	<0.50	Bajo	<0.50	Bajo
Fe	mg kg ⁻¹	160	Alto	51,1	Alto	31,8	Medio

Anexo 15. Análisis químicos del suelo en el suelo del SAF con café de Pueblo Nuevo

Elementos Disponibles	SAF con café y alisos						
	Zona 1		Zona 2		Zona 3		
	Valor	Interpretación	Valor	Interpretación	Valor	Interpretación	
N	%	0,2	Medio	0,24	Medio	0,2	Medio
P	mg kg ⁻¹	14,7	Medio	15,9	Medio	19,1	Medio
K	cmol kg ⁻¹	0,22	Alto	0,16	Alto	0,19	Alto
Mg	cmol kg ⁻¹	0,24	Bajo	0,15	Bajo	0,3	Bajo
S	mg kg ⁻¹	19,59	Medio	22	Medio	21,67	Medio
Zn	mg kg ⁻¹	1,81	Bajo	1,94	Bajo	2,33	Bajo
Cu	mg kg ⁻¹	3,44	Medio	4,27	Alto	5,07	Alto
Mn	mg kg ⁻¹	5,31	Bajo	5,48	Bajo	14,93	Medio
B	mg kg ⁻¹	<0.50	Bajo	<0.50	Bajo	<0.50	Bajo
Fe	mg kg ⁻¹	552,3	Alto	570,4	Alto	516,7	Alto

Anexo 16. Composición química de los fertilizantes utilizados para el plan de fertilización

Fertilizante	Contenidos de Nutrientos (%)							
	N	P2O5	K2O	Ca	Mg	S	Zn	B
DAP (18-46) (50 kg)	18	46						
S. de potasio (25 kg)			50			18		
Urea (50 kg)	46							
ZnSO4 (25 kg)						4	23	
Bórax (25 kg)								11
Kieserita (50 kg)					15	20		
Cal agrícola (50 kg)				40				

Anexo 17. Tríptico divulgativo entregado a los asistentes en el día de campo.

1. INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene como objetivo principal, evaluar química y biológicamente la disponibilidad de los nutrientes a fin de generar un plan de fertilización para el sistema agroforestal con café en los sectores de Consapamba y Pueblo Nuevo en los cantones Espíndola y Loja.

Con el transcurso del tiempo el suelo pierde su capacidad productiva y la disponibilidad de nutrientes, causando una disminución en el rendimiento de los cultivos.

Los análisis químicos que realizan los laboratorios de suelo del país, para evaluar la disponibilidad de los nutrientes, no siempre reflejan con veracidad la cantidad de elementos aprovechables, por lo cual se planteó evaluar la fertilidad actual de los suelos de Consapamba y Pueblo Nuevo, mediante el método del elemento faltante desarrollado por Cowel (1980) y adaptado por Valarezo (1985), utilizando como planta indicadora el tomate riñón.

Varias investigaciones, corroboran lo mencionado, Castillo y Villavicencio (2015), concluyeron que en suelos del trópico cultivados con *Gliricidia sepium*, el N, P, K y Mn son bajos en la evaluación biológica y en el análisis químico es alto; Aguirre (2017), en los suelos de Chuquiribamba, concluyó que el N y P son deficitarios y en el análisis químico alto.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivos específicos

- Caracterizar física y químicamente las unidades de suelo.
- Evaluar biológicamente los suelos seleccionados.
- Establecer la correspondencia entre la evaluación química y biológica.
- Proponer un plan de fertilidad para el cultivo de café en cada sector.

3. METODOLOGÍA

3.1. Ubicación del ensayo

Las muestras recolectadas de cada sector de estudio para la evaluación biológica, se desarrolló en el invernadero ubicado en la Facultad Agropecuaria de Recursos Naturales Renovables.

3.2. Materiales

216 tarrinas de plástico de 700ml, 216 vasos de plásticos de 250 ml, semillas de tomate riñón variedad (flora dade), recipientes de plástico de 20 L, sales y balanza de precisión.

3.3. Metodología

Evaluación biológica

Se tomaron muestras de suelo en el sector de estudio a una profundidad de 25 cm.

Instalación y seguimiento del ensayo

1. Preparación de soluciones madres y nutritivas;

Tipos de sales y las cantidades expresadas en gramos para preparar las soluciones madres 1N de los macro y micro elementos

Sales	(g/l)	Sales	g/l
Ca (NO ₃) ₂ . 4H ₂ O	118	MnCl ₂ . 4H ₂ O	1,81
KNO ₃	101	H ₃ BO ₃	2,86
KH ₂ PO ₄	136	ZnSO ₄ . 7H ₂ O	0,22
NaH ₂ PO ₄	120	CuSO ₄ . 5H ₂ O	0,16
K ₂ SO ₄	87	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ . 4H ₂ O	0,04
MgSO ₄ . 7H ₂ O	123	NaFe-EDTA	32,75
MgCl ₂ . 6H ₂ O	101		
CaCl ₂ . 6H ₂ O	109		

Volúmenes de las soluciones madre que se necesita para 1 L en las diferentes soluciones nutritivas

SOLUCIÓN STOCK	Mililitros de soluciones madre que se debe adicionar										
	-S	-N	-P	-K	-Mg	-S	-Zn	-Cu	-Mn	-B	-Fe
Ca (NO ₃) ₂ . 4H ₂ O	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
KNO ₃	2,0	2,0			2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
KH ₂ PO ₄	2,0	2,0			2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
NaH ₂ PO ₄					2,0						
K ₂ SO ₄		2,0	2,0		1,0						
MgSO ₄ . 7H ₂ O		1,5	1,5	1,5	1,5		1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
MgCl ₂ . 6H ₂ O							1,5				
CaCl ₂ . 6H ₂ O					6,0						
NaCl	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
NaFe-EDTA	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
MnCl ₂ . 4H ₂ O	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
H ₃ BO ₃	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
ZnSO ₄ . 7H ₂ O	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
CuSO ₄ . 5H ₂ O	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ . 4H ₂ O	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

2. Colocación de soluciones nutritivas en los recipientes (600ml).

3. Siembra de tomate riñón (Siembra 17 de mayo).

4. Reposición de soluciones nutritivas de las 216 plantas fue: en el periodo de los 15 – 30 días fue de 0,3 L/día; 30 – 45 días 1,7 L/día; y de 45 - 60 días el consumo fue de 2,8 L/días.

5. Medición de la altura a los 54 días.

3.4. Diseño experimental

Se utilizó el Diseño de Bloques Completamente al Azar (3 x 12) y tres repeticiones; para cada sector de estudio.

VARIABLES A EVALUAR

- Altura de la planta (cm)
- Biomasa seca (g)

4. RESULTADOS

Análisis de varianza entre las soluciones nutritivas y la altura de la planta aplicando el test Tukey con diferencia significativa ($p < 0,05$).

CONSAPAMBA		
Solución	Medias	
Sc	53.44	A
-Zn	44.50	B
-Mg	42.33	B C
-B	42.00	B C
-Fe	40.00	B C
-Mn	37.89	C D
-K	37.11	C D
-Cu	36.56	C D
-P	32.44	D
-S	25.44	E
-N	17.67	F
Testigo	10.33	G

diferentes ($p > 0.05$)

PUEBLO NUEVO		
Solución	Medias	
Sc	56.78	A
-Cu	40.33	B
-Fe	38.67	B
-Zn	36.78	B C
-Mn	32.44	C
-K	26.78	D
-S	23.67	D
-Mg	23.56	D
-B	23.44	D
-N	11.78	E
-P	8.22	E F
Testigo	4.89	F

Comparación de rangos entre el análisis químico y la evaluación biológica (altura de la planta)

CONSAPAMBA			PUEBLO NUEVO		
Solución	AQ	EB	Solución	AQ	EB
-N	B	B	-N	M	MB
-P	A	M	-P	M	MB
-K	A	M	-K	B	B
-Mg	A	A	-Mg	B	B
-S	B	B	-S	M	B
-Zn	B	A	-Zn	B	M
-Cu	M	M	-Cu	A	M
-Mn	M	M	-Mn	M	M
-B	B	A	-B	B	B
-Fe	A	A	-Fe	A	M

AQ= Análisis Químico; EB=Evaluación Biológica;
A=Alto; M=Medio; B=Bajo; MB=Muy Bajo

5. CONCLUSIONES

El pH, en el sector de Consapamba es de 6.5 (ligeramente ácido) y 4.4 (ácido) en Pueblo Nuevo (Hacienda El Cristal).

En los suelos de Consapamba el N, P, S, son detectados como elementos deficitarios, y Cu, K, Mn, se encuentran en el rango medio y el Fe, B, Mg, Zn, en contenidos altos.

En los suelos de Pueblo Nuevo el P, N, B, Mg son detectados como elementos deficitarios, y S, K, Mn, se encuentran en el rango medio y el Zn, Fe, Cu, en contenidos altos.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

EVALUACIÓN QUÍMICA Y BIOLÓGICA DE LA FERTILIDAD DEL SUELO EN LOS SISTEMAS AGROFORESTALES CON CAFÉ DE LOS SECTORES CONSAPAMBA



Y PUEBLO NUEVO

TESISTA: Paola Zambrano

DIRECTOR: Ing. Miguel Villamagua

LOJA – ECUADOR

Julio -2019

Anexo 18. Planificación del evento de difusión de resultados

Tipo de evento: Día de campo.

Tema: “Evaluación química y biológica de la fertilidad del suelo en los sistemas agroforestales con café de los sectores Consapamba y Pueblo Nuevo de los cantones Espíndola y Loja”.

Lugar: Ciudad de Loja.

Participantes: director de tesis, tesista, docentes y estudiantes de la Facultad Agropecuaria de Recursos Naturales Renovables



Anexo 19. Evaluación biológica del suelo del SAF con café, en pendiente del 15 %
(Perfil 1)



Anexo 20. Evaluación biológica del suelo del SAF con café en pendiente del 20 % (Perfil 2)



Anexo 21. Evaluación biológica del suelo del SAF con café, en del pendiente del 20 %, bajo el canal de riego (Perfil 3)



Anexo 22. Evaluación biológica del suelo del SAF con café, Zona 1



Anexo 23. Evaluación biológica del suelo del SAF con café, Zona 2



Anexo 24. Evaluación biológica del suelo del SAF con café, Zona 3

