



**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 CHAGUARPAMBA Y LOZUMBE**

*Tesis de Grado Previa a la  
Obtención del Título de  
Ingeniera Agrícola.*

Karina Fabiola Tandazo Tandazo  
**AUTORA:**

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 CHAGUARPAMBA Y LOZUMBE**”; de la autoría de la señorita egresada Karina Fabiola Tandazo Tandazo, 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, 28 de agosto del 2019



Miguel Ángel Villamagua, M.Sc.

**DIRECTOR**

**Certificación del 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 CHAGUARPAMBA Y LOZUMBE**, de autoría de la señorita **Karina Fabiola Tandazo Tandazo**, egresada de la Carrera de Ingeniería Agrícola, certificamos que se ha incorporado al trabajo final de tesis, las sugerencias respectivas. Por lo que autorizamos la impresión y publicación.

Loja, octubre del 2019



M.Sc. Pedro Manuel Guaya  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



M.Sc. Omar Augusto Ojeda  
**VOCAL DEL TRIBUNAL**



Ph.D. Edison Ramiro Vásquez  
**VOCAL DEL TRIBUNAL**

### **Autoría**

Yo, **Karina Fabiola Tandazo Tandazo**, 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:** Karina Fabiola Tandazo Tandazo.

**C.I.:** 1105560120

**Fecha:** Loja, 16 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, Karina Fabiola Tandazo Tandazo, 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 CHAGUARPAMBA Y LOZUMBE”**, 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 dieciséis días del mes de octubre del dos mil diecinueve, firma el autor.

**Firma:**



**Autora:** Karina Fabiola Tandazo Tandazo

**C.I.:** 1105560120

**Dirección:** Loja – Av. Universitaria y Miguel Riofrio

**Correo Electrónico:** karinatandazo@gmail.com

**Celular:** 0985219760

**DATOS COMPLEMENTARIOS**

**Director de Tesis:** M.Sc. Miguel Ángel Villamagua

**Tribunal de Grado:** M.Sc. Pedro Manuel Guaya

M.Sc. Omar Augusto Ojeda

Ph.D. Edison Ramiro Vásquez.

## **Agradecimiento**

En primera instancia agradezco 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, y planta docente de la misma, por haberme brindado sus conocimientos y formarme como profesional.

Mi agradecimiento al Ing. Miguel Ángel Villamagua Mg. Sc. Director de la presente investigación por su inestimable aporte y orientación y al Ing. Carlos Valarezo por sus valiosos conocimientos y guiarme hasta la culminación del trabajo investigado.

**Karina**

## **Dedicatoria**

A Dios por haberme permitido llegar hasta donde estoy, a mis padres José y Marlene, quienes con su esfuerzo y amor me apoyaron para alcanzar las metas propuestas; a mis hermanos Jhoon, Alex, Pablo y Andrés por brindarme su compañía en todo este trayecto; a mi cuñada Katherine por estar a mi lado y apoyarme con sus palabras y acciones; a mis amados sobrinos Mateo y David su presencia es motivo de muchas sonrisas; a mis demás familiares y seres queridos que me rodean, gracias por su presencia.

A mis compañeros de aula y amigos, gracias por haberme brindado apoyo y estar presentes en mi formación profesional

**Karina**

## Contenido

Certificación del director de tesis .....	ii
Certificación del tribunal de grado .....	iii
Autoría.....	iv
Carta de autorización. ....	v
Agradecimiento.....	vi
Dedicatoria.....	vii
Contenido.....	viii
Anexos .....	x
1. Introducción.....	1
2. Revisión de literatura.....	3
2.1. Nutrientes esenciales para el desarrollo vegetal.....	3
2.2. Propiedades químicas del suelo.....	7
2.3. Condiciones físicas de los suelos de la Región Sur del Ecuador .....	8
2.4. Evaluación química de la fertilidad del suelo .....	8
2.5. Métodos directos para el análisis químico de la fertilidad de los suelos.....	9
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 .....	12
2.9. Evaluación química y biológica en suelos del Ecuador .....	14
3. Materiales y métodos.....	16
3.1. Ubicación de los sectores de estudio.....	16
3.2. Localización del ensayo de evaluación biológica .....	17
3.3. Materiales y equipos.....	18
3.4. Metodología.....	18
3.4.1. Caracterización física y química de las unidades de suelos. ....	18
3.4.2. Evaluación biológica de la fertilidad del suelo. ....	18
3.4.3. Correspondencia entre la evaluación biológica y los análisis químicos de laboratorio. .....	22
3.4.4. Plan de fertilidad. ....	23
4. Resultados y discusión .....	24

4.1.	Características morfológicas, físicas, químicas y fertilidad del suelo en el sistema agroforestal con café de Chaguarpamba .....	24
4.1.1.	Suelo del sistema agroforestal con variedad de café Catuai.....	24
4.1.2.	Suelo del sistema agroforestal con variedad de café Geisha.....	25
4.1.3.	Suelo del sistema agroforestal con variedad de café Villalobos. ....	27
4.2.	Características morfológicas, físicas, químicas y de fertilidad del suelo en el sistema agroforestal con café de Lozumbe.....	29
4.2.1.	Suelo del sistema agroforestal con café en pendiente del 60 %.....	29
4.2.2.	Suelo del sistema agroforestal con café en pendiente del 26 %.....	31
4.3.	Evaluación Biológica de la fertilidad del suelo.....	33
4.3.1.	Altura y biomasa seca de la planta indicadora del suelo del sistema agroforestal con café de Chaguarpamba. ....	33
4.3.2.	Altura y producción de biomasa de la planta indicadora del suelo del sistema agroforestal con café de Lozumbe.....	39
4.4.	Correspondencia entre el análisis químico y la evaluación biológica.....	44
4.5.	Fertilización para cafetales .....	47
4.5.1.	Fertilización para el suelo del sistema agroforestal con café de Chaguarpamba .....	48
4.5.2.	Fertilización para el suelo del sistema agroforestal con café de Lozumbe .....	51
5.	Conclusiones .....	54
6.	Recomendaciones .....	55
7.	Bibliografía.....	56
8.	Anexos.....	61

## **Anexos**

Anexo 1 Terminología usada en la descripción de los síntomas de las plantas.....	61
Anexo 2 Descripción del perfil del suelo en el SAF con café variedad Geisha (Perfil 1).....	61
Anexo 3 Descripción del perfil del suelo en el SAF con café variedad Catuai (Perfil 2) .....	64
Anexo 4 Descripción del perfil del suelo en el SAF con café variedad Villalobos (Perfil 3) .....	67
Anexo 5 Descripción del perfil del suelo en el SAF con café pendiente del 60 % sector Lozumbe (Perfil 1) .....	70
Anexo 6 Descripción del perfil del suelo en el SAF con café pendiente del 26 % sector Lozumbe (Perfil 2) .....	73
Anexo 7 Diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo.....	75
Anexo 8 Porcentaje de altura de la planta indicadora a los 60 días, en el suelo del sistema agroforestal con café de Chaguarpamba días de edad,.....	76
Anexo 9 Porcentaje de biomasa seca de la planta indicadora, en el suelo del sistema agroforestal con café de Chaguarpamba.....	76
Anexo 10 Porcentaje de altura de la planta indicadora, en el suelo del sistema agroforestal con café de Lozumbe .....	77
Anexo 11 Porcentaje de biomasa seca de la planta indicadora, en el suelo del sistema agroforestal con café de Lozumbe.....	77
Anexo 12 Análisis químicos del suelo en el SAF con café de Chaguarpamba. ....	78
Anexo 13 Análisis químicos del suelo en el SAF con café de Lozumbe. ....	78
Anexo 14 Composición química de los fertilizantes utilizados para el plan de fertilización .....	78
Anexo 15 Tríptico divulgativo entregado a los asistentes en el día de campo. ....	79
Anexo 16 Planificación del evento de difusión de resultados .....	81
Anexo 17 Evaluación biológica del suelo del SAF con café variedad Geisha (Perfil 1).....	82
Anexo 18 Evaluación biológica del suelo del SAF con café variedad Catuai (Perfil 2) .....	82
Anexo 19 Evaluación biológica del suelo del SAF con café variedad Villalobos (Perfil 3).....	83
Anexo 20 Evaluación biológica del suelo del SAF con café pendiente del 60% (Perfil 1).....	83
Anexo 21 Evaluación biológica del suelo del SAF con café pendiente del 26% (Perfil 2).....	84

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

## Resumen

En el cantón Chaguarpamba de la provincia de Loja, se practica la agricultura de cultivos de ciclo corto (maíz, maní, y frejol) y perenne (café, caña de azúcar, guineo, plátano, frutales, árboles maderables). El suelo se degrada consecuentemente presenta una baja fertilidad, a través del uso de fertilizantes recomendados por las casas comerciales, los productores restituir la baja fertilidad del suelo, sin considerar la disponibilidad de los nutrientes ni 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 suelo del SAF con café de Chaguarpamba las condiciones físicas del suelo en la capa de 00 - 25 cm se ubicó en la categoría de pobre a medio; el  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  ácido, la capacidad de intercambio catiónico alto, el N, P, K, S, 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, los elementos más deficientes son N, P, K, Mg. En el suelo del SAF con café de Lozumbe las condiciones físicas del suelo en la capa de 00 - 25 cm se ubicó en la categoría de pobre a muy pobre; el  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  ligeramente ácido, la capacidad de intercambio catiónico alta, el N, P, S, Mg 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 N, K, P y S.

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

## Abstract

In the canton Chaguarpamba of the province of Loja, we practice the agriculture of short-cycle crops (corn, peanuts, and beans) and perennial (coffee, sugar cane, guineo, banana, fruit trees, wood trees). Soil degrades accordingly has a low fertility, through the use of fertilizers recommended by commercial houses, producers restore the low fertility of the soil, without considering the availability of nutrients or crop requirements. The modified Olsen extractor solution, officially used in the country by the Network of Soil Laboratories of Ecuador to determine the contents of the usable element for the plant, the contents of N, P, K, S, Mg, Zn, Mn, Cu, Fe and B were 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. On the floor of the SAF with Chaguarpamba coffee the physical conditions of the soil in the layer of 00 - 25 cm was placed in the category of poor to medium;  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  acid, high cation exchange capacity, N, P, K, S, Zn, B and Fe did not match the weight of dry matter in biological assessment with the nutrient concentration available from chemical analysis, the deficient elements are N, P, K, Mg. On the floor of the SAF with Lozumbe coffee the physical conditions of the soil in the layer of 00 - 25 cm was placed in the category of poor to very poor; the slightly acidic  $\text{PH}_{\text{H}_2\text{O}}$ , high cation exchange capacity, N, P, S, Mg and B did not match the weight of the dry matter of the biological assessment with the nutrient concentration available from the chemical analysis, the most n, K, P and S.

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

## 1. Introducción

El 38 % de la superficie del Cantón Chaguarpamba está dedicada a la agricultura con cultivos de ciclo corto y perenne, de la cual, el 45 % de esta área está dedicada a la producción de café, caña de azúcar, guineo, plátano, frutales, árboles maderables, se forma así, sistemas agroforestales (Gobierno Autónomo Descentralizado municipal del canton Chaguarpamba, 2017).

Con el transcurso del tiempo el suelo pierde su capacidad productiva causando una disminución en el rendimiento de los cultivos y por ende afecta a la economía de los caficultores; al existir una baja fertilidad del suelo, los productores buscan restituir los nutrientes a través de fertilizantes, según Guerrero (2017) el 67 % de los caficultores de la provincia de Loja fertilizan con abonos inorgánicos, recomendados por los proveedores de las casas comerciales, sin tomar en cuenta la disponibilidad actual de nutrientes ni los requerimientos de los cultivos.

La presente investigación se realizó para disponer de información sobre la fertilidad actual del 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, utilizada oficialmente 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 del Sur de la Amazonia Ecuatoriana desarrollada sobre andesita, granodiorita y arenisca cuarzosa, tratados con carbón vegetal, cal y nutrientes Burneo (2012), Loaiza (2013) y Mendoza (2013); en suelos de la provincia de Loja desarrollados sobre andesita Aguirre (2017), finalmente señalan que no existe una correspondencia 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 café del cantón Chaguarpamba, provincia de Loja.

### **Objetivos específicos**

- Realizar la caracterización física y química los suelos de Chaguarpamba y Lozumbe.
- 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 sales minerales son las suministradoras de los elementos nutritivos que las plantas requieren para el desarrollo de su ciclo vital, y son incorporadas a través de las raíces. Proceden de las rocas de la litosfera, las cuales, y a través de muy diversos factores, se degrada lentamente hasta convertirse en compuestos solubles. Es necesario indicar que un elemento muy importante, el nitrógeno, no es contribuyente de las rocas, su presencia en el suelo y en las aguas naturales se debe a la descomposición de diversos compuestos orgánicos nitrogenados, de origen animal o vegetal, los elementos esenciales, para el desarrollo de todas las plantas son dieciséis, en grandes cantidades: C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S, y en cantidades pequeñas: Fe, Mn, B, Mo, Cu, Zn, Cl (Navarro y Navarro, 2013).

**El nitrógeno**, varía más en cantidad en el suelo que los otros elementos esenciales para el desarrollo vegetal, este es un elemento que la planta necesita en grandes proporciones, interviene en sintetizar la clorofila, existen formas en las que las plantas absorben nitrógeno: amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) y nitrato  $\text{NO}_3^-$  y en menor cantidad como nitrito  $\text{NO}_2^-$  (Iñiguez, 2007).

El contenido de N en la materia orgánica es del 5 % y únicamente el 1 % es disponible para las plantas. Bajo condiciones de deficiencia de nitrógeno las hojas son pequeñas, al igual que los tallos, el crecimiento se reduce considerablemente, las hojas tienen un color verde amarillento en los primeros estados de crecimiento, debido a la limitación en la síntesis de clorofila, luego se vuelven amarillas rojizas o púrpuras (Padilla, 2007).

**El fósforo**, las plantas absorben la mayor parte del fósforo en forma de iones orto fosfatos  $\text{PO}_4\text{H}^{2-}$  (monovalente) y  $\text{PO}_4\text{H}^-$  (divalente), y en cantidades menores en forma de fosfatos orgánicos solubles (Iñiguez, 2007).

El fosforo puede incorporarse a los suelos por medio de la fijación bioquímica por microorganismos, el fósforo tiene ayuda microbiana la cantidad total expresada como  $\text{P}_2\text{O}_5$  en el suelo en raras ocasiones sobrepasa el valor de 0.5 % (Navarro y Navarro, 2013).

Los síntomas más normales de deficiencia de fósforo se manifiestan con un crecimiento lento, débil y plantas pequeñas que presentan un color verde oscuro con hojas bajas o viejas, muestra así una pigmentación púrpura o violácea (Padilla, 2007).

**El potasio**, para que un suelo no presente síntomas de deficiencia en la planta debe estar bien dotado de la presencia de  $K_2O$  para asegurar la disponibilidad de  $K^+$ , forma en que es absorbido por las raíces. Desempeña una importante función en la fotosíntesis, en la economía hídrica, de la planta y muy especialmente como activador enzimático (Iñiguez, 2007).

El potasio se halla en la mayoría de los suelos cultivados en cantidades relativamente grandes, su contenido como  $K_2O$ , varía entre 0,5 a 3 % y depende de su textura, la fracción arcillosa es la que presenta un mayor contenido que los limo arenosos, no obstante, que esta variación en el contenido de potasio esta también influenciada por la intensidad de las pérdidas: extracción por cultivos, lixiviación y erosión. Aunque la mayor parte del potasio total del suelo (entre el 90 y 98 %) está casi siempre en formas no aprovechables, es decir, no disponible para las plantas (Navarro y Navarro, 2013).

**El calcio**, es absorbido bajo la forma de  $Ca^{+2}$ , después de potasio, es el elemento básico más abundante que existe en las plantas, este elemento es muy importante para el desarrollo de las raíces, regula la absorción del nitrógeno y regula los efectos perjudiciales debido a excesos de otros elementos.

Su contenido total, puede variar ampliamente, en suelos considerados como suelos no calizos varía entre 0,1 y 0,2 %, mientras que en los calizos puede alcanzar hasta un 25 % (Navarro y Navarro, 2013).

**El magnesio**, es absorbido por la planta como  $Mg^{+2}$ , sin este elemento no sería posible la vida en la tierra, ya que entra en la composición de pigmentos verdes, utilización de energía solar y la síntesis de los constituyentes orgánicos indispensable para la vida vegetal y animal. Este elemento es muy abundante en la corteza terrestre, su contenido medio puede situarse en un 2,3 % (Navarro y Navarro, 2013).

En caso de deficiencias del magnesio, las hojas basales adultas lo entregan para el uso de los ápices y hojas nuevas, tornándose cloróticas desde los bordes hacia dentro, con fotosíntesis reducida, necrosis posterior y defoliación prematura (Gil y Pszczólkowski, 2015).

**El azufre**, es absorbido por la planta casi exclusivamente en forma de  $\text{SO}_4^{+2}$  y en pequeñas cantidades también es absorbido como  $\text{SO}_3^{+2}$ .

El contenido de azufre en los suelos oscila entre 0,02 y 0,05 % aunque los suelos de las regiones áridas pueden presentar contenidos de hasta un 1 % de azufre, normalmente en capas superficiales (Navarro y Navarro, 2013).

La deficiencia de este elemento, impide la formación adecuada de proteínas reduciendo el Desarrollo de la planta, el follaje adquiere un color verde pálido que se extiende en toda la planta, seguido de clorosis y marchitez (Guerra y Lozano, 2014).

**El zinc**, es absorbido por la planta como  $\text{Zn}^{+2}$  o como quelado por vía foliar o radicular, este elemento participa en la formación y funcionamiento de diversos sistemas enzimáticos que intervienen en procesos vitales para la planta. En los suelos agrícolas, el contenido total puede oscilar normalmente entre 10 y 300 ppm, y de lo que se conoce el zinc asimilable o en el zinc en condiciones de ser asimilado por la planta está por debajo de 10ppm (Navarro y Navarro, 2013).

Las hojas viejas presentan color verde, mientras que las hojas jóvenes empiezan a amarillear, según avanza el estado carencial se observa la característica clorosis intervenal solo quedan de color verde los vasos, contrastando el color amarillento o blanquecido del limbo, en caso de carencia fuerte el amarillamiento es total, aparecen zonas necróticas en los bordes del limbo, produciéndose una caída precoz de las hojas y finalmente la defoliación total (Iñiguez, 2007).

**El cobre**, es absorbido normalmente como  $\text{Cu}^{+2}$ , no es muy móvil, aunque puede desplazarse en cierta proporción de hojas viejas a hojas jóvenes, la cantidad de cobre es variable, oscila generalmente entre 5 y 50 ppm y normalmente se halla como  $\text{Cu}^{+2}$ .

Su deficiencia inhibe la lignificación del xilema, conducente al marchitamiento y enrollamiento de hojas nuevas, con flacidez de peciolo y tallos y clorosis (Gil y Pszczólkowski, 2015).

**El hierro**, es absorbido como en forma de  $\text{Fe}^{2+}$ , es de pequeña importancia, debido a la pequeña solubilidad de los compuestos férricos en la mayor parte de los suelos, es necesario para la actividad de las enzimas.

Puede considerarse como uno de los elementos principales en la corteza terrestre como en los suelos. Su potencial en la corteza terrestre está alrededor del 5 % y después del silicio y aluminio es el elemento más abundante. Su contenido en los suelos templados varía entre 1 y 5 %, valores inferiores a 1 % suelen encontrarse en suelos ácidos de textura gruesa, en caso aislados, latosoles y lateritas, pueden hallarse valores cercanos al 10 % (Navarro y Navarro, 2013).

Al inicio se observa clorosis intervenal, mientras que en estados más avanzados la clorosis se generaliza en toda la lámina con las nervaduras verdes. La clorosis o amarillamiento ocurre porque el Fe es necesario para la producción de clorofila la cual es responsable de la coloración verde de las hojas. Cabe mencionar que esta deficiencia no afecta el tamaño de las hojas y se presenta en brotes nuevos, debido a que una vez que el hierro se deposita en las hojas adultas, en condiciones de deficiencia, éste no se removiliza a los brotes nuevos (Intagri, 2008).

**El manganeso**, es absorbido por la planta bajo la forma de  $\text{Mn}^{+2}$  y como quelato tanto en su forma radicular como por las hojas directamente, por esta vía es aplicado normalmente por pulverización para corregir la deficiencia. Este elemento interviene en diferentes procesos metabólicos, en la litosfera su contenido medio es de 1000 ppm, pero en los suelos las cantidades varían entre 200 y 300 ppm. Sin embargo, estos contenidos totales no pueden considerarse como una indicación de su disponibilidad para las plantas, ya que existen muchos factores que afectan su absorción (Navarro y Navarro, 2013).

Los suelos calizos reducen fuertemente la absorción de manganeso, mientras que los más ácidos la favorecen, pudiendo encontrarse además carencias en los suelos arenosos (Togores, 2010).

**El boro**, ayuda a mejorar la calidad y cantidad de rendimiento de la planta, ya que interviene desde la formación de las frutas. Las formas absorbidas por la planta en formas de ácido bórico:  $\text{B}_4\text{O}_3+3$ ,  $\text{H}_2\text{BO}_3$ ,  $\text{HBO}_3$  (Iñiguez, 2007).

En la mayor parte de los suelos, el boro se encuentra en cantidades extremadamente pequeñas, oscila generalmente entre 2 y 100 ppm, la mayor parte no es utilizable por la planta, la forma asimilable solo alcanza entre 0,4 y 5 ppm y suministrada principalmente por la fracción orgánica (Navarro y Navarro, 2013).

La disminución del crecimiento y deformación en las zonas de crecimiento, disminución de la superficie foliar, con hojas jóvenes deformes, gruesas quebradizas y pequeñas, pueden presentar clorosis o incluso un color verde más intenso, crecimiento dañado de la raíz (Iñiguez, 2007).

**El molibdeno**, dentro de las características de los suelos y condiciones en que normalmente se hallan, la mayor parte del molibdeno se encuentra en un estado no disponible para la planta. Se ha comprobado que cuando se utiliza disoluciones extractoras corrientes, tales como acetato u oxalato amónico, solo un 10 % se encuentra en forma asimilable. En la mayor parte de los suelos, por tanto se suelen registrar valores inferiores a 0,2 ppm de molibdeno util (Navarro y Navarro, 2013).

La deficiencia están relacionadas con el metabolismo del nitrógeno, es corriente la necrosis ya sea parcialmente, en forma de manchas marginales o alcanzado la totalidad de la hoja (Togores, 2010).

## **2.2. Propiedades químicas del suelo**

**pH.** Índica la concentración de iones hidrógeno en una disolución, se trata de una medida de la acidez. Es un parámetro que influyen en la fertilidad del suelo, indica si contiene niveles tóxicos de aluminio y manganeso, si es bajo el contenido de elementos básicos como el calcio y el magnesio, se puede regular con la adición de sustancias como el óxido de calcio. La disponibilidad de otros nutrientes esenciales para la planta depende de los valores de pH. La acidificación de los suelos reduce el crecimiento de las plantas, por la disminución de la disponibilidad de algunos nutrimentos como Ca, Mg, K y P, por lo que favorece la solubilidad de elementos tóxicos en el suelo, de esta manera perjudica las plantas, estos elementos son el Al y Mn.

La toxicidad por aluminio es el principal factor, con efectos directos en el metabolismo de las plantas, incluyendo una interferencia con la transferencia de iones y agua a través de las membranas celulares de la raíz, obstruyendo la alimentación de nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas (Rivera, Sánchez, y Domínguez, 2018).

**Capacidad de intercambio catiónico.** Se define como la cantidad total de carga negativa por unidad de masa de suelo o como la suma total de los cationes intercambiables. Esto es expresado en unidades de centimoles de la carga del catión por kilogramo ( $\text{cmol kg}^{-1}$ ) o mil equivalentes de carga por 100 gramos de suelo ( $\text{meq } 100\text{g}^{-1}$ ).

Se considera que los suelos con alta CIC  $> 20 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ , son categorizados como más fértiles, ya que pueden retener más nutrientes que fueron absorbidos por las plantas o lixiviados fuera de la zona radicular (Padilla, 2007).

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

Valarezo *et al.* (1998) en clase textural franco arcilloso (FoAc), los valores del rango de las características físicas de los suelos de la Región Sur de Ecuador en los dos horizontes superiores  $< 180 \text{ cm}$  son: densidad aparente  $\text{g cm}^{-3}$  (Da) de 0,63 – 1,83; capacidad de campo % (CC) de 35,77 – 67,37; punto de marchitez permanente % (PMP) de 9,87 – 36,21; capacidad de aireación % (CA) de 0,93 – 8,27; agua aprovechable % (AA) de 11,44 – 38,57; 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  $\text{g cm}^{-3}$  (Da) de 1,30 – 1,40; capacidad de campo % (CC) de 31,00 – 41,00; punto de marchitez permanente % (PMP) de 15,00 – 20,00; capacidad de aireación % (CA) 13; agua aprovechable % (AA) de 16,00 – 22,00.

### **2.4. Evaluación química de la fertilidad del suelo**

En la agroindustria, una de las principales herramientas para mejorar la producción de los cultivos, es la fertilización, la misma que debe estar sustentada en los análisis del suelo, que permiten efectuar pronósticos sobre la disponibilidad de los nutrientes para las plantas. Los análisis físicos y químicos vienen siendo utilizados desde finales del siglo XIX como el principal criterio para determinar parámetros como: acidez del suelo, disponibilidad de macronutrientes tales como: P, K, Ca, S y Mg, así como los micronutrientes Zn, Cu, Fe y Mn, B entre otros. Un análisis de

suelo con fines de fertilización es particular ya que no busca cuantificar el contenido total del elemento a analizar, sino determinar el contenido disponible para la planta; además, al existir una gran variedad de tipos de suelos con características físicas y químicas diferentes la planta absorbe de forma y en cantidades diferentes, por lo que para cuantificar el contenido disponible no se puede utilizar una misma solución extractante para los diferentes tipos de suelos.

Por tanto, la fertilización depende básicamente en determinar el extractante adecuado para el tipo de suelo, así como la calidad y fiabilidad del laboratorio en el que se realicen los análisis. La solución extractante busca extraer los elementos disponibles en el suelo y que la planta pueda asimilarlos, el ensayo en el laboratorio consiste por lo general en realizar una solución acuosa con uno o varios compuestos químicos que puedan emular lo que la planta extraería, como ejemplo se cita a los extractantes de Mehlich I, II y III; Bray I y II; Olsen, Olsen Modificado (Aucatoma, 2017).

**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 por Nelson et. al en

1953, también conocida como Carolina del Norte. Extrae la mayoría de los nutrientes necesarios para evaluar el estado de la fertilidad de un suelo, esta no fue efectiva en suelos alcalinos; por lo que se modificó. (Chonay, Herrera, Sabaja, Carias, y Castillo, 2000).

**Solución extractora Mehlich III.** La solución está compuesta de 0,2 N de ácido acético (HOAc); 0,25 N de nitrato de amonio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ); 0,015 de fluoruro de amonio ( $\text{NH}_4\text{F}$ ); 0,013 N de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) y 0,001 M de EDTA regulada al pH de 2,5. Se utiliza para la extracción simultanea de macronutrientes como: Ca, Mg, K, P, S y micronutrientes como: Cu, Zn y Mn. (Cabalceta y Molina, 2006).

**Morgan modificado.** La solución está compuesta de acetato de sodio (NaOAc) 1 N, ácido acético (HOAc), DPTA 0,00013 M y pH de 4,8; se utiliza para la extracción simultanea de macronutrientes como: Ca, Mg, P y micronutrientes como: Cu, Zn y Mn (Cabalceta y Molina, 1990).

**Solución extractora Olsen Modificada.** La solución está compuesta de 0.5 N de bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ), 0.01M EDTA con 0.5 g de superfloc 127 para preparar 10 litros de solución, es apropiado para suelos de origen volcánico; se utiliza 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 (RELASE, 2016).

**Solución extractora Bray I.** La solución está formada por fluoruro de amonio 1M y ácido clorhídrico 0,5 M. Para suelos ácidos, el fluoruro incrementa la liberación del fósforo y decrece la liberación de aluminio por la formación del complejo de aluminio y fluoruro. Es una solución extractora no recomendada para suelos calcáreos debido a la neutralización de los carbonatos de calcio lo cual se disuelve el complejo de fósforo calcio (Chonay et al., 2000).

**Solución extractora Bray II.** La solución extractora está compuesta de HCl 0,1 N y  $\text{NH}_4\text{F}$  0,03 N, se agita, se filtra y se cuantifica colorimétricamente el fósforo disponible por reacción con ácido cloromolibdico y cloruro estannoso (García y Ballesteros, 2006).

## 2.6. Utilización de la solución Olsen Modificado en el Ecuador

La mayoría de laboratorios pertenecientes a la Red de Laboratorios de Análisis Químico de Suelos del Ecuador (RELASE) 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 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 micro elementos Zn, Cu, Fe y Mn, lo cual ha dado como resultado que no sea atractivo comercialmente preparar materiales de referencia certificados debido a que esta solución funciona correctamente para suelos de pH neutro a alcalino (Aucatoma, 2017).

**La red de laboratorios de suelos en el Ecuador.** Tiene como objetivo, brindar a los productores un servicio que cumpla con los estándares de calidad para el estudio de suelos, foliares y aguas, 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, esta se encuentra bajo la Coordinación de la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro – AGROCALIDAD, a través del Laboratorio de Suelos, Foliares y Aguas (Jaramillo, 2018).

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

RELASE (2016) manifiesta que se evalúan 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.

## **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 (Sánchez y Camacho, 1981).

Esta técnica se fundamenta en eliminar de la fórmula nutritiva completa, un elemento de manera que permita el análisis de esta ausencia en la planta indicadora. El objetivo principal de esta práctica es establecer la capacidad de un suelo de proveer los elementos nutritivos para un adecuado desarrollo (Briceño y Pacheco, 1984). Esta técnica, conocida como método biológico en el cual se usan plantas para la evaluación del comportamiento a la variabilidad nutritiva de los suelos (Henriquez, Bertsch, y Salas, 1995).

Sus ventajas, el control relativo que existe bajo condiciones de invernadero de los factores ambientales tales como: temperatura, luz, disponibilidad de agua, plagas, hongos, y otros, aislando de esta forma el efecto de fertilidad del suelo. Su desventaja, no está al alcance de la mayoría de los agricultores, debido a que se requieren condiciones especiales para su realización y las soluciones de concentración conocida que se usan sólo pueden ser preparadas en un laboratorio. Además, debido a que se controlan las condiciones externas, sus resultados no son extrapolables al campo en forma inmediata Bertsch (1982) citado por (Velasquez, 2019).

## **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 el cultivo, grado de acidez del suelo, composición química de los fertilizantes y enmiendas, compatibilidad de los fertilizantes,

topografías del terreno, época de aplicación, recomendaciones técnicas y otras formas de mejorar la fertilidad.

**Requerimientos de nutrimentos.** La cantidad de fertilizantes y las fuentes de macro y micronutrientes a ser aplicados en los 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, en la Tabla 1, 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

<b>Autores</b>	<b>I</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>S</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Zn</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>B</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	220	50	150	10	1,5	-	1,5	0,8	1,5
Iñiguez, 2007	M	208	57	10	-	-	-	-	-	-	-	-
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		100	20	20	0	0	0	0	-	0	0	0
Iñiguez, 2007	A	130	40	140	-	-	-	-	-	-	-	-
INIAP, 1993		0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
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 de los análisis químicos, se calcula la relación de cationes intercambiables:  $\text{Ca Mg}^{-1}$ ,  $\text{Mg K}^{-1}$ ,  $(\text{Ca}+\text{Mg}) \text{K}^{-1}$ . 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

<b>Relaciones entre cationes</b>	<b>Rangos óptimos (cmol kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Nivel crítico (cmol kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Recomendación</b>
Ca Mg <sup>-1</sup>	2,6 – 8,0	Si <2,6	Agregar calcio
		Si >8,0	Agregar magnesio
Mg K <sup>-1</sup>	7,5 – 15,0	Si <7,5	Agregar magnesio
		Si >15,0	Agregar potasio
(Ca + Mg) K <sup>-1</sup>	27,5 – 55,0	Si <27,5	Agregar calcio y magnesio
		Si >55,0	Agregar potasio

Fuente: Enríquez y Duicela, 2014.

## 2.9. Evaluación química y biológica en suelos del Ecuador

Loaiza (2013) en un suelo de pH muy ácido a ácido, desarrollado sobre granodiorita, tratado con carbón vegetal, cal y nutrientes en el Sur de la Amazonía – Ecuatoriana concluye, que con evaluación biológica se evidencio que el N, P y B son bajos, mientras que en los análisis químicos determino alto.

Castillo y Salinas (2014) en suelos de pH ácido a ligeramente ácido, de origen volcánico, en Santa Marianita, del cantón Buena Fé, provincia de Los Ríos; y Cucaracha del cantón Quinindé, provincia de Esmeraldas, concluyen: 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 ácidos de cultivo en callejones de *Gliricida sepium*, concluye que el N, P, K y Mn en la evaluación biológica se evidencio que son bajos, mientras que en los análisis químicos es alto

Aguirre (2017) en suelos de pH muy ácido a ligeramente ácido en uso de suelo de maíz y fresa, en el sector San Vicente de la parroquia Chuquiribamba, concluye que para las seis unidades de suelo, en la evaluación biológica se evidencio que el S, N y P son bajos, mientras que en los análisis químicos la determinación del valor es alto; el K en las unidades de suelo con uso de maíz, en la evaluación biológica y en los análisis químicos se observó bajo, para las unidades de suelos

con uso de fresa en la evaluación biológica se evidencio bajo mientras los análisis químicos determinaron alto.

Con base a estas investigaciones, se ha probado que no existe una correspondencia entre la evaluación biológica y la solución extractora de Olsen Modificado para los elementos de N, P, K, S, Mg y B, concuerdan con esta investigación que no existe correspondencia para N, P, K, Mg, S y B.

### 3. Materiales y métodos

#### 3.1. Ubicación de los sectores de estudio

##### Ubicación política, geográfica y características biofísicas de Chaguarpamba

El cantón Chaguarpamba, está limitado al Norte: con la parroquia el Rosario, cantón Chaguarpamba; al Sur: con el cantón Olmedo, provincia de Loja; al Este: con el cantón Catamayo, provincia de Loja y al Oeste: con la parroquia Amarillos, cantón Chaguarpamba (Figura 1) (GAD del Cantón Chaguarpamba, 2017). La ubicación geográfica en las coordenadas planas corresponde a 9570494 m N, 650062 m E, hasta 9570496 m N, 649885 m E, a una altitud de 1444 a 1462 msnm.

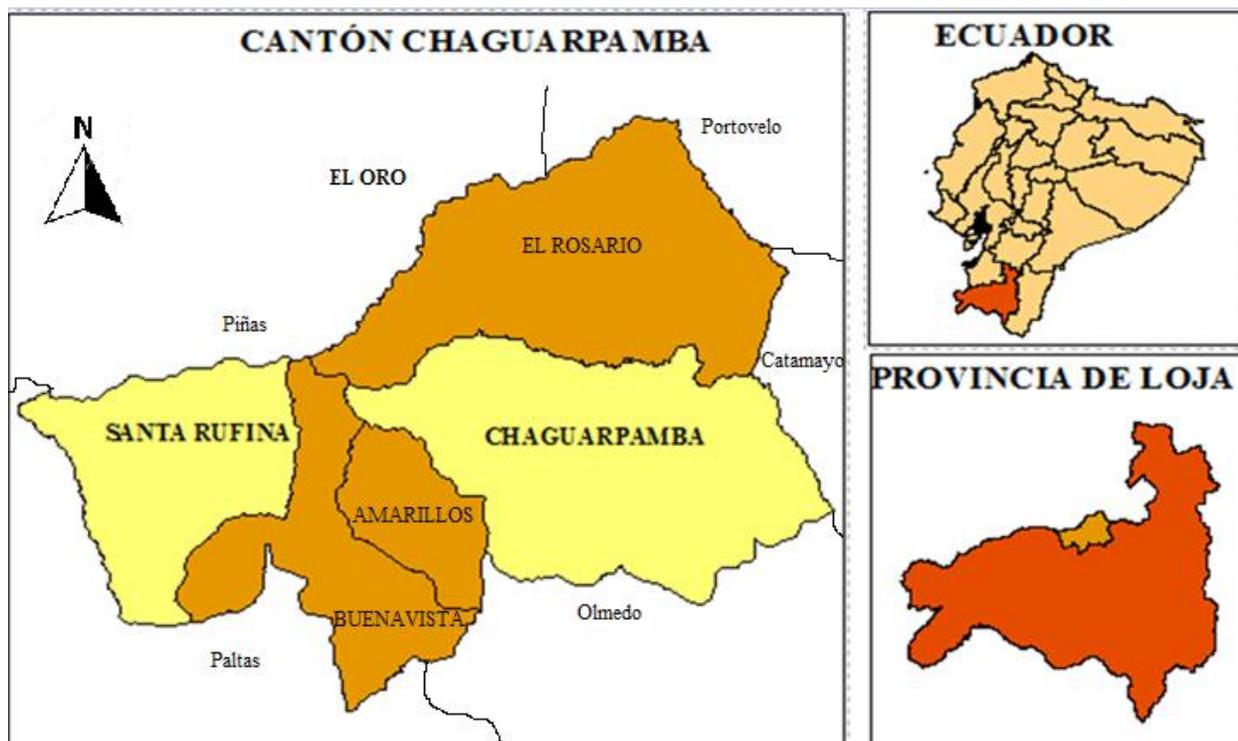


Figura 1. Ubicación geográfica de los sectores de estudio

Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano

El relieve, predomina en su mayoría terrenos con pendientes menor al 70% y en menor cantidad los terrenos escarpados (50-70 %) y colinados (25 – 50 %); la geología corresponde a la unidad Chaguarpamba: Tobas arenosas intercaladas con limolitas, aglomeradas y turbiritas fosilíferas; los suelos pertenecen a los órdenes según la clasificación de la Soil Taxonomy son:

Inceptisoles, Entisoles y Alfisoles; el clima es Ecuatorial Mesotérmico Semi – Húmedo, con dos estaciones lluviosas en los meses de diciembre a abril, y verano en el mes de junio a noviembre, las temperaturas medias anuales varían de 18°C a 20°C (GAD del Cantón Chaguarpamba, 2017).

### **Ubicación política, geográfica y características biofísicas de Lozumbe**

Está ubicado políticamente en la parroquia de Santa Rufina, al Noroeste del Cantón y Provincia de Loja, la parroquia de Santa Rufina limita al Norte con el cantón Piñas de la provincia de El Oro, al Sur y Oeste con el cantón Paltas, al Este con la parroquia de Buenavista del cantón Chaguarpamba (Figura 1) (Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Santa Rufina, 2015). La ubicación geográfica en las coordenadas planas corresponde a 9574263 m N, 639792 m E, hasta 9574025 m N, 639805 m E, a una altitud de 828 a 863 msnm.

El relieve, predomina en su mayoría terrenos montañosos con pendientes muy fuertes a fuertes, el área cubierta por pendientes fuertes es de 44,66 %; y de pendientes muy fuertes el de 42.55 % del total parroquial; la geología corresponde a la unidad Chaguarpamba: Tobas arenosas intercaladas con limolitas, aglomeradas y turbiritas fosilíferas; los suelos son de textura arcillosos, poco arenosos-arcillosos, rocosos y fértiles para la agricultura. El tipo de suelo más representativo está el tipo Alfisol con el 34,78%, inceptisol con el 34.06 % y finalmente se encuentra el inceptisol+alfis con el 19,07%; el clima es Ecuatorial Mesotérmico Semi-húmedo anual, con dos estaciones lluviosas en los meses de diciembre a abril, y verano en el mes de junio a noviembre. Las temperaturas medias anuales varían de 15,4 a 28,9 °C (GAD de la parroquia Santa Rufina, 2017).

### **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 9554004,92 m N, 699868,76 m E a una altitud de 2139 msnm.

### **3.3. Materiales y equipos**

180 tarrinas de plástico de 700ml, 180 vasos de plásticos de 250 ml, semillas de tomate riñón (Flora Dade), fundas de papel y plástico, recipientes de plástico de 20 l, barreno, baldes, tejido nylon, muestras de suelo, cilindros Kopecky de 100 cm<sup>3</sup>, 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 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, con base a 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 recolectó muestras alteradas para los dos sectores, hasta una profundidad de 25 cm, para el análisis químico, donde se determinó: pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub>, elementos disponibles (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Mn, Fe, B, Zn), capacidad de intercambio catiónico, materia orgánica en el Laboratorio de Suelos, Foliare y Aguas de AGROCALIDAD.

En cada perfil del suelo se tomaron muestras inalteradas por duplicado de los dos horizontes superiores, con los anillos Kopecky, para determinar 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, se determinó la infiltración del agua en un lugar representativo 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.**

##### **Esquema de muestreo:**

**Chaguarpamba.** En la finca “Romerillos” se recolecto 3 muestras en cada uso de suelo del sistema agroforestal con café variedad Geisha, Catuai y Villalobos, por cada uso de suelo se

tomó 8 kg de suelo, de los cuales se dividió; 1 kg para los análisis químicos y 7 kg para la evaluación biológica (12 soluciones nutritivas con 3 repeticiones, número total de plantas 108), cada muestra fue tomada hasta una profundidad de 25 cm.

Los tratamientos son las soluciones nutritivas (SC, -N, -P, -K, -Mg, -S, -Fe, -Mn, -Zn, B y -Cu, Testigo) y el uso del suelo con base a variedad de café: Geisha, Catuai, Villalobos.

**Lozumbé.** En la finca cafetalera se recolecto 2 muestras en cada sistema agroforestal con café en pendiente del 26 y 60 %, por cada uso de suelo se tomó 8 kg de suelo, de los cuales se dividió; 1 kg para los análisis químicos y 7 kg para la evaluación biológica (12 soluciones nutritivas con 3 repeticiones, número total de plantas 72), cada muestra fue tomada hasta una profundidad de 25 cm.

Los tratamientos son las soluciones nutritivas (SC, -N, -P, -K, -Mg, -S, -Fe, -Mn, -Zn, B y -Cu, Testigo) y el uso del suelo con base a la pendiente del 25 y 60 %.

**Variables evaluadas:** altura de planta de tomate (cm) y peso de materia seca (g).

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

Tabla 3 Tipos de sales y las cantidades para preparar las soluciones madres 1N de los macro elementos

Sales utilizadas	Peso molecular(g)	Cantidad de 1 l Sol 1N (g l <sup>-1</sup> )
Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> . 4H <sub>2</sub> O	236,0	118,0
KNO <sub>3</sub>	101,0	101,0
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	136,0	136,0
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	120,0	120,0
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	174,0	87,0
MgSO <sub>4</sub> . 7H <sub>2</sub> O	246,0	123,0
MgCl <sub>2</sub> . 6H <sub>2</sub> O	202,0	101,0
CaCl <sub>2</sub> . 6H <sub>2</sub> O	218,0	109,0
NaCl	58,0	58,0

Tabla 4 Concentración de la solución madre y cantidades de sales para la preparación de un litro de la solución madre de micronutrientes

Sales	g l <sup>-1</sup>	ppm solución madre	ml l <sup>-1</sup>	ppm solución nutritiva
MnCl <sub>2</sub> . 4H <sub>2</sub> O	1,81	500,0	1,0	0,50
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	2,86	500,0	1,0	0,50
ZnSO <sub>4</sub> . 7H <sub>2</sub> O	0,22	50,0	1,0	0,05
CuSO <sub>4</sub> . 5H <sub>2</sub> O	0,16	40,0	1,0	0,04
(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> . 4H <sub>2</sub> O	0,04	20,0	1,0	0,02
NaFe-EDTA	32,75	5000,0	1,0	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 5 Volúmenes de las soluciones madre que se necesita para 1l de las soluciones nutritivas

Solución stock	ml										
	SC	-N	-P	-K	-Mg	-S	-Zn	-Cu	-Mn	-B	-Fe
Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> . 4H <sub>2</sub> O	6,0	-	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
KNO <sub>3</sub>	2,0	-	2,0	-	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	2,0	2,0	-	-	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	-	-	-	2,0	-	-	-	-	-	-	-
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	2,0	2,0	-	1,0	-	-	-	-	-	-
MgSO <sub>4</sub> . 7H <sub>2</sub> O	1,5	1,5	1,5	1,5	-	-	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
MgCl <sub>2</sub> . 6H <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-	1,5	-	-	-	-	-
CaCl <sub>2</sub> . 6H <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> . 4H <sub>2</sub> O	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-	1,0	1,0
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-	1,0
ZnSO <sub>4</sub> . 7H <sub>2</sub> O	1v	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-	1,0	1,0	1,0	1,0
CuSO <sub>4</sub> . 5H <sub>2</sub> O	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-	1,0	1,0	1,0
(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> . 4H <sub>2</sub> 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 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 (700 ml), se hizo un recorte en forma circular del tamaño del diámetro de los vasos que contienen el suelo, el fondo del vaso debe estar en contacto con la solución nutritiva de la tarrina.

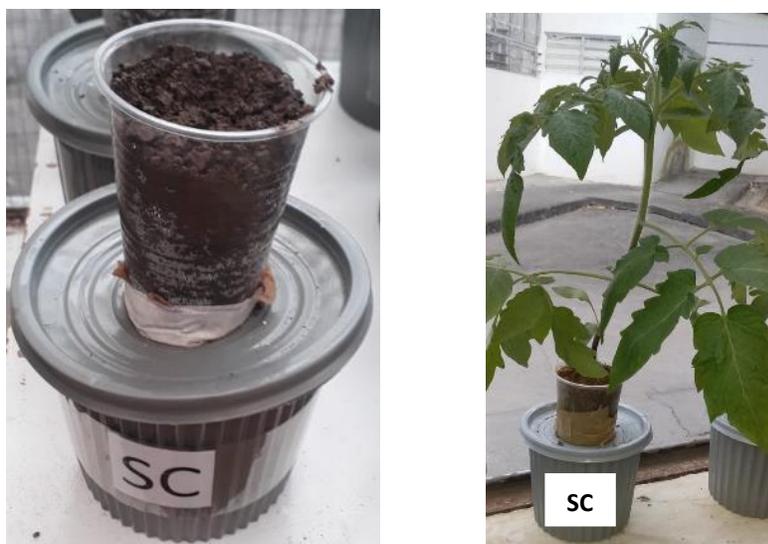


Figura 2. Ajuste de recipientes para el ensayo

**Instalación del experimento:** Se etiquetó la tarrina, cada una es la unidad básica. En las tarrinas se añadió 600 ml de cada solución nutritiva como: solución nutritiva completa, la misma que contiene todos los macros y micro elementos (N, P, K, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B y Cu); solución nutritiva menos nitrógeno, contiene macros y micro elementos (P, K, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B, Cu); solución nutritiva menos fósforo, contiene macros y micro elementos (N, K, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B, Cu); solución nutritiva menos potasio, contiene macros y microelementos (N, P, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B, Cu); solución nutritiva menos magnesio, contiene macros y micro elementos (N, P, K, S, Fe, Mn, Zn, B, Cu); solución nutritiva menos azufre, contiene macros y micro elementos (N, P, K, Mg, Fe, Mn, Zn, B, Cu); solución nutritiva menos hierro, contiene macros y micro elementos (N, P, K, Mg, S, Mn, Zn, B, Cu); solución nutritiva menos manganeso, contiene macros y micro elementos (N, P, K, Mg, S, Fe, Zn, B, Cu); solución nutritiva menos zinc, contiene macros y micro elementos (N, P, K, Mg, S, Fe, Mn, B, Cu); solución nutritiva menos boro, contiene macros y micro elementos (N, P, K, Mg, S, Fe, Mn, Zn, Cu); solución nutritiva menos cobre, contiene

macros y micro elementos (N, P, K, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B); luego se colocó la tapa perforada y se introduce el vaso plástico que contiene los 200 g de suelo, este debe estar en contacto con la solución nutritiva a una profundidad de 1 cm.

**Siembra y raleo de la planta indicadora:** Después de 24 horas la solución nutritiva por efecto de capilaridad asciende y humedece todo el suelo, en cada vaso se sembró tres semillas de tomate (variedad Flora Dade), 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, luego se coloca en la estufa a 60°C durante cuatro días para determinar la biomasa seca.

### 3.4.3. 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 6 Interpretación de resultados de los análisis químicos - región Costa

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

Tabla 7 Interpretación de valores de altura y biomasa (%) de la planta indicadora

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

**Fuente:** Miguel Villamagua, comunicación personal, 2019.

#### 3.4.4. Plan de fertilidad.

Se definió las cantidades y tipos de fertilizantes a aplicar, con base a los nutrientes disponibles en el suelo 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  $\text{Ca Mg}^{-1}$ : 2.6-8  $\text{cmol kg}^{-1}$ ;  $\text{Mg K}^{-1}$ : 7,5-15  $\text{cmol kg}^{-1}$ ;  $(\text{Ca}+\text{Mg}) \text{K}^{-1}$  27.5-55  $\text{cmol kg}^{-1}$ .

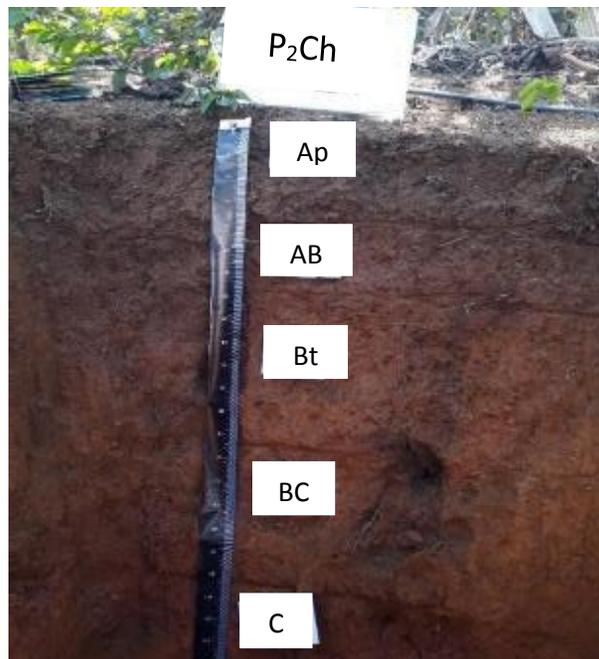
## 4. Resultados y discusión

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

La vegetación del sistema agroforestal de Chaguarpamba está compuesta por especies como: Banano (*Musa paradisiaca* L.), Borrachero (*Solanum oblongifolium*), Pico-Pico (*Acnistus arborescens* L.), Guayabo (*Psidium guajava* L.), Laritaco (*Vernonanthura patens*) y 93 % de Café (*Coffea arabica* L.) (Sarango, 2018).

#### 4.1.1. Suelo del sistema agroforestal con variedad de café Catuai.

**Condiciones morfológicas:** Suelo muy profundo formado por cinco horizontes genéticos. Un horizonte Ap de 20 cm de espesor, un AB de 10 cm, un horizonte Bt de 35 cm, una transición BC de 30 cm y un horizonte C de 25 cm. Se observa esporádicamente granos de cuarzo proveniente del material parental. Las raíces son abundantes en la capa menor a 20 cm, comunes en el AB y pocas hasta 65 cm. El color rojizo por presencia de hematita se incrementa con la profundidad.



**Condiciones físicas:** En el horizonte Ap, (00 - 20cm) el AA es 33 % (muy alto), la CA es 14 % (media), ubicado en la zona III, correspondiente a una situación medio de las condiciones

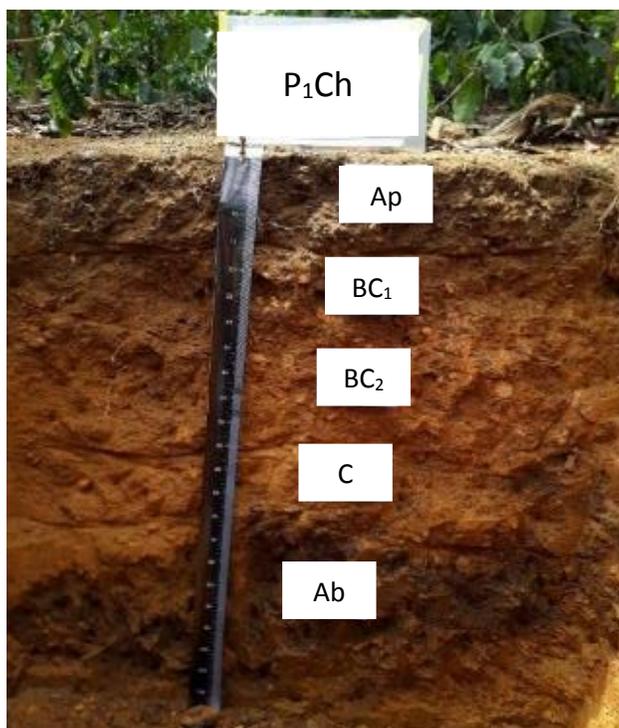
físicas del suelo para la planta. En el horizonte AB, (20 - 30cm) el AA es 38 % (muy alto), la CA es 5 % (baja), ubicado en la zona I-II, que corresponde a una situación pobre a muy pobre. La baja capacidad de aireación se debe probablemente a la textura del suelo franco arcilloso y a la densidad aparente  $1,3 \text{ g cm}^{-3}$  en el segundo horizonte (Tabla 8). Las condiciones físicas de los suelos de la región Sur del Ecuador, en clase textural del suelo franco arcilloso (FoAc), como este caso, se encuentran en el intervalo manifestado por Valarezo *et al* (1998).

**Condiciones químicas:** En las condiciones químicas, el valor de  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  de 4,76, se encontró en el rango ácido, la acidez cambiante ( $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ) y aluminio intercambiable ( $\text{Al}^{3+}$ ), corresponden a un rango de toxico, esta acidez se explica por la génesis de estos suelos (tobas volcánicas y cuarzo), además las altas precipitaciones en estas zonas laderas ocasiona la lixiviación de cationes intercambiables (Ca, Mg, K y Na). El potasio y sodio son los dos cationes que se lixivian más fácilmente y dan lugar a ser sustituidos por el hidrógeno y el aluminio. Así mismo, el alto contenido de M.O. (5,85 %) al descomponerse por la acción de los microorganismos del suelo, se libera dióxido de carbono que se transforma fácilmente en bicarbonato, esta reacción libera hidrógeno de esta manera el suelo se vuelve ácido Intagri (2016). El contenido de la C.I.C es medio, el porcentaje de saturación de bases es 37 %, el cual indica una baja fertilidad de este suelo (Tabla 13).

**Fertilidad actual.** Los resultados de los análisis químicos, a través del método de Olsen Modificado, el contenido de elementos disponibles como el Mg, Fe, Mn, Cu, y S se encuentran en el rango alto; el N, P y K, en el rango medio; y, el B y Zn con contenidos bajo. Además, en esta capa se encuentra un alto contenido de materia orgánica (Anexo 12).

#### 4.1.2. Suelo del sistema agroforestal con variedad de café Geisha.

**Condiciones morfológicas.** Suelo muy profundo, formado en dos etapas que resultan en dos grupos de horizontes. La parte superior, con evidencias de rocas fracturadas, ha sido formada a partir de un coluvión; está constituida por un horizonte Ap de 15 cm de espesor; un horizonte  $\text{BC}_1$  de 15 cm, un horizonte  $\text{BC}_2$  de 25 cm y un horizonte C de 15 cm. La parte inferior corresponde a un horizonte enterrado Ab de 40 cm. Las piedras los horizontes  $\text{BC}_1$  y  $\text{BC}_2$  en un 80 % se encuentran meteorizadas, se rompen con la mano o el cuchillo. La mayoría de las raíces se observa en la capa menor a 15 cm; raíces muy finas y muy pocas se encuentran hasta los 50 cm.

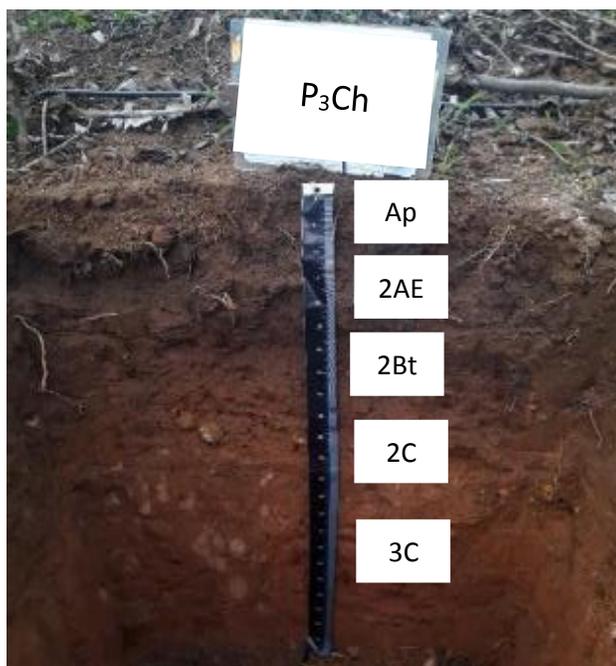


**Condiciones físicas:** En el horizonte Ap, (00 - 15cm) el AA es del 41 % (alto), la CA es del 8 % (baja), ubicado en la zona II, correspondiente a una situación pobre de las condiciones físicas del suelo para la planta. En el horizonte BC<sub>1</sub>, (15 - 30cm) el AA es 38 % (muy alto), la CA es 2 % (muy baja), ubicado en la zona I, que corresponde a una situación de muy pobre. La baja capacidad de aireación se debe probablemente a la textura del suelo franco arcilloso y a la densidad aparente  $1,3 \text{ g cm}^{-3}$  en el segundo horizonte (Tabla 8). Las condiciones físicas de los suelos de la región Sur del Ecuador, en clase textural del suelo franco arcilloso (FoAc), como este caso, se encuentran en el intervalo manifestado por Valarezo *et al* (1998).

**Fertilidad actual:** Los resultados de los análisis químicos, los contenidos de los elementos disponibles K, Mg, Fe, Mn, Cu, y S se encuentran en el rango alto; el N, P, y Zn en el rango medio; y, el B en el rango bajo. Además, en esta capa se encuentra un alto contenido de materia orgánica (Anexo 12).

#### 4.1.3. Suelo del sistema agroforestal con variedad de café Villalobos.

**Condiciones morfológicas:** Suelo muy profundo, formado cronológicamente en tres fases. La tercera (reciente) corresponde a la capa superior depositada por erosión de las partes superiores, denominado como horizontes Ap de 5 cm de espesor. La segunda fase el suelo se ha formado del material coluvial, está constituido de tres horizontes: 2AE de 20 cm; 2Bt de 20 cm y 2C de 30 cm, con relictos de piedra del material parental. La primera fase (antigua) corresponde al horizonte inferior 3C. Raíces abundantes hasta 25 cm; finas y pocas hasta 75cm.



**Condiciones físicas:** En el horizonte Ap, (00 - 5cm) el AA es 40 % (muy alto), la CA es 13 % (media), ubicado en la zona III, correspondiente a una situación media de las condiciones físicas del suelo para la planta. En el horizonte 2AE, (5 - 25cm) el AA es 40 % (muy alto), la CA es 13 % (medio), ubicado en la zona III, que corresponde a una situación medio. La baja capacidad de aireación se debe probablemente a la textura del suelo franco arcilloso y a la densidad aparente  $1,3 \text{ g cm}^{-3}$  en el segundo horizonte (Tabla 8). Las condiciones físicas de los suelos de la región Sur del Ecuador, en clase textural del suelo franco arcilloso (FoAc), como este caso, se encuentran en el intervalo manifestado por Valarezo *et al* (1998).

**Fertilidad actual:** Los resultados de los análisis químicos, los contenidos de los elementos disponibles K, Fe, Mn, Cu, y S; se encuentran en el rango alto; el N, P, Mg, y Zn en el rango

medio; y, el B con contenido bajo. Además, en esta capa se encuentra un alto contenido de materia orgánica (Anexo 12).

Tabla 8 Propiedades físicas ( $\Theta_v$ ) del suelo en el sistema agroforestal de Chaguarpamba

Uso de suelo	SAF con café variedad Geisha		SAF con café variedad Catuai		SAF con café variedad Villalobos	
	Ap	BC <sub>1</sub>	Ap	AB	Ap	2AE
Horizonte	Ap	BC <sub>1</sub>	Ap	AB	Ap	2AE
Prof. (cm)	00-15	15-30	00-20	20-30	00-5	5-25
Da (g cm <sup>-3</sup> )	1,08	1,26	1,07	1,22	1,05	1,10
SS (%)	57,00	54,00	58,00	54,00	58,00	58,00
CC (%)	50,00	52,00	44,00	49,00	45,00	45,00
PMP (%)	9,00	14,00	11,00	11,00	6,00	5,00
AA (%)	41,00	38,00	33,00	38,00	40,00	40,00
VS (%)	43,00	46,00	42,00	46,00	42,00	42,00
CA (%)	8,00	2,00	14,00	5,00	13,00	13,00
VPM (%)	52,00	60,00	53,00	56,00	48,00	47,00
AA	Muy alto	Muy alto	Muy alto	Muy alto	Muy alto	Muy alto
CA	Bajo	Muy bajo	Medio	Bajo	Medio	Medio
Zona	II	I	III	I-II	III	III
Clase	Pobre	Muy pobre	Medio	Pobre a Muy pobre	Medio	Medio

Tabla 9 Infiltración básica de agua en el suelo del SAF con café en Chaguarpamba

Uso de Suelo	Velocidad de infiltración básica (cm h <sup>-1</sup> )	Condición
SAF con café variedad Geisha	19,3	Rápida
SAF con café variedad Catuai	28,6	Muy rápida
SAF con café variedad Villalobos	25,9	Muy rápida

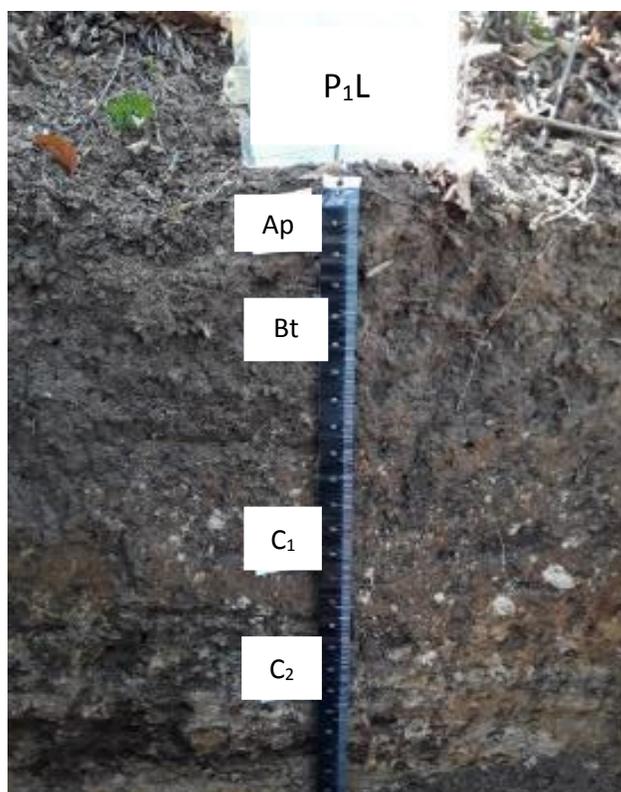
El suelo del SAF con café variedad Geisha, presenta una pendiente del 26 % y una clase textural señalada como franco arcilloso al igual que el suelo del SAF con café variedad Villalobos; la velocidad de infiltración y porcentajes de arena, limo y arcilla son: 19,3 cm h<sup>-1</sup> y (Arena: 38 %, Limo: 30 %, Arcilla: 32 %); 25,9 cm h<sup>-1</sup> y (Arena: 31 %, Limo: 31 %, Arcilla: 38 %) respectivamente, esta diferencia posiblemente sea por la profundidad del suelo, el anexo 2 y 4, el suelo del SAF con café variedad Geisha es menos profundo (110 cm) que el suelo del SAF variedad Villalobos (120 cm). El suelo del SAF con café variedad Catuai presenta una velocidad de infiltración de 28,6 cm h<sup>-1</sup> y la pendiente es de 38 %, el anexo 3 este suelo presenta una profundidad mayor (120cm) que el suelo del SAF variedad Geisha su alto valor probablemente sea por el contenido de arena y arcilla que presenta (Arena: 38 % - Limo: 34 % Arcilla: 28 %), efectivamente presenta un alto contenido de arena y un menor contenido de arcilla a diferencia de los anteriores.

## **4.2. Características morfológicas, físicas, químicas y de fertilidad del suelo en el sistema agroforestal con café de Lozumbe**

La vegetación del sistema agroforestal de Lozumbe está compuesta por especies como: Banano (*Musa paradisiaca* L.), Guabo (*Inga edulis* Mart.), Lozumbe (*Myrsine andina*), Naranja (*Citrus x sinensis* L.), Fernán Sánchez (*Triplaris cumingiana*), Guabo Blanco (*Inga edulis* Mart.), Porotillo (*Erythrina velutina* Willd.), Pachaco (*Schizolobium parahybum*), Arabisco (*Jacaranda mimosifolia*), Pico – Pico (*Acnistus arborescens* L.), Guayabo (*Psidium guajava* L.), Mango (*Mangifera indica* L.), Zapote (*Pouteria sapota*), Chaya (*Cnidoscolus aconitifolius*), Colorado (*Schinopsis balansae*), Laritaco (*Vernonanthura patens* H.), Cedro (*Cedrela odorata* L.), Papayo (*Carica papaya* L.) y 92 % de Café (*Coffea arabica* L.) (Sarango, 2018).

### **4.2.1. Suelo del sistema agroforestal con café en pendiente del 60 %.**

**Condiciones morfológicas.** Suelo profundo, formado por los siguientes horizontes: Ap de 10 cm de espesor, Bt de 35 cm, C2 de más de 40 cm. Debido a un proceso de fuerte erosión laminar por la pendiente pronunciada, han desaparecido el horizonte orgánico y el horizonte A original, lo que se evidencia en el pie de los árboles. La mayor abundancia de raíces se presenta hasta los 45 cm, pocas y finas se observan hasta 80 cm.

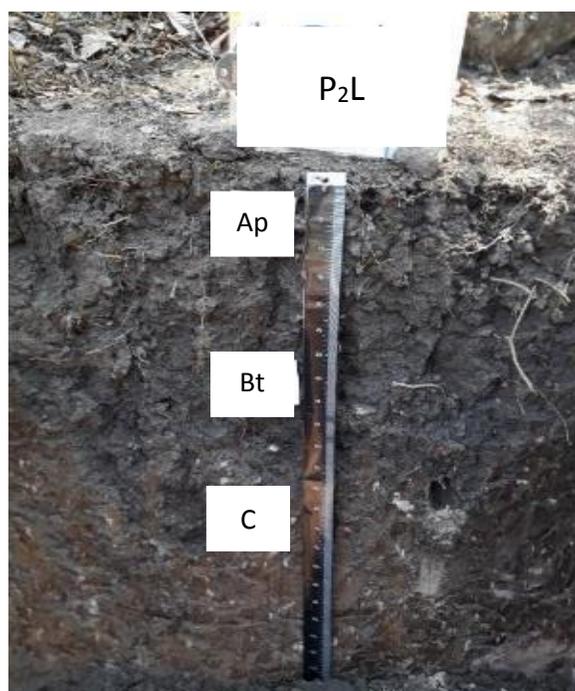


**Condiciones físicas.** En el horizonte Ap, (00-10cm) el AA es 30 % (muy alto), la CA es 5 % (baja), ubicado en la zona I-II, correspondiente a una situación pobre a muy pobre de las condiciones físicas del suelo para la planta. En el horizonte Bt, (10-45cm) el AA es 38 % (muy alto), la CA es 4 % (muy baja), ubicado en la zona I, que corresponde a una situación muy pobre. La baja capacidad de aireación se debe probablemente a la textura del suelo franco arcilloso y a la densidad aparente  $1,4 \text{ g cm}^{-3}$  en el segundo horizonte (Tabla 10), acompañada de un nivel medio de materia orgánica (Tabla 12). Las condiciones físicas de los suelos de la región Sur del Ecuador, en clase textural del suelo franco arcilloso (FoAc), como este caso, se encuentran en el intervalo manifestado por Valarezo *et al* (1998).

**Fertilidad actual.** Los resultados de los análisis químicos, los contenidos de los elementos disponibles Fe, Mn, Cu, y Zn; se encuentran en el rango alto; el N, P, K, Mg, y S en el rango medio; y, el B con contenido bajo. Además, en esta capa se encuentra un contenido de materia orgánica medio (Anexo 13).

#### 4.2.2. Suelo del sistema agroforestal con café en pendiente del 26 %.

**Condiciones morfológicas.** Suelo muy profundo, constituido por los siguientes horizontes genéticos: Ap de 15 cm de espesor con bloques subangulares grandes; Bt de 30 cm, con prismas y fisuras verticales; C de más de 70 cm, masivo con relictos dispersos del material parental. Abundante hojarasca superficial debido al clima altamente seco. Raíces abundantes hasta 15 cm, muy finas y pocas hasta 120 cm.



**Condiciones físicas.** En el horizonte Ap, (00 - 15cm) el AA es 32 % (muy alto), la CA es 3 % (muy baja), ubicado en la zona I, correspondiente a una situación muy pobre de las condiciones físicas del suelo para la planta. En el horizonte Bt, (15-45 cm) el AA es 22 % (muy alto), La CA es 4 % (muy baja), ubicado en la zona I, que corresponde a una situación muy pobre. La baja capacidad de aireación se debe a la textura del suelo franco arcilloso y a la densidad aparente  $1,4 \text{ g cm}^{-3}$  en el segundo horizonte (Tabla 10), acompañada de un nivel medio de materia orgánica (Tabla 12). Las condiciones físicas de los suelos de la región Sur del Ecuador, en clase textural del suelo franco arcilloso (FoAc), como este caso, se encuentran en el intervalo manifestado por Valarezo *et al* (1998).

**Condiciones químicas.** En las condiciones químicas el valor de  $pH_{H_2O}$  es de 6,4 categorizado en el rango ligeramente ácido, la acidez cambiante ( $H^+ + Al^{3+}$ ), es baja y el aluminio intercambiable ( $Al^{3+}$ ), es medio, el contenido de la C.I.C es alta y la saturación de bases se encuentra saturado Tabla 13, Un suelo está saturado y el exceso de calcio en el medio impide que otros elementos, tales como el hierro, puedan ser absorbidos por las plantas (Garrido, 2005).

**Fertilidad actual.** Los resultados de los análisis químicos, los contenidos de los elementos disponibles P, Fe, Mn, Cu, y Zn; se encuentran en el rango alto; el N y S en el rango medio; y, el K, Mg y B con contenidos bajos. Además, en esta capa se encuentra un contenido de materia orgánica medio (Anexo 13).

Tabla 10 Propiedades físicas ( $\Theta_v$ ) del suelo en el sistema agroforestal de Lozumbé

Uso de suelo	SAF con café pendiente del 60 %		SAF con café pendiente del 26 %	
Horizonte	Ap	Bt	Ap	Bt
Prof. (cm)	00-10	10-45	00-15	15-45
Da ( $g\ cm^{-3}$ )	1,31	1,31	1,34	1,42
SS (%)	47	50	50	46
CC (%)	42	43	46	42
PMP (%)	12	8	14	20
AA (%)	30	38	32	22
VS (%)	53	50	50	54
CA (%)	5	4	3	4
VPFI (%)	65	58	65	75
AA	Muy alto	Muy alto	Muy alto	Muy alto
CA	Bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
Zona	I-II	I	I	I
Clase	Pobre a Muy pobre	Muy pobre	Muy pobre	Muy pobre

Tabla 11 Infiltración básica de agua en el suelo del SAF con café en Lozumbé

Uso de Suelo	Velocidad de Infiltración básica ( $cm\ h^{-1}$ )	Condición
SAF con café en pendiente del 60 %	5,6	Media
SAF con café en pendiente del 26 %	1,82	Moderadamente lenta

Los bloques relativamente grandes indican que el suelo resiste la penetración y el movimiento del agua y las estructuras prismáticas presentan una mayor dificultad para la circulación del agua FAO (s. f.). El suelo del sistema agroforestal de Lozumbé presentan condiciones de velocidad de infiltración que no genera problemas en el suelo, la condición media

para el sector Lozumbe se explica por la estructura y la textura; en el suelo del SAF en pendiente del 60 % existe mayor velocidad de infiltración por que presenta menor contenido de arcilla (Arena: 26 %, Limo: 44 %, Arcilla: 30 %), a diferencia del suelo del SAF en pendiente del 26 % es menor la velocidad de infiltración por mayor contenido de arcilla (Arena:24 %, Limo: 40 %, Arcilla: 36 %).

Tabla 12 Propiedades químicas del suelo del SAF de Chaguarpamba y Lozumbe

Uso de suelo	Prof. (cm)	M.O. %	Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup>		pH H <sub>2</sub> O	CIC	Cationes cambiabes cmol kg <sup>-1</sup>				SB %	Saturación de bases %		
			cmol kg <sup>-1</sup>	Al <sup>3+</sup>			K	Ca	Mg	Na		Ca	Mg	K
Variedad Catuai	00-20	5,9	4,6	3,1	4,8	25,7	0,3	6,9	1,9	0,6	37	55	15	2
Pendiente del 26 %	00-15	4,7	0,6	0,4	6,4	25,9	0,2	25,7	3,7	0,1	Sat.	86	12	1

### 4.3. Evaluación Biológica de la fertilidad del suelo

#### 4.3.1. Altura y biomasa seca de la planta indicadora del suelo del sistema agroforestal con café de Chaguarpamba.

**Altura de la planta.** Oscila entre 7,0 cm para el testigo en el suelo del SAF con café variedad Catuai y 122 cm para la SC en el suelo del SAF con café variedad Villalobos, el suelo del SAF con variedad de café Villalobos, presenta los valores mayores en comparación con el suelo del SAF con variedad de café Catuai presenta valores menores (Figura 3).

El suelo del SAF con café variedad Villalobos, presenta una mayor altura, probablemente sea por su baja pendiente del 26 % (anexo 4); a diferencia del suelo del SAF con café variedad Catuai presenta una pendiente del 38 % (anexo 3). Los suelos con una menor cobertura vegetal y elevadas pendientes, presentan mayor erosión hídrica y por ende son de baja fertilidad (B. Sánchez et al., 2013). El suelo del SAF con café en el sector Chaguarpamba, tiene 24,75 % de sombra, la misma que está relacionada directamente con la cobertura vegetal (Sarango, 2018)

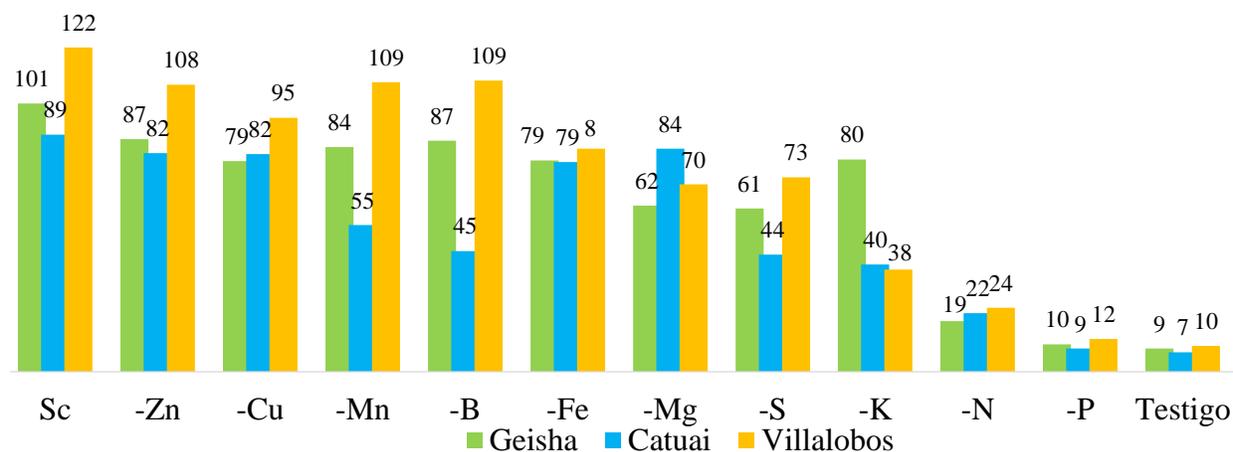


Figura 3. Altura de la planta indicadora (cm) a los 60 días de edad, del suelo del SAF con café de Chaguarpamba.

**Aspecto de la planta indicadora.** En la Figura 4 se evidencia las principales deficiencias de nitrógeno, fósforo y potasio.



Figura 4. Deficiencias de nutrientes N, P, K.

**Biomasa seca.** En la Figura 5, los valores de biomasa seca de la planta de tomate, los valores fluctúan entre 0,5 g para el testigo del suelo del SAF con café variedad Geisha y Catuai y 13,2 g para la SC del suelo uso del SAF con café variedad Villalobos.

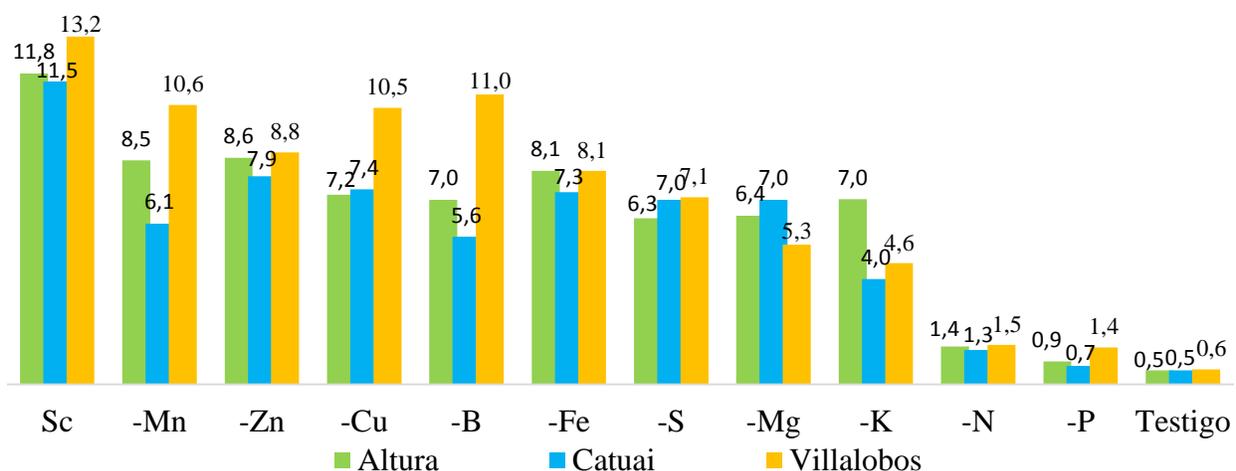


Figura 5. Peso de la biomasa seca de la planta indicadora (g), del suelo del SAF con café de Chaguarpamba.

**Solución nutritiva completa (SC).** los valores promedios de biomasa seca oscilan entre 11,5 y 13,2 g para el suelo del SAF con café variedad Catuai y Villalobos, respectivamente (Figura 5), con una diferencia del 15 %. Es importante señalar que la solución nutritiva completa contiene macro y micronutrientes indispensables para el desarrollo de las plantas, razón por la que alcanzaron mayor contenido de biomasa, con respecto a las carentes de un elemento.

**Solución – N.** los promedios biomasa seca, oscilan entre 1.3 y 1,5 g para el suelo del SAF con café variedad Catuai y Villalobos, respectivamente (Figura 5), todas las plantas de este tratamiento presentaron un menor peso de la biomasa seca en relación a la solución completa, cuya proporción entre la (SC) y la solución sin N, para el suelo del SAF con café variedad Catuai es de 9,1:1, y para el suelo del SAF con café variedad Geisha es de 8,3:1, equivalente a una diferencia porcentual de 11 y 12 %, respectivamente (Anexo 9), que corresponde al rango bajo en el análisis biológico, mientras que en los análisis químicos se encuentra en un rango medio (Figura 8).

El limitado crecimiento de la planta de tomate en la solución sin N, en relación con la solución completa, indica que este elemento es altamente deficiente en el suelo, además, los síntomas de deficiencia fueron visibles en la planta indicadora tal como lo señala Iñiguez (2007) vegetación raquítica, crecimiento lento, con hojas de color amarillento y menor número de hojas. La baja disponibilidad de este elemento, probablemente sea arrastrado a capas interiores Navarro y Navarro (2013) por las altas precipitaciones, buena infiltración y suelos con alta pendiente.

**Solución – P.** Los valores promedio de biomasa seca, oscilan entre 0,7 y 0,9 g para el suelo del SAF con café variedad Catuai y Villalobos, respectivamente (Figura 5), todas las plantas presentaron un menor peso de la biomasa seca en relación a la solución completa cuya proporción entre la (SC) y la solución sin P, para el suelo del SAF con café variedad Catuai es de 16,7:1 y para el suelo del SAF con café variedad Villalobos es de 14,3:1, equivalente a una diferencia porcentual de 6 y 7 %, respectivamente (Anexo 9), que corresponde al rango bajo en el análisis biológico, mientras que en los análisis químicos se encuentra en un rango bajo a medio (Figura 8).

La deficiencia de fósforo ocasiona un desarrollo débil de la planta, tanto del sistema radicular como de la parte aérea, produce coloración purpura en las hojas y de menor tamaño tal como lo manifiesta Iñiguez (2007) estos síntomas se presentaron en la planta indicadora deficiente de este elemento. Navarro y Navarro (2013) la precipitación del fósforo bajo la forma de fosfatos hidroxilados insolubles de hierro y aluminio es máxima entre pH caracterizados como ácidos, al igual que en los resultados de este sector, el pH está caracterizado como ácido ( $\text{pH H}_2\text{O} = 5$ ).

**Solución - K.** Los valores promedio de biomasa seca oscilan entre 4,0 y 7,0 g para el suelo del SAF con café variedad Catuai y Geisha, respectivamente (Figura 5), todas las plantas presentan un menor peso de biomasa seca en relación a la solución completa cuya proporción entre la (SC) y la solución sin K, para el suelo del SAF con café variedad Catuai es de 2,9:1 y para el suelo del SAF con café variedad Geisha es de 1,7:1, equivalente a una diferencia porcentual de 35 y 60 %, respectivamente (Anexo 9), que corresponde al rango medio en el análisis biológico, mientras que en los análisis químicos se encuentra en un rango medio a alto (Figura 8).

El desarrollo menor de la planta en la solución sin K con relación a la solución completa, indica que este elemento es deficiente, los síntomas de deficiencia que describe Navarro y Navarro (2013) como: el retraso general del crecimiento, si el estado deficitario es agudo se observa en las hojas, como un moteado de manchas de color amarillento, los mismos que fueron visibles en todas las plantas de este tratamiento.

**Solución - Mg.** Los valores promedio de biomasa seca oscilan entre 5,3 y 7,0 g para los suelos del SAF con café variedad Villalobos y Catuai, respectivamente (Figura 5), todas las plantas presentan un menor peso de la biomasa seca en relación a la solución completa cuya proporción entre la (SC) y la solución sin Mg, para el suelo del SAF con café variedad Villalobos es de 2,5:1

y para el suelo del SAF con café variedad Catuai es de 1,6:1, equivalente a una diferencia porcentual de 40 y 61 %, respectivamente (Anexo 9), que corresponde al rango medio en el análisis biológico, mientras que los análisis químicos determinaron un rango medio a alto (Figura 8).

**Solución – S.** Los valores promedio de biomasa seca oscilan entre 6,3 y 7,1 g para el suelo del SAF con café variedad Geisha y Villalobos, respectivamente (Figura 5), todas las plantas presentan un menor peso de la biomasa seca en relación a la solución completa cuya proporción entre la (SC) y la solución sin S, para el suelo del SAF con café variedad Geisha es de 1,9:1 y para el suelo del SAF con café variedad Villalobos es de 1,6:1, equivalente a una diferencia porcentual de 53 y 61 %, respectivamente (Anexo 9), que corresponde al rango medio en el análisis biológico, diferente de los análisis químicos que determinaron un rango alto (Figura 8).

**Solución – Zn.** Los valores promedio de biomasa seca oscilan entre 7,9 y 8,8 g para el suelo del SAF con café variedad Geisha y Villalobos, respectivamente (Figura 5), todas las plantas presentan un similar peso de la biomasa seca en relación a la solución completa cuya proporción entre la (SC) y la solución menos Zn, para el suelo del SAF con café variedad Villalobos es de 1,5:1 y para el suelo del SAF con café variedad Geisha es de 1,4:1, equivalente a una diferencia porcentual de 67 y 73 %, respectivamente (Anexo 9), que corresponde al rango alto en el análisis biológico, mientras que en los análisis químicos se encuentra en un rango medio a bajo (Figura 8).

La absorción de cinc 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 divalente.

**Solución – Cu.** Los valores promedio de biomasa seca oscilan entre 7,2 y 10,5 g para el suelo del SAF con café variedad Geisha y Villalobos, respectivamente (Figura 5), todas las plantas presentan un menor peso de la biomasa seca en relación a la solución completa cuya proporción entre la (SC) y la solución sin Cu, para el suelo del SAF con café variedad Geisha es de 1,6:1 y para el suelo del SAF con café variedad Villalobos es de 1,3:1, equivalente a una diferencia porcentual de 61 y 80 %, respectivamente (Anexo 9), que corresponde al rango medio a alto en el análisis biológico, mientras que en los análisis químicos se encuentra en un rango alto (Figura 8).

**Solución – Mn.** Los valores promedio de biomasa seca oscilan entre 6,1 y 10,5 g para el suelo del SAF con café variedad Catuai y Villalobos, respectivamente (Figura 5), todas las plantas presentan un menor peso de la biomasa seca en relación a la solución completa cuya proporción entre la (SC) y la solución sin Mn, para el suelo del SAF con café variedad Catuai es de 1,9:1 y para el suelo del SAF con café variedad Villalobos es de 1,3:1, equivalente a una diferencia porcentual de 53 y 80 % respectivamente (Anexo 9), que corresponde al rango medio a alto en el análisis biológico, mientras que en los análisis químicos se encuentra en un rango alto (Figura 8). En suelos ácidos o ligeramente ácidos, el manganeso se encuentra en forma soluble e intercambiable, como  $Mn^{++}$ , y su absorción tiene lugar como tal de la solución acuosa, pero en pH alcalinos se convierte en  $Mn^{3+}$  y  $Mn^{4+}$ , insoluble y difícilmente asimilable (Agustí y Fonfría, 2010).

**Solución – B.** Los valores promedio biomasa seca oscilan entre 5,6 y 11,0 g para el suelo del SAF con café variedad Catuai y Villalobos, respectivamente (Figura 5), todas las plantas presentan un menor peso de la biomasa seca en relación a la solución completa cuya proporción entre la (SC) y la solución sin B, para el suelo del SAF con café variedad Catuai es de 2:1, y para el suelo del SAF con café variedad Villalobos es de 1,2:1, equivalente a una diferencia porcentual de 49 y 83 %, respectivamente (Anexo 9), que corresponde al rango medio a alto en el análisis biológico, mientras que en los análisis químicos se encuentra en un rango bajo (Figura 8).

La disponibilidad de boro se caracterizó como media, el pH para este sector se encuentra en un rango ácido, Agustí y Fonfría (2010), manifiesta, la absorción de boro se produce, mayoritariamente, como ácido bórico, para ello necesita suelos ligeramente ácidos; a  $pH > 8$  la presencia de ácido bórico es escasa ya que acepta  $OH^-$  en lugar de ceder  $H^+$ .

**Solución – Fe.** Los valores promedio de biomasa seca oscilan entre 7,3 y 8,1 g para el suelo del SAF con café variedad Catuai y Villalobos, respectivamente (Figura 5), todas las plantas presentan un menor peso de la biomasa seca en relación a la solución completa cuya proporción entre (SC) y la solución sin Fe, para el suelo del SAF con café variedad Villalobos es de 1,6:1 y para el suelo del SAF con café variedad Geisha es de 1,4:1, equivalente a una diferencia porcentual de 61 y 69 %, respectivamente (Anexo 9), que corresponde al rango medio a alto en el análisis biológico, mientras que en los análisis químicos se encuentra en un rango alto (Figura 8).

**Testigo.** Los valores promedio de biomasa seca se encontraron entre 0,5 y 0,6 g, para el suelo del SAF con café variedad Catuai y Villalobos, respectivamente (Figura 5), todas las plantas presentaron un contenido de biomasa seca muy bajo en relación con la solución completa cuya proporción entre la (SC) y el testigo, para el suelo del SAF con café variedad Villalobos es de 25:1, y para el suelo del SAF con café variedad Catuai es de 20:1, equivalente a una diferencia porcentual de 4 y 5 %, respectivamente (Anexo 9), que corresponde al rango bajo en el análisis biológico.

#### 4.3.2. Altura y producción de biomasa de la planta indicadora del suelo del sistema agroforestal con café de Lozumbé

**Altura de la planta.** Oscila entre 12,0 cm para el testigo en el suelo del SAF con café en pendiente del 60 % y 125,0 cm para la SC en el suelo del SAF con café en pendiente del 26 %, este presenta mayores alturas con respecto al suelo del SAF con café en pendiente del 60 % (Figura 6).

La erosión es mayor a más cantidad y duración de la precipitación acompañado de elevadas pendientes, además, aumenta el deterioro del suelo cuanto menor sea su permeabilidad Casanellas, Reguerin, y Claret (2014). Como el caso de estudio presenta alta pendientes (26 y 60 %) y precipitaciones, la mismas que afectan la fertilidad del suelo.

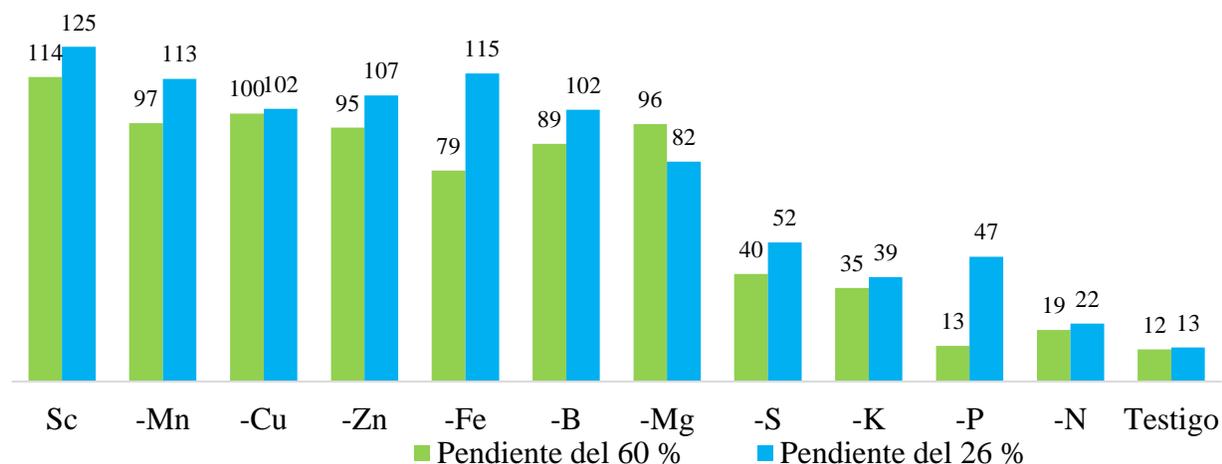


Figura 6. Altura de la planta indicadora (cm) a los 60 días de edad, del suelo del SAF con café de Lozumbé.

**Biomasa seca.** En la Figura 7, los valores promedio de biomasa seca oscilan entre 0,8 g para el testigo del suelo del SAF con café en pendiente del 60 % y 13,0 g para la solución completa del suelo del SAF con café en pendiente del 26 %.

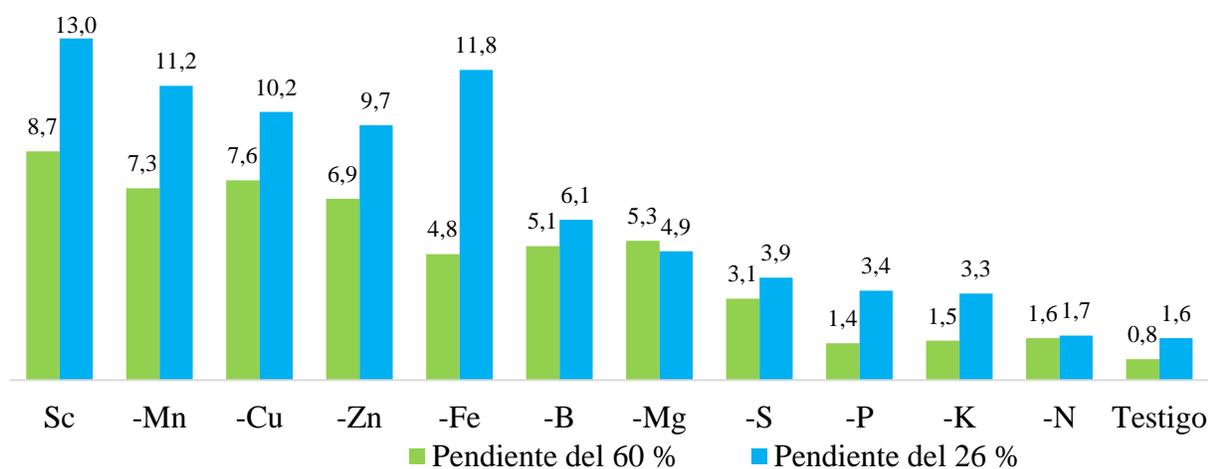


Figura 7 Biomasa seca de la planta indicadora (g), del suelo del SAF con café de Lozumbé.

**Solución nutritiva completa (SC).** Los valores promedios de biomasa seca son 8,7 y 13 g para el suelo del SAF con café pendiente del 60 y 26 % respectivamente, con una diferencia de 83 %. Esta solución nutritiva, 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 (Figura 7).

**Solución – N.** Los promedios de biomasa seca de la planta son 1,6 y 1,7 g para el suelo del SAF con café pendiente del 60 y 26 %, respectivamente (Figura 7), todas las plantas de este tratamiento presentaron un menor contenido de biomasa seca en relación a la solución completa, cuya proporción entre la (SC) y la solución sin N, para el suelo del SAF con café pendiente del 60 % es de 5,3:1 y para el suelo del SAF con café pendiente del 26 % es de 7,7:1, equivalente a una diferencia porcentual de 19 y 13 %, respectivamente (Anexo 11), que corresponde al rango bajo en el análisis biológico, mientras que en los análisis químicos determinaron un rango medio (Figura 9).

Navarro y Navarro (2013), las altas temperaturas hacen disminuir el contenido de nitrógeno, ya que al aumentar la velocidad de mineralización de la materia orgánica presente en el suelo, aparece una mayor proporción de compuestos nitrogenados solubles, los cuales, en parte, pueden perderse por lixiviación, la baja disponibilidad de este elemento en el suelo del SAF pendiente del 60 % sea mayor que en el suelo del SAF pendiente del 26 %, debido a las precipitaciones pronunciadamente altas lixivian a horizontes más profundos, donde las raíces de las plantas no lo pueden tomar.

**Solución –P.** Los valores promedio de biomasa seca de la planta son 1,4 y 3,4 g para el suelo del SAF con café pendiente del 60 y 26 %, respectivamente (Figura 7), todas las plantas presentan un menor contenido de biomasa seca en relación a la solución completa cuya proporción entre la (SC) y la solución sin P, para el suelo del SAF con café pendiente del 60 % de 6,3:1, y para el suelo del SAF con café pendiente del 26 % es de 3,8:1, equivalente a una diferencia porcentual de 16 y 26 %, respectivamente (Anexo 11), que corresponde al rango bajo en el análisis biológico, mientras que en los análisis químicos se encuentra en un rango medio a alto, es decir que no corresponden entre ambos (Figura 9).

Los bajos contenidos de fósforo en el suelo son ocasionados por: extracción por cultivos, lixiviación, erosión y volatilización Navarro y Navarro (2013). Los resultados reportados por en análisis químicos y apreciados en la evaluación biológica (altura y biomasa) muestran que los contenidos de fósforo en el suelo del SAF con café en pendiente del 60 % son menores que en suelo del SAF con pendiente del 26 %, probablemente la precipitación en estas zonas laderasas provoque la lixiviación de este elemento.

**Solución –K.** Los valores promedio de biomasa seca de la planta son 1,5 y 3,3 g para el suelo del SAF con café pendiente del 60 y 26 %, respectivamente (Figura 7), todas las plantas presentan un menor contenido de biomasa en relación a la solución completa cuya proporción entre la (SC) y la solución sin K, para el suelo del SAF con café pendiente del 60 % de 5,9:1, y para el suelo del SAF con café pendiente del 26 % es de 4:1, equivalente a una diferencia porcentual de 17 y 25 %, respectivamente (Anexo 11), que corresponde al rango bajo en el análisis biológico, igual que en los análisis químicos (Figura 9).

Navarro y Navarro (2013) cuanto mayor sea el grado de saturación del calcio, mayor será la adsorción al coloide del potasio de la disolución del suelo. Posiblemente los bajos contenidos de este elemento se den por los altos contenidos de calcio, además en estas zonas laderasas acompañado de altas precipitaciones, se supone que gran cantidad de potasio se perdió por lixiviación.

**Solución -Mg.** Los valores promedio de biomasa seca de la planta son 5,3 y 4,9 g para el suelo del SAF con café pendiente del 60 y 26 %, respectivamente (Figura 7), todas las plantas presentan un menor contenido de biomasa seca en relación a la solución completa cuya proporción

entre la (SC) y la solución sin Mg, para el suelo del SAF con café pendiente del 26 % es de 1,7:1 y para el suelo del SAF con café pendiente del 60 % es de 2,7:1, equivalente a una diferencia porcentual de 60 y 37 %, respectivamente (Anexo 11), que corresponde al rango medio en el análisis biológico, mientras que en los análisis químicos determinaron un rango alto a bajo (Figura 9).

**Solución – S.** Los valores promedio de biomasa seca de la planta son 3,1 y 3,9 g para el suelo del SAF con café pendiente del 60 y 26 %, respectivamente (Figura 7), todas las plantas presentan un bajo contenido de biomasa seca en relación a la solución completa cuya proporción entre la (SC) y la solución sin S, para el suelo del SAF con café pendiente del 26 % es de 2,8:1, y para el suelo del SAF con café pendiente del 60 % es de 3,3:1, equivalente a una diferencia porcentual de 36 y 30 %, respectivamente (Anexo 11 que corresponde al rango medio a bajo en el análisis biológico, mientras que en los análisis químicos se encuentra en un rango medio (Figura 9).

**Solución – Zn.** Los valores promedio de biomasa seca de la planta son 6,9 y 9,7 g para el suelo del SAF con café pendiente del 60 y 26 %, respectivamente (Figura 7), todas las plantas presentan un menor contenido de biomasa seca en relación a la solución completa cuya proporción entre la (SC) y la solución menos Zn, para el suelo del SAF con café pendiente del 60 % es de 1,26:1 y para el suelo del SAF con café pendiente del 26 % es de 1,33:1 equivalente a una diferencia porcentual de 79 y 75 %, respectivamente (Anexo 11), que corresponde al rango alto en el análisis biológico, igual que los análisis químicos (Figura 9).

**Solución – Cu.** Los valores promedio de biomasa seca de la planta son 7,6 y 10,2 g para el suelo del SAF con café pendiente del 60 y 26 %, respectivamente (Figura 7), todas las plantas presentan un aproximado contenido de biomasa seca en relación a la solución completa cuya proporción entre la (SC) y la solución sin Cu, para el suelo del SAF con café pendiente del 60 % es de 1,2:1 y para el suelo del SAF con café pendiente del 26 % es de 1,3:1 equivalente a una diferencia porcentual de 87 y 78 %, respectivamente (Anexo 11), que corresponde al rango alto en el análisis biológico, igual con los análisis químicos (Figura 9).

**Solución – Mn.** Los valores promedio de biomasa seca de la planta son 7,3 y 11,2 g para el suelo del SAF con café pendiente del 60 y 26 %, respectivamente (Figura 7), todas las plantas

presentan aproximado contenido de biomasa seca en relación a la solución completa cuya proporción entre la (SC) y la solución sin Mn, para el suelo del SAF con café pendiente del 60 % es de 1,19:1 y para el suelo del SAF con café pendiente del 26 % es de 1,16:1 equivalente a una diferencia porcentual de 84 y 86 %, respectivamente (Anexo 11), que corresponde al rango alto en el análisis biológico, igual que los análisis químicos (Figura 9).

**Solución – B.** Los valores promedio de biomasa seca de la planta 5,1 y 6,1 g para el suelo del SAF con café pendiente del 60 y 26 %, respectivamente (Figura 7), todas las plantas presentan menor contenido de biomasa seca en relación a la solución completa cuya proporción entre la (SC) y la solución sin B, para el suelo del SAF con café pendiente del 60 % es de 1,7:1 y para el suelo del SAF con café pendiente del 26 % es de 2,1:1 equivalente a una diferencia porcentual de 59 y 47 %, respectivamente (Anexo 11), que corresponde al rango medio en el análisis biológico, mientras que en los análisis químicos se encuentra en un rango bajo (Figura 9).

**Solución – Fe.** Los valores promedio de biomasa seca de la planta son 4,8 y 11,8 g para el suelo del SAF con café pendiente del 60 y 26 %, respectivamente (Figura 7), todas las plantas presentan aproximado contenido de biomasa seca en relación a la solución completa cuya proporción entre la (SC) y la solución sin Fe, para el suelo del SAF con café pendiente del 60 % de 1,8:1, y para el suelo del SAF con café pendiente del 26 % es de 1,1:1, equivalente a una diferencia porcentual de 55 y 91 % respectivamente (Anexo 11), que corresponde al rango medio a alto en el análisis biológico, igual que los análisis químicos (Figura 9).

**Testigo.** Los valores promedio de biomasa seca de la planta son 0,8 y 1,6 g, para el suelo del SAF con café pendiente del 60 y 26 %, respectivamente (Figura 7), todas las plantas presentaron un contenido de biomasa seca muy bajo en relación con la solución completa cuya proporción entre la (SC) y el testigo, para el suelo del SAF con café pendiente del 60 % de 10:1, y para el suelo del SAF con café pendiente del 26 % es de 8,3:1, equivalente a una diferencia porcentual de 10 y 12 % respectivamente (Anexo 11), que corresponde al rango bajo en el análisis biológico.

#### 4.4. Correspondencia entre el análisis químico y la evaluación biológica

**Suelos del SAF con café de Chaguarpamba.** En la Figura 8 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.

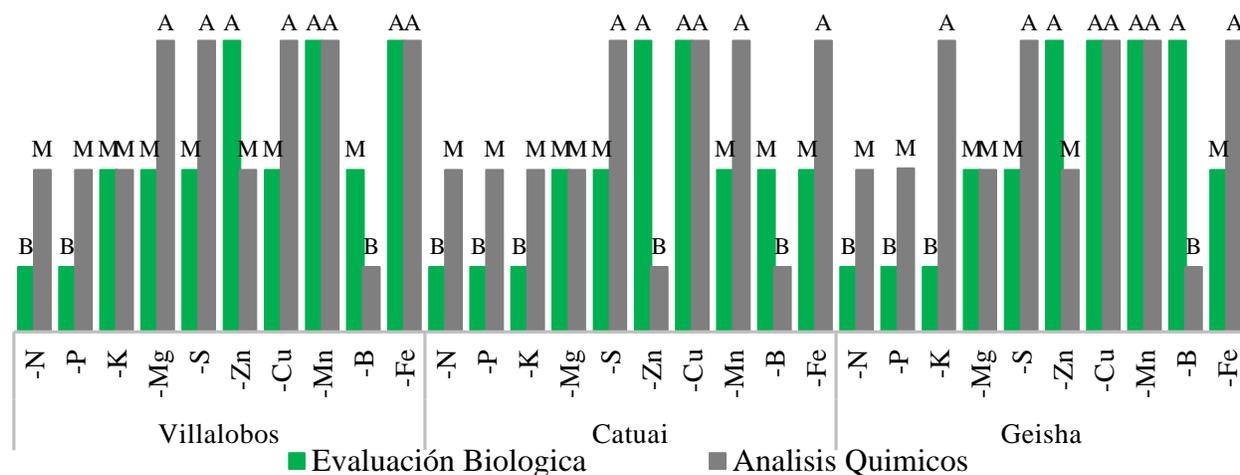


Figura 8. Correspondencia entre la evaluación biológica y el análisis químico del suelo del SAF con café de Chaguarpamba

**Suelos del SAF con variedad de café Geisha.** El N, Mg, S, Zn, Cu 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.

**Suelos del SAF con variedad de café Catuai.** El N, S, 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 a partir de la extracción con la solución de Olsen Modificada.

**Suelos del SAF con variedad de café Villalobos.** El N, K, S, 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.

En la Tabla 13 se presenta los requerimientos del cultivo de café en producción para el SAF de Chaguarpamba, en base a la correspondencia entre la evaluación biológica y el análisis

químico (Figura 8); y, los requerimientos de macro y micro nutrientes de cafetales en producción propuesto por varios autores Tabla 1.

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; para el zinc se recomendó la dosis de bajo ( $3 \text{ kg ha}^{-1}$ ), para tener reserva de este nutriente y de esta manera evitar que alcancé los niveles críticamente bajos.

Tabla 13 Requerimiento ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de cafetales en producción para el suelo del SAF de Chaguarpamba

Variedad	Sistema agroforestal con café					
	Geisha		Catuai		Villalobos	
Elemento	Análisis químico	Evaluación biológica	Análisis químico	Evaluación biológica	Análisis químico	Evaluación biológica
<b>N</b>	100,0	200,0	100,0	200,0	100,0	200,0
<b>P</b>	30,0	60,0	30,0	60,0	30,0	60,0
<b>K</b>	50,0	50,0	150,0	150,0	20,0	150,0
<b>Mg</b>	20,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0
<b>S</b>	0,0	50,0	0,0	50,0	0,0	50,0
<b>Zn</b>	1,5	0,0	3,0	0,0	1,5	0,0
<b>Cu</b>	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Mn</b>	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0
<b>B</b>	10,0	5,0	10,0	5,0	10,0	0,0
<b>Fe</b>	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	1,5

El N, P, K, S, Zn, B y Fe no presento correspondencia entre la evaluación biológica con la concentración del nutriente disponible del análisis químico. Aucatoma (2017) el extractante de Olsen Modificada, cuantifica el nutriente disponible en suelos de pH neutro a alcalino, ello justifica la no correspondencia entre las metodologías, ya que el pH de este suelo es ácido. Loaiza (2013), Castillo y Villavicencio (2015), Aguirre (2017), concuerdan con esta investigación que no existe correspondencia entre la evaluación biológica y el análisis químico para N, P, K, S y B.

**Suelos del SAF de Lozumbe.** En la Figura 9 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.

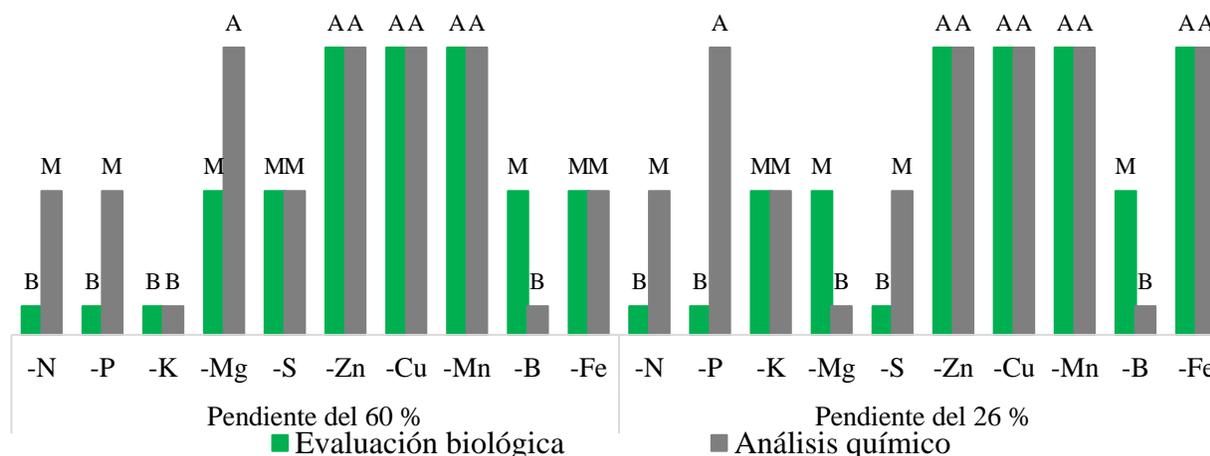


Figura 9 Correspondencia entre la evaluación biológica y el análisis químico del suelo del SAF con café de Lozumbé

**SAF en pendiente de 60 %.** El N, P, Mg 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 en pendiente de 26 %.** El N, P, Mg, S 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 14 se presenta los requerimientos del cultivo de café en producción para el SAF de Lozumbé, en base a la correspondencia entre la evaluación biológica y el análisis químico (Figura 9); y, los requerimientos de macro y micro nutrientes de cafetales en producción propuesto por varios autores (Tabla 1), 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; para el zinc se recomendó la dosis de bajo ( $3 \text{ kg ha}^{-1}$ ), para tener reserva de este nutriente y de esta manera evitar que alcancé los niveles críticamente bajos.

Tabla 14 Requerimiento ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de cafetales en producción para el suelo del SAF de Lozumbé

Pendiente	Sistema agroforestal con café			
		60%		26%
Elemento	Análisis Químico	Evaluación Biológica	Análisis Químico	Evaluación Biológica
-N	100,0	200,0	100,0	200,0
-P	30,0	60,0	20,0	60,0
-K	150,0	150,0	150,0	150,0
-Mg	20,0	60,0	80,0	60,0
-S	50,0	50,0	50,0	150,0
-Zn	0,0	0,0	0,0	0,0
-Cu	0,0	0,0	0,0	0,0
-Mn	0,0	0,0	0,0	0,0
-B	10,0	5,0	10,0	5,0
-Fe	1,5	1,5	0,0	0,0

El N, P, Mg, S y B no presentó correspondencia entre la evaluación biológica con la concentración del nutriente disponible del análisis químico a partir de la extracción con la solución de Olsen Modificada. Aucatoma (2017) el extractante de Olsen Modificada, cuantifica el nutriente disponible en suelos de pH neutro a alcalino, ello justifica la no correspondencia entre las metodologías, ya que el pH de este suelo es ligeramente ácido. Loaiza (2013), Castillo y Villavicencio (2015), Aguirre (2017), concuerdan con esta investigación que no existe correspondencia entre la evaluación biológica y el análisis químico para N, P, Mg, S y B.

#### 4.5. Fertilización para 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 al aplicar diferentes fertilizantes, para este caso se calculó en base a los disponibles en el mercado y a los costos, estos fertilizantes fueron: 10-30-10, sulfato de potasio, urea, kieserita, 18-46-0 (DAP), Sulfato de zinc, borax y para encalar cal agrícola, en el Anexo 14, se muestra el porcentaje de nutrimento que presenta cada fertilizante, para suplir los requerimientos del cultivo de café de N:200; P:60; K:150; Mg:60; S:25; Zn:3; B:5;  $\text{kg ha}^{-1}$ , para los dos sectores.

#### 4.5.1. Fertilización para el suelo del sistema agroforestal con café de Chaguarpamba

Tabla 15 Cálculo de la CICE del suelo del SAF con café de Chaguarpamba.

<b>B. Intercambiables</b>	cmol kg <sup>-1</sup>	cmol kg <sup>-1</sup>	Total
Ca <sup>++</sup>	6,94	1,53	8,47
Mg <sup>++</sup>	1,92	0,39	2,31
K <sup>+</sup>	0,30	0,04	0,34
Na <sup>+</sup>	0,45	-	0,45
Al <sup>+++</sup> +H <sup>+</sup>	4,59	-	-
Al <sup>+++</sup>	3,06	-	-
CICE 1	12,67	CICE 2	11,57

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, los requerimientos del cultivo, se recomienda aplicar cal agrícola al momento de plantar cafetos y al inicio de la época lluviosa. Tanto en cafetales en crecimiento o en producción, 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 SAF con café de Chaguarpamba es de 5, se recomienda aplicar por cada unidad de Al<sup>+3</sup>; 0,5 cmol kg<sup>-1</sup> de Ca, es decir 655 kg ha<sup>-1</sup> de Ca, en el Anexo 14, se presenta el valor del ingrediente activo de la cal agrícola a emplear.

Tabla 16 Enmienda y relación de cationes para el suelo del SAF con café de Chaguarpamba

SB	Enmienda				Relación de cationes			
	Antes (%)	Después (%)	R. óptimo (%)		Antes cmol kg <sup>-1</sup>	Agregar	Después cmol kg <sup>-1</sup>	R. óptimo cmol kg <sup>-1</sup>
Ca	55,0	73,0	60,0-70,0	Ca Mg <sup>-1</sup>	3,6		3,7	2,6 -8,0
Mg	15,0	20,0	15,0-25,0	Mg K <sup>-1</sup>	6,4	Mg	6,8	7,5-15,0
K	2,0	3,0	5,0-10,0	(Ca+Mg) K <sup>-1</sup>	29,5		31,7	27,5-55,0

Al realizar la relación de cationes Mg K<sup>-1</sup> no está en el rango adecuado, basándose en la tabla 2, si la relación es < a 7,5 se debe agregar Mg, para suplir este elemento se agregó kieserita, en el Anexo 14, indica el porcentaje de Mg que presenta este fertilizante.

Tabla 17 Fertilizantes recomendados para el cultivo de café en crecimiento en el suelo del SAF de Chaguarpamba

<b>Fertilizantes</b>	<b>kg ha<sup>-1</sup></b>	<b>g planta<sup>-1</sup></b>	<b>U. de sacos ha<sup>-1</sup></b>	<b>V unitario (\$)</b>	<b>V total (\$)</b>
10-30-10 (50 kg)	458,0	143,1	10,0	34,0	340,0
S. de potasio (25 kg)	88,7	28,0	4,0	20,0	80,0
Urea (50 kg)	117,8	36,8	3,0	22,0	66,0
ZnSO <sub>4</sub> (25 kg)	16,3	5,1	1,0	37,0	37,0
Bórax (25 kg)	45,5	14,2	2,0	28,0	56,0
Kieserita (50 kg)	666,7	208,3	14,0	18,5	259,0
Cal agrícola (50 kg)	654,8	204,6	13,0	4,0	52,0
<b>Total</b>					<b>890,0</b>

Tabla 18 Fertilizantes recomendados para el cultivo de café en producción en el suelo del SAF de Chaguarpamba

<b>Fertilizantes</b>	<b>kg ha<sup>-1</sup></b>	<b>g planta<sup>-1</sup></b>	<b>U. de sacos ha<sup>-1</sup></b>	<b>V unitario (\$)</b>	<b>V total (\$)</b>
10-30-10 (50 kg)	458,0	143,1	10,0	34,0	340,0
S. de potasio (25kg)	268,4	83,9	11,0	20,0	220,0
Urea (50 kg)	335,2	104,8	7,0	22,0	154,0
Kieserita (50 kg)	398,4	124,5	8,0	18,5	148,0
ZnSO <sub>4</sub> (25 kg)	16,3	5,1	1,0	37,0	37,0
Bórax (25 kg)	45,5	14,2	2,0	28,0	56,0
<b>Total</b>					<b>955,0</b>

El contenido en g planta<sup>-1</sup> o kg ha<sup>-1</sup> de fertilizantes, se realizó en base a los requerimientos del cultivo de café basados en la evaluación biológica, Tabla 15, relación de cationes del cultivo de café, Tabla 2, para corregir el pH y la baja fertilidad del suelo por ha en cafetales en crecimiento hasta los 18 meses, es de \$ 890,0 y para cafetales en producción el costo es de \$ 955,0 para el SAF de Chaguarpamba. Cabe señalar que la densidad de siembra de este sector es de 1,25 m entre planta y 2,5 m entre hilera.

Tabla 19 Plan de fertilización para cafetales en crecimiento para el suelo del SAF de Chaguarpamba

Fertilizantes	2019		2020					Total (kg ha <sup>-1</sup> )
	Dic		Ene	Feb	Mar	Abr	May	
	S <sub>1</sub>	S <sub>4</sub>						
10-30-10 (50 kg)	-	76,3	76,3	76,3	76,3	76,3	76,3	458,0
S. de potasio (25 kg)	80,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	88,7
Urea (50 kg)	-	58,9	-	-	-	-	58,9	117,8
ZnSO <sub>4</sub> (25 kg)	-	8,2	-	-	8,2	-	-	16,3
Bórax (50 kg)	-	22,7	-	-	22,7	-	-	45,5
Kieserita (50 kg)	666,7	-	-	-	-	-	-	666,7
Cal agrícola (50 kg)	654,8	-	-	-	-	-	-	654,8
Total (kg ha <sup>-1</sup> )	1402,0	177,5	77,7	77,7	108,6	77,7	136,6	2047,8

S=Semana

Tabla 20 Plan de fertilización para cafetales en producción para el suelo del SAF de Chaguarpamba

Fertilizantes	2019	2020					Total (kg ha <sup>-1</sup> )
	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	
10-30-10 (50 kg)	76,3	76,3	76,3	76,3	76,3	76,3	458,0
S. de potasio (25 kg)	44,7	44,7	44,7	44,7	44,7	44,7	268,4
Urea (50 kg)	167,6	-	-	-	-	167,6	335,2
ZnSO <sub>4</sub> (25 kg)	8,2	-	-	8,2	-	-	16,3
Bórax (50 kg)	22,7	-	-	22,7	-	-	45,5
Kieserita (50 kg)	66,4	66,4	66,4	66,4	66,4	66,4	398,4
Total (kg ha <sup>-1</sup> )	386,0	187,5	187,5	218,3	187,5	355,1	1521,8

El plan de fertilización se lo realizo para aplicar edáficamente en la época de invierno de Chaguarpamba, de diciembre a mayo y la aplicación de los fertilizantes se debe realizar en los 4 puntos cardinales de cada planta cada 30 días, en el caso de la cal agrícola la aplicación es por área (1,25 m<sup>2</sup>) de la planta, en la primera semana del mes de diciembre se propone realizar el encalado, en la cuarta semana de cada mes lluvioso aplicar los macronutrientes y cada 3 meses aplicar los micronutrientes, tanto para los cafetales en crecimiento como para los cafetales en producción.

#### 4.5.2. Fertilización para el suelo del sistema agroforestal con café de Lozumbe

Tabla 21 Cálculo de la CICE del suelo del SAF de Lozumbe

<b>B. Intercambiables</b>	cmol kg <sup>-1</sup>	cmol kg <sup>-1</sup>	Total
Ca <sup>++</sup>	25,65	0,00	25,65
Mg <sup>++</sup>	3,6	0,03	3,63
K <sup>+</sup>	0,17	0,39	0,56
Na <sup>+</sup>	0,06	-	0,06
Al <sup>+++</sup> +H <sup>+</sup>	0,53	-	-
Al <sup>+++</sup>	0,35	-	-
<b>CICE 1</b>	<b>29,83</b>	<b>CICE 2</b>	<b>29,90</b>

El pH del suelo del SAF del sector Lozumbe es de 6,4; es decir se encuentra en el rango óptimo de pH que es de 5,6 a 6,5; Enríquez y Duicela (2014). 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 22 Enmienda y relación de cationes para el suelo del SAF del sector Lozumbe

SB	Enmienda			R. óptimo (%)	Relación de cationes			
	Antes (%)	Después (%)	R. óptimo (%)		Antes cmol kg <sup>-1</sup>	Agregar	Después cmol kg <sup>-1</sup>	R. óptimo cmol kg <sup>-1</sup>
Ca	86,0	86,0	60,0-70,0	Ca Mg <sup>-1</sup>	7,1	-	7,1	2,6 -8,0
Mg	12,0	12,0	15,0-25,0	Mg K <sup>-1</sup>	21,2	K	6,5	7,5-15,0
K	1,0	2,0	5,0-10,0	(Ca+Mg) K <sup>-1</sup>	172,1	K	52,7	27,5-55,0

Al realizar la relación de cationes Mg K<sup>-1</sup> y (Ca+Mg) K<sup>-1</sup>, no está en el rango adecuado, basándose en la Tabla 2, si la relación Mg K<sup>-1</sup> es > a 15 y (Ca+Mg) K<sup>-1</sup> es > a 55, se debe agregar K, para este caso se adiciono 0,39 cmol kg<sup>-1</sup> de K, con este valor se aproxima la relación de cationes a los rangos óptimos, equivalente a 400 kg ha<sup>-1</sup> de K, a través del sulfato de potasio se pretende suplir este elemento, que equivale a 964 kg ha<sup>-1</sup>, de este fertilizante, se lo plantea aplicar en dos años, al inicio de la época lluviosa del sector de estudio, en el Anexo 14, indica el porcentaje de K que presenta este fertilizante.

Tabla 23 Fertilizantes recomendados para el cultivo de café en crecimiento para el suelo del SAF de Lozumbe

Fertilizantes	kg ha <sup>-1</sup>	g planta <sup>-1</sup>	U. de sacos ha <sup>-1</sup>	V unitario (\$)	V total (\$)
DAP (18-46) (50 kg)	298,7	74,7	6,0	31,0	186,0
Kieserita (50 kg)	400,0	100,0	8,0	18,5	148,0
Urea (50 kg)	100,5	25,1	2,0	22,0	44,0
ZnSO <sub>4</sub> (25 kg)	16,3	4,1	1,0	37,0	37,0
Bórax (25 kg)	45,5	11,4	2,0	28,0	56,0
S. potasio (25 kg)	963,9	240,9	39,0	20,0	780,0
Total					1251,0

Tabla 24 Fertilizantes recomendados para el cultivo de café en producción para el suelo del SAF de Lozumbe

Fertilizantes	kg ha <sup>-1</sup>	g planta <sup>-1</sup>	U. de sacos ha <sup>-1</sup>	V unitario (\$)	V total (\$)
DAP (18-46) (50 kg)	298,7	74,7	6,0	31,0	186,0
Kieserita (50 kg)	400,0	100,0	8,0	18,5	148,0
Urea (50 kg)	317,9	79,5	7,0	22,0	154,0
ZnSO <sub>4</sub> (25 kg)	16,3	4,1	1,0	37,0	37,0
Bórax (25 kg)	45,5	11,4	2,0	28,0	56,0
S. Potasio (25 kg)	360,0	90,0	15,0	20,0	300,0
Total					881,0

Los contenidos en kg ha<sup>-1</sup> de fertilizantes, se plantearon en base a los requerimientos del cultivo de café basada en la evaluación biológica, Tabla 16, relación de cationes del cultivo, Tabla 2. Para corregir la baja fertilidad del suelo por ha en cafetales en crecimiento hasta los 18 meses, es de \$ 1251,0 y para cafetales en producción el costo es de \$ 881,0 para el sector Lozumbe. Se debe señalar que la densidad de siembra del SAF de este sector se recomendó de 1,25 m entre planta y 2,0 m entre hilera.

Tabla 25 Plan de fertilización para cafetales en crecimiento para el suelo del SAF de Lozumbe

Fertilizantes	2019		2020					Total (kg ha <sup>-1</sup> )
	Dic		Ene	Feb	Mar	Abr	May	
	S <sub>1</sub>	S <sub>4</sub>						
DAP (18-46) (50 kg)	-	49,8	49,8	49,8	49,8	49,8	49,8	298,7
Kieserita (50 kg)	66,7	66,7	66,7	66,7	66,7	66,7	66,7	466,7
Urea (50 kg)	-	50,3	-	-	-	-	50,3	100,5
ZnSO <sub>4</sub> (25 kg)	-	8,2	-	-	8,2	-	-	16,3
Bórax (25 kg)	-	22,7	-	-	22,7	-	-	45,5
S. potasio (25 kg)	481,9	-	-	-	-	-	-	361,4
Total (kg ha <sup>-1</sup> )	548,6	138,2	107,4	107,4	138,2	107,4	107,4	1134,1

S=Semana

Tabla 26 Plan de fertilización para cafetales en producción para el suelo del SAF de Lozumbé

Fertilizantes	2019			2020			Total (kg ha <sup>-1</sup> )
	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	
DAP (18-46) (50 kg)	49,8	49,8	49,8	49,8	49,8	49,8	298,7
Kieserita (50 kg)	66,7	66,7	66,7	66,7	66,7	66,7	400,0
Urea (50 kg)	159,0	-	-	-	-	159,0	317,9
ZnSO <sub>4</sub> (25 kg)	8,2	-	-	8,2	-	-	16,3
Bórax (25 kg)	22,7	-	-	22,7	-	-	45,5
S. Potasio (25 kg)	60	60	60	60	60	60	360,0
Total (kg ha <sup>-1</sup> )	366,3	176,4	176,4	207,3	176,4	335,4	1438,4

El plan de fertilización se lo realizó de acuerdo a la época de invierno de Lozumbé, de diciembre a mayo, la aplicación de los fertilizantes se debe realizar en los 4 puntos cardinales 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, tanto para los cafetales en crecimiento como para los cafetales en producción.

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

## 5. Conclusiones

### En el suelo del SAF con café de Chaguarpamba

Las condiciones físicas del suelo en la capa 00 - 25 cm, de pobre a medio; y, la velocidad de infiltración rápida a muy rápida. El  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  ácido, la capacidad de intercambio catiónico alto, la suma de bases intercambiables ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) medio, la materia orgánica alta.

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

El N, P, K, S, Zn, B y Fe no presento 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  $\text{Al}^{3+}$ , se propuso aplicar  $655 \text{ kg ha}^{-1}$  de cal agrícola; con una relación de cationes  $\text{Ca Mg}^{-1}:3,7$ ;  $\text{Mg K}^{-1}:6,8$ ;  $(\text{Ca}+\text{Mg}) \text{ K}^{-1}:31,7$ ;  $\text{cmol kg}^{-1}$ .

Propuesta de aplicación de nutrientes para cafetales en crecimiento: N:100; P:60; K:75 ; S:25; Zn:3; B:5;  $\text{kg ha}^{-1}$ ; para cafetales en producción: N:200; P:60; K:150; Mg:60; S:25; Zn:3; B:5;  $\text{kg ha}^{-1}$ .

### En el suelo del SAF con café de Lozumbe

Las condiciones físicas del suelo en la capa 00 a 25 cm, de pobre a muy pobre; y, la velocidad de infiltración básica moderadamente lenta a media. El  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  ligeramente ácido, la capacidad de intercambio catiónico alta, la suma de bases intercambiables ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) en el rango alto, la materia orgánica media.

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

El N, P, S, Mg, S 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.

Relación de cationes  $\text{Ca Mg}^{-1}:7,1$ ;  $\text{Mg K}^{-1}:6,5$ ;  $(\text{Ca}+\text{Mg}) \text{ K}^{-1}:52,7$ ;  $\text{cmol kg}^{-1}$ .

Propuesta de aplicación de nutrientes para cafetales en crecimiento de: N:100; P:60; Mg:50; S:25; Zn:3; B:5;  $\text{kg ha}^{-1}$ ; para cafetales en producción de: N:200; P:60; K:150; Mg:60; S:25; Zn:3; B:5;  $\text{kg ha}^{-1}$ .

## **6. Recomendaciones**

Utilizar recipientes de color oscuro (vasos – tarrinas) para que no haya proliferación de algas afecten a la solución nutritiva.

Desarrollar el ensayo en un ambiente controlado que no se contamine de plagas.

Para el suelo del SAF con café de Chaguarpamba, considerar la velocidad de infiltración básica en la planificación de frecuencia y duración de riego debido la posible lixiviación de nutrientes a capas de suelo más profundas.

## 7. Bibliografía

- 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, A. (2010). Fruticultura. Mundi-Prensa Libros.
- 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 Rios Guayas (Escuela Superior Politécnica del Litoral). Recuperado de <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/102821/D-CD102872.pdf>
- Bertsch, F. (1982). Fertilidad de nueve suelos clasificados como Typic Dystrandept en Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba.
- Briceño, y Pacheco. (1984). Muestreo de Suelos. México: Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas.
- Burneo, P. (2012). Evaluación biológica de la fertilidad de un suelo desarrollado sobre andesita tratado con carbón vegetal, cal y nutrientes en el Sur de la Amazonia ecuatoriana. Universidad Nacional de Loja. Loja-Ecuador.
- Cabalceta, G., y Molina, E. (1990). Correlación de diferentes soluciones extractoras en vertisoles y ultisoles de Costa Rica. Agronomía costarricense.
- 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>

- 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.
- Casanellas, J. P., Reguerin, M. L.-A., y Claret, R. M. P. (2014). Edafología: Uso y protección de suelos. Mundi-Prensa Libros.
- 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.
- 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](#)

- FAO. (s. f.). 7. Estructura del Suelo. Recuperado 20 de junio de 2019, de [http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6706s/x6706s07.htm](http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s07.htm)
- García, J., y Ballesteros, M. (2006). Quality parametes evaluation of available phosphoroues in soils. *Revista Colombiana de Química*, 35(1), 81-89.
- Garrido, S. (2005). Interpretación de análisis de suelos. Ministerio de la agricultura, pesca y ganadería.
- Gil, G. F., y Pszczólkowski, P. (2015). *Viticultura: Fundamentos para optimizar producción y calidad*. Segunda edición ampliada y actualizada. Ediciones UC.
- Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Santa Rufina. (2015). Componente biofisico, sociocultural, asentamientos humanos, movilidad, energía, conectividad y politico institucional de la parroquia Santa Rufina. Quito.
- Gobierno Autónomo Descentralizado municipal del cantón Chaguarpamba. (2017). Componente biofísico, sociocultural, asentamientos humanos, movilidad, energía, conectividad y político institucional del cantón Chaguarpamba. 24.
- Guayllas, J. (1988). Estado nutricional de los suelos de Cañicapac y Ñamarin, mediante un método biológico. Universidad Nacional de Loja.
- Guerra, C. R., y Lozano, S. (2014). UF0001 - El suelo de cultivo y las condiciones climáticas. Editorial Elearning, S.L.
- Henriquez, C., Bertsch, F., y Salas, R. (1995). *Fertilidad de suelos: manual de laboratorio*. San Jose, Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.

- Intagri. (2008). La deficiencia de hierro en los cultivos | Intagri S.C. Recuperado 10 de julio de 2019, de Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura website: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/clorosis-ferrica>
- Intagri, S. C. (2016). Manejo y Corrección de la Acidez de los Suelos. Recuperado 19 de junio de 2019, de <https://www.intagri.com/articulos/suelos/manejo-y-correccion-de-acidez-de-suelo>
- INIAP. (1993). Manual del cultivo de café. Quevedo - Ecuador.
- Iñiguez, M. (2007). Fertilidad, fertilizantes y fertilización del suelo. 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/>
- Loaiza, G. (2013). Evaluación biológica de la fertilidad de un suelo desarrollado sobre granodiorita, tratado con carbón vegetal, cal y nutrientes en el Sur de la Amazonía-Ecuatoriana. Universidad Nacional de Loja. Loja-Ecuador.
- Mendoza, O. (2013). Evaluación biológica de la fertilidad de un suelo desarrollado sobre arenisca cuarzosa, tratado con carbón vegetal, cal y nutrientes en San Francisco - El Pangui. Universidad Nacional de Loja.
- Navarro, G., y Navarro, S. (2013). Química Agrícola (tercera). España: Mundi-Prensa.
- Padilla, W. (2007). Manejo de la química y fertilidad de los suelos (4.<sup>a</sup> ed.). Clínica agrícola.
- RELASE. (2016). Informe de gestión correspondiente al año 2015. Recuperado de RELASE website: [http://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/pdf/laboratorios/suelos-foliaresaguas/INFORME%20DE%20LA%20RED%20NACIONAL%20DE%20LABORATORIOS%20DE%20SUELOS%20\(RELASE\)%20INFORME%20GESTI%C3%93N%202015.pdf](http://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/pdf/laboratorios/suelos-foliaresaguas/INFORME%20DE%20LA%20RED%20NACIONAL%20DE%20LABORATORIOS%20DE%20SUELOS%20(RELASE)%20INFORME%20GESTI%C3%93N%202015.pdf)

- Rivera, E., Sánchez, M., y Domínguez, H. (2018). pH como factor de crecimiento en plantas. *Revista de Iniciación Científica*, 4, 101-105. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v4.0.1829>
- Sánchez, B., Valle, O., Salinas, E., Esquivel, V., Pola, G., y Tosquy, H. (2013). [impact of the slope and three production systems on run off, erosion and corn yield]. 9.
- Sánchez, P., y Camacho, E. (1981). *Suelos del trópico: Características y manejo*. IICA Biblioteca Venezuela.
- Sarango, T. (2018). *Caracterización de la vegetación y el microclima en sistemas agroforestales de café (coffea arabica L.) en tres pisos altitudinales en la zona cafetalera Chaguarpamba-Olmedo*. Universidad Nacional de Loja. Loja-Ecuador.
- Togores, J. H. (2010). *Tratado de Enología*. Mundi-Prensa Libros.
- Valarezo, C. (1985). *Proyecto de evaluación de la fertilidad de los suelos de Saraguro* (Universidad Nacional de Loja). Ecuador.
- 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.
- Velasquez, S. (2019). *Evaluación del elemento faltante en el cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) en suelos del intersolar en la estación experimental de Cota Cota*. (Universidad mayor de San Andres). Recuperado de <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/20681/T-2659.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

## 8. Anexos

Anexo 1 Terminología usada en la descripción de los síntomas de las plantas.

Termino	Descripción
moteado	Manchas de distintos colores
clorosis intervenal	Amarillamiento del tejido foliar causado por la falta de clorofila.
lignificación	Sellado de las paredes vegetales a través de la deposición de lignina
flacidez	Pérdida de tono y de firmeza
marchitamiento	Apariencia débil de hojas y tallos
zona necrótica	Color blanquecino, pardo, grisáceo o rojizo.

Anexo 2 Descripción del perfil del suelo en el SAF con café variedad Geisha (Perfil 1)

### UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

#### FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

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

#### FICHA DE DESCRIPCIÓN DE PERFILES DE SUELO

**Código:** P<sub>1</sub> Ch **Fecha:** 22/11/2018. **Autores:** Carlos Valarezo, Miguel Villamagua, Karina

Tandazo **Sitio:** Romerillos.

**Altitud (msnm):** 1462 **Coordenadas:** 649885 E y 9570496 N **Pendiente:** 25%

**Paisaje:** montaña **Tipo de relieve:** vertiente **Forma del terreno:** pendiente media

**Uso actual o cobertura vegetal:** mosquera, banano, café y guabo musgo

**Condiciones de humedad:** Seco **Pedregosidad superficial:** 0 % **Tamaño:**

**Afloramientos rocosos:** No **Tipo:** No **Material parental:** Tobas volcánicas.

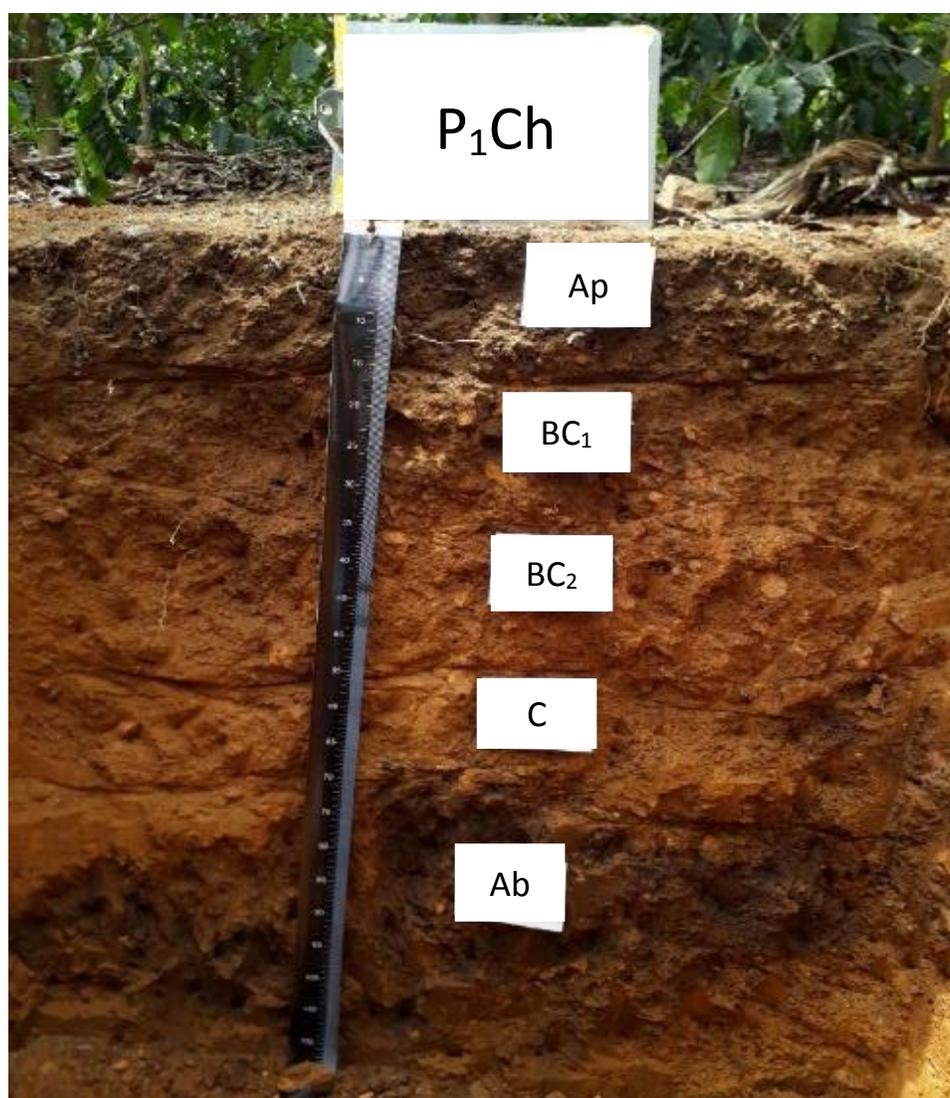
**Profundidad de la capa freática:** fluctuación N° \_\_\_\_\_ cm

**Presencia de Sales o Alcalis:** libre **Drenaje:** bueno

**Clasificación taxonómica preliminar USDA (2014):** *Kanhaplic Haplustalfs*

## DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL

Suelo muy profundo, formado en dos etapas que resultan en dos grupos de horizontes. La parte superior, con evidencias de rocas fracturadas, ha sido formada a partir de un coluvión; está constituida por un horizonte Ap de 15 cm de espesor; un horizonte BC<sub>1</sub> de 15 cm, un horizonte BC<sub>2</sub> de 25 cm y un horizonte C de 15 cm. La parte inferior corresponde a un horizonte enterrado Ab de 40 cm. Las piedras los horizontes BC<sub>1</sub> y BC<sub>2</sub> en un 80 % se encuentran meteorizadas, se rompen con la mano o el cuchillo La mayoría de las raíces se observa en la capa de 0 – 15 cm; raíces muy finas y muy pocas se encuentran hasta 50 cm.



**Descripción individual de los horizontes o capas:**

**Ap 00 - 15 cm:** Pardo oscuro (10YR 4/3) en húmedo; franco limoso a franco arcillo limoso al tacto; bloques subangulares, fuertes, gruesos, medios y finos; muchos poros medios y finos; adherente, plástico, friable; raíces abundantes, medias, finas y muy finas; sin carbonatos; límite brusco y plano.

**BC<sub>1</sub> 15 - 30 cm:** Pardo amarillento oscuro (10YR 4/6) en húmedo; franco arcilloso al tacto; bloques subangulares, fuertes, medios y grandes; fragmentos rocosos frecuentes de tamaño de grava con formas redondeadas; adherente, plástico y friable; poros pocos y finos; raíces muy pocas y finas; límite plano y neto.

**BC<sub>2</sub> 30 - 55 cm:** Pardo (7,5 YR 5/4) en húmedo; arcillo limoso al tacto; bloques subangulares fuertes, medios y grandes; adherente, plástico y friable; pocos fragmentos rocosos de tamaño grava con formas redondeadas; poros pocos y finos; raíces muy pocas y finas; límite neto y plano.

**C 55 - 70 cm:** Pardo fuerte (7,5YR 5/8) en húmedo; franco a franco limoso al tacto; masivo; adherente, plástico y friable; poros finos y pocos; sin raíces ni fragmentos rocosos; límite brusco y ondulado.

**Ab 70 - 110 cm:** Pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo; arcillo limoso al tacto; bloques subangulares, gruesos; adherente, muy plástico y friable, sin raíces.

Anexo 3 Descripción del perfil del suelo en el SAF con café variedad Catuai (Perfil 2)

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

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

**FICHA DE DESCRIPCIÓN DE PERFILES DE SUELO**

**Código:** P<sub>2</sub> Ch **Fecha:** 22/11/2018 **Autores:** Carlos Valarezo, Miguel Villamagua, Karina

Tandazo **Sitio:** Romerillos- Chaguarpamba

**Altitud (msnm):** 1465 **Coordenadas:** 649958 E y 9570541 N **Pendiente:** 38 %

**Paisaje:** montaña **Tipo de relieve:** vertiente **Forma del terreno:** pendiente media

**Uso actual o cobertura vegetal:** cítricos, guaba, banano, café y porotillo

**Condiciones de humedad:** Húmedo **Pedregosidad superficial:** 0 % **Tamaño:**

**Afloramientos rocosos:** No **Tipo:** No **Material parental:** Tobas volcánicas - cuarzo.

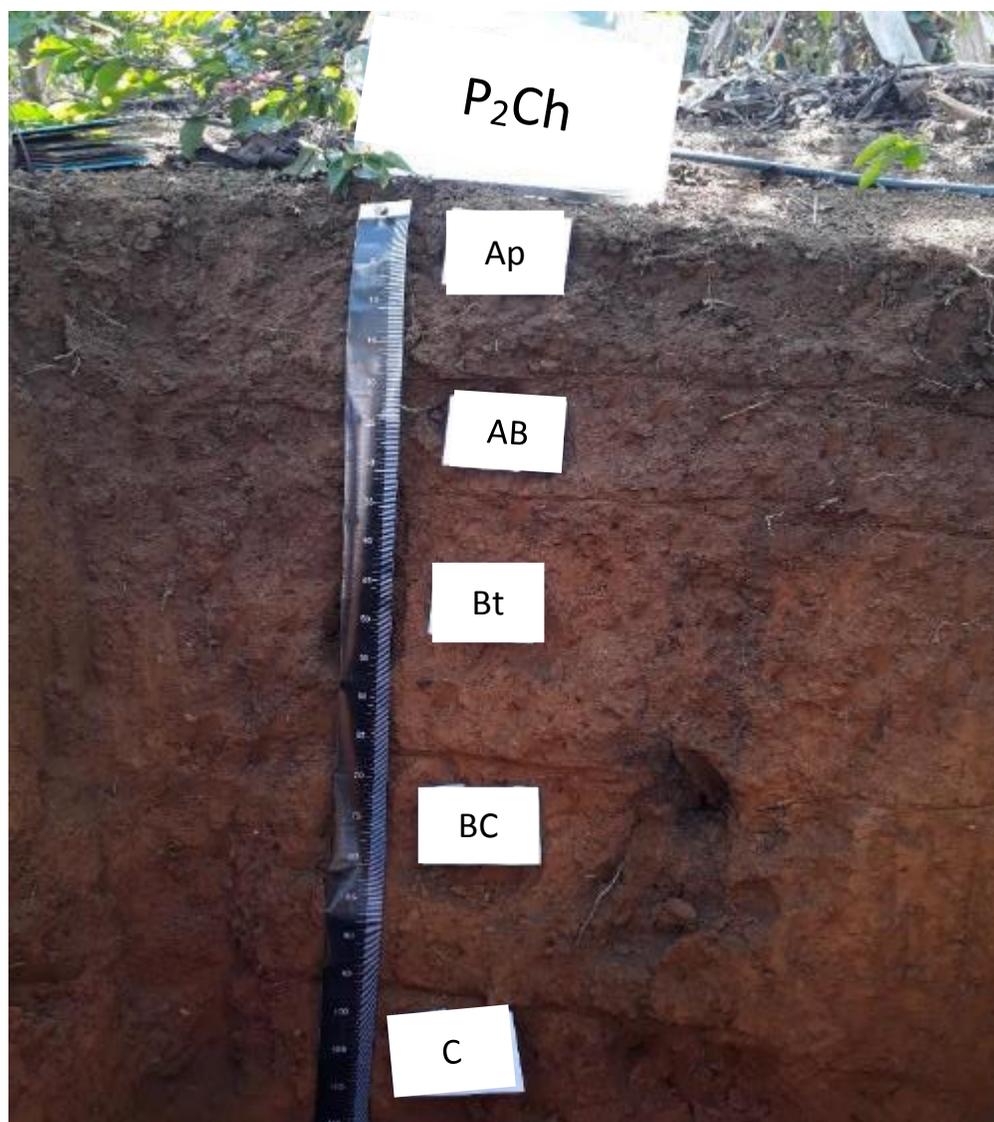
**Profundidad de la capa freática:** **fluctuación N°** \_\_\_\_\_ cm

**Presencia de Sales o Alcalis:** libre **Drenaje:** bueno

**Clasificación taxonómica preliminar USDA (2014):** *Kanhaplic Haplustalfs*

**DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL**

Suelo muy profundo formado por cinco horizontes genéticos. Un horizonte Ap de 20 cm de espesor, un AB de 10 cm, un horizonte Bt de 35 cm, una transición BC de 30 cm y un horizonte C de 25 cm. Se observa esporádicamente granos de cuarzo proveniente del material parental. Las raíces son abundantes en la capa de 00 – 20 cm, comunes en el AB y pocas hasta 65 cm. El color rojizo por presencia de hematita se incrementa con la profundidad.



### Descripción individual de los horizontes o capas:

**Ap 00 - 20 cm:** Pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo; franco arcillo limoso al tacto; bloques subangulares fuertes, medios y gruesos; muchos poros medios, finos y muy finos; adherente, plástico, friable; raíces abundantes, finas, medias, muy finas; sin carbonatos; límite neto y plano.

**AB 20 - 30 cm:** Pardo oscuro (10YR 3/6) en húmedo; franco arcilloso al tacto; bloques subangulares fuertes, medios y grandes; adherente plástico y friable; poros frecuentes y medios; raíces comunes, finas y muy finas; límite neto y plano.

**Bt 30 - 65 cm:** Pardo oscuro (7,5 YR 4/4) en húmedo; franco arcilloso a arcillo limoso al tacto; bloques subangulares fuertes, medios y grandes; cutanes zonales, delgados; adherente, plástico y friable; poros frecuentes y finos; raíces muy pocas y finas; límite gradual y plano.

**BC 65 - 90 cm:** Pardo fuerte (7,5YR 5/6) en húmedo; franco limoso al tacto; bloques subangulares, moderados, medios y gruesos; adherente, ligeramente plástico y friable; poros pocos muy finos; raíces muy pocas y finas; límite neto y plano.

**C 90 - 120 cm:** Rojo amarillento (5YR 5/6) en húmedo; franco limoso; masivo; adherente, ligeramente plástico y friable; sin raíces.

Anexo 4 Descripción del perfil del suelo en el SAF con café variedad Villalobos (Perfil 3)

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

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

**FICHA DE DESCRIPCIÓN DE PERFILES DE SUELO**

**Código:** P3Ch **Fecha:** 22/11/2018 **Autores:** Carlos Valarezo, Miguel Villamagua, Karina

Tandazo **Sitio:** Romerillos-Chaguarpamba.

**Altitud (msnm):** 1444 **Coordenadas:** 650062 E y 9570494 N **Pendiente:** 26 %

**Paisaje:** montaña **Tipo de relieve:** vertiente **Forma del terreno:** pendiente media

**Uso actual o cobertura vegetal:** cítricos, Mosquera banano, café y porotillo

**Condiciones de humedad:** Húmedo **Pedregosidad superficial:** 0 % **Tamaño:**

**Afloramientos rocosos:** No **Tipo:** No **Material parental:** Tobas volcánicas.

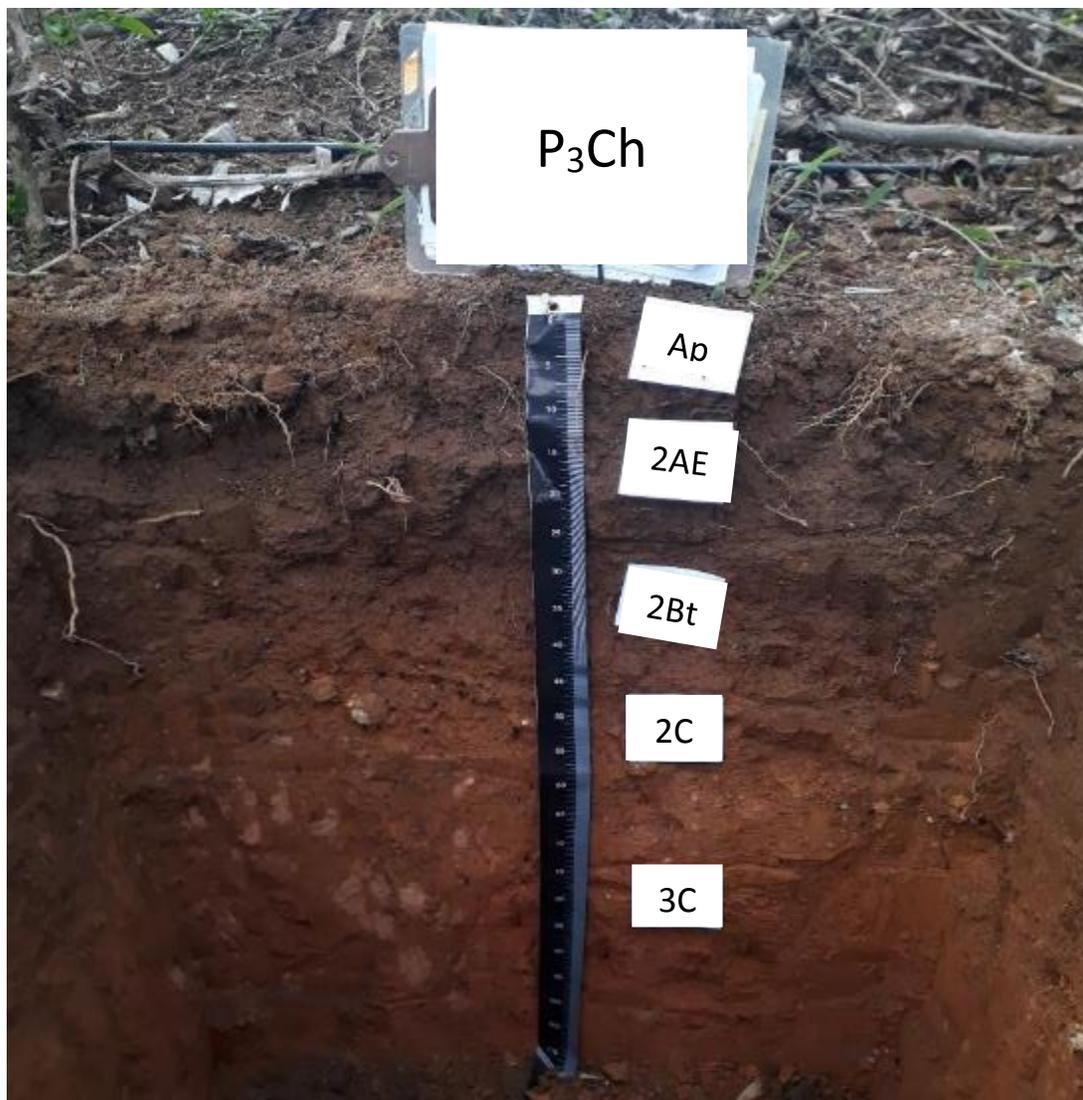
**Profundidad de la capa freática:** fluctuación N° \_\_\_\_\_ cm

**Presencia de Sales o Alcalis:** libre **Drenaje:** bueno

**Clasificación taxonómica preliminar USDA (2014):** *Kanhaplic Haplustalfs*

**DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL**

Suelo muy profundo, formado cronológicamente en tres fases. La tercera (reciente) corresponde a la capa superior depositada por erosión de las partes superiores, denominado como horizontes Ap de 5 cm de espesor. La segunda fase el suelo se ha formado de material coluvial, está constituido de tres horizontes: 2AE de 20 cm; 2Bt de 20 cm y 2C de 30 cm, con relictos de piedra del material parental. La primera fase (antigua) corresponde al horizonte inferior 3C. Raíces abundantes hasta 25 cm; finas y pocas hasta 75cm.



### Descripción individual de los horizontes o capas:

**Ap 00 - 05 cm:** Pardo fuerte (7,5YR 4/6) en húmedo; franco arcillo limoso al tacto; bloques subangulares fuertes, finos y gruesos; poros abundantes medios y finos; adherente, plástico, friable; sin carbonatos; raíces finas, medias y abundantes; límite brusco, plano.

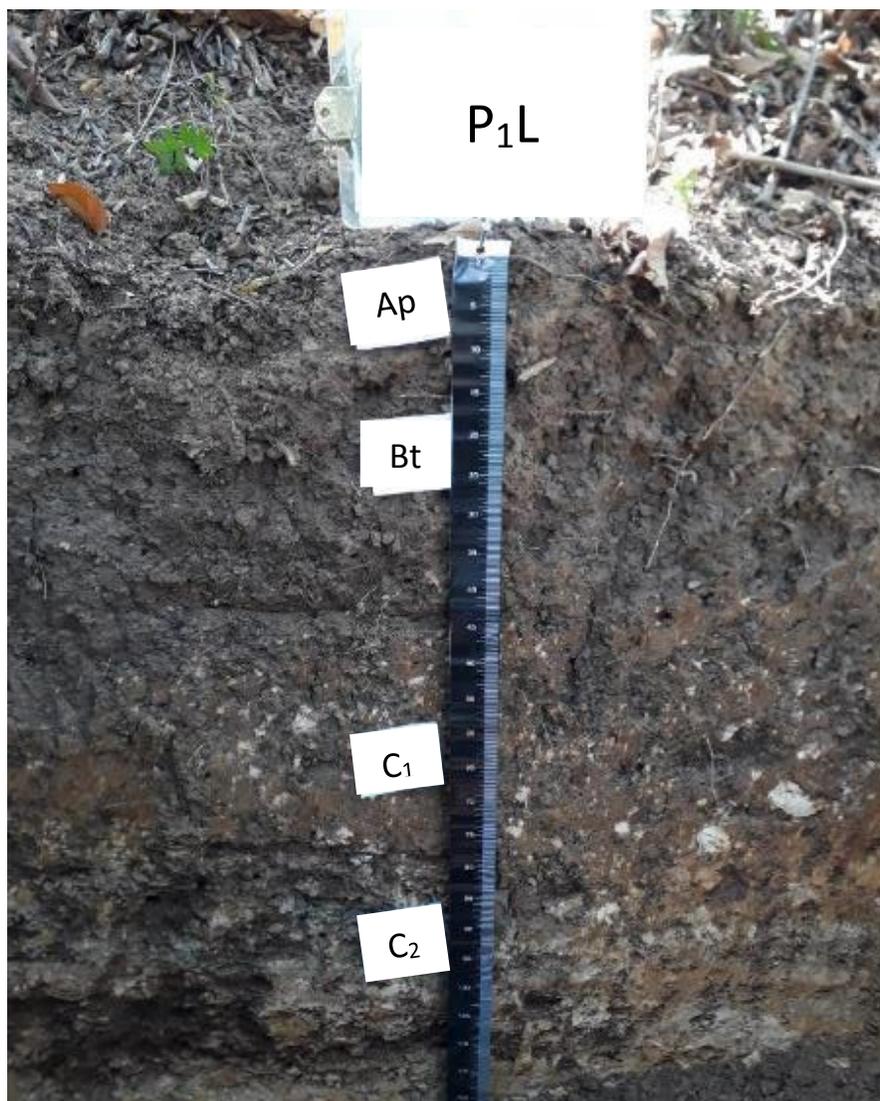
**2AE 05 - 25 cm:** Pardo amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo; franco limoso al tacto; bloques subangulares, fuertes, finos y gruesos; adherente, plástico y duro; poros abundantes, finos y medios; raíces abundantes medias y finas; límite neto y plano.

**2Bt 25 - 45 cm:** Pardo rojizo (5YR 4/4) en húmedo; franco arcilloso al tacto; bloques subangulares fuertes y gruesos, con cutanes continuos y delgados; adherente, plástico y duro; poros pocos medios y finos; raíces muy pocas, medias y finas; límite brusco y plano.

**2C 45 - 75 cm:** Pardo fuerte (7,5YR 5/8) en húmedo; arcillo limoso; masivo; adherente, plástico y friable; con fragmentos rocosos frecuentes, redondeados y angulares, tamaño de grava; poros pocos, medios y finos; raíces pocas, medias y finas; límite brusco y plano.

**3C 75 - 120 cm:** Rojo amarillento (5YR 5/8) en húmedo; franco arcillo limoso; masivo; ligeramente adherente, ligeramente plástico y friable, sin raíces.





### **Descripción individual de los horizontes o capas:**

**Ap 00 - 10 cm:** Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo y pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) en seco; franco arcillo limoso al tacto; bloques subangulares fuertes y gruesos; poros frecuentes, medios y finos; adherente, plástico, muy duro; raíces comunes, medias, finas y muy finas; límite neto y plano.

**Bt 10 - 45 cm:** Pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo y pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) en seco; arcillo limoso al tacto; bloques subangulares fuertes y gruesos, con cutanes continuos y delgados; adherente, plástico, muy duro en seco; poros frecuentes, muy finos, finos y medios; raíces abundantes, muy finas, finas y medias; límite brusco y plano.

**C<sub>1</sub> 45 - 80 cm:** Pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) en húmedo; pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco; franco arcillo limoso; masivo; adherente, plástico, muy duro en seco; poros pocos y finos; raíces pocas, finas; límite gradual y ondulado.

**C<sub>2</sub> 80 - 120 cm:** Pardo amarillento oscuro (10YR 3/6) en seco en aproximadamente 50 % del volumen, y amarillo pálido (2,5Y 7/4) en la otra mitad; arcillo arenoso; masivo; adherente, plástico, duro en seco, sin raíces.

Anexo 6 Descripción del perfil del suelo en el SAF con café pendiente del 26 % sector Lozumbe (Perfil 2)

## UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

### FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

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

### FICHA DE DESCRIPCIÓN DE PERFILES DE SUELO

**Código:** P<sub>2</sub> L      **Fecha:** 23/11/2018      **Autores:** Carlos Valarezo, Miguel Villamagua, Karina

Tandazo      **Sitio:** Lozumbe

**Altitud (msnm):** 828      **Coordenadas:** 639792 E y 9574263 N      **Pendiente:** 26 %

**Paisaje:** montaña      **Tipo de relieve:** vertiente      **Forma del terreno:** pendiente baja

**Uso actual o cobertura vegetal:** café, cítrico, banano y guabo

**Condiciones de humedad:** Seco      **Pedregosidad superficial:** 0 %      **Tamaño:** 0cm

**Afloramientos rocosos:** No      **Tipo:** No      **Material parental:** Rocas sedimentarias con limonitas.

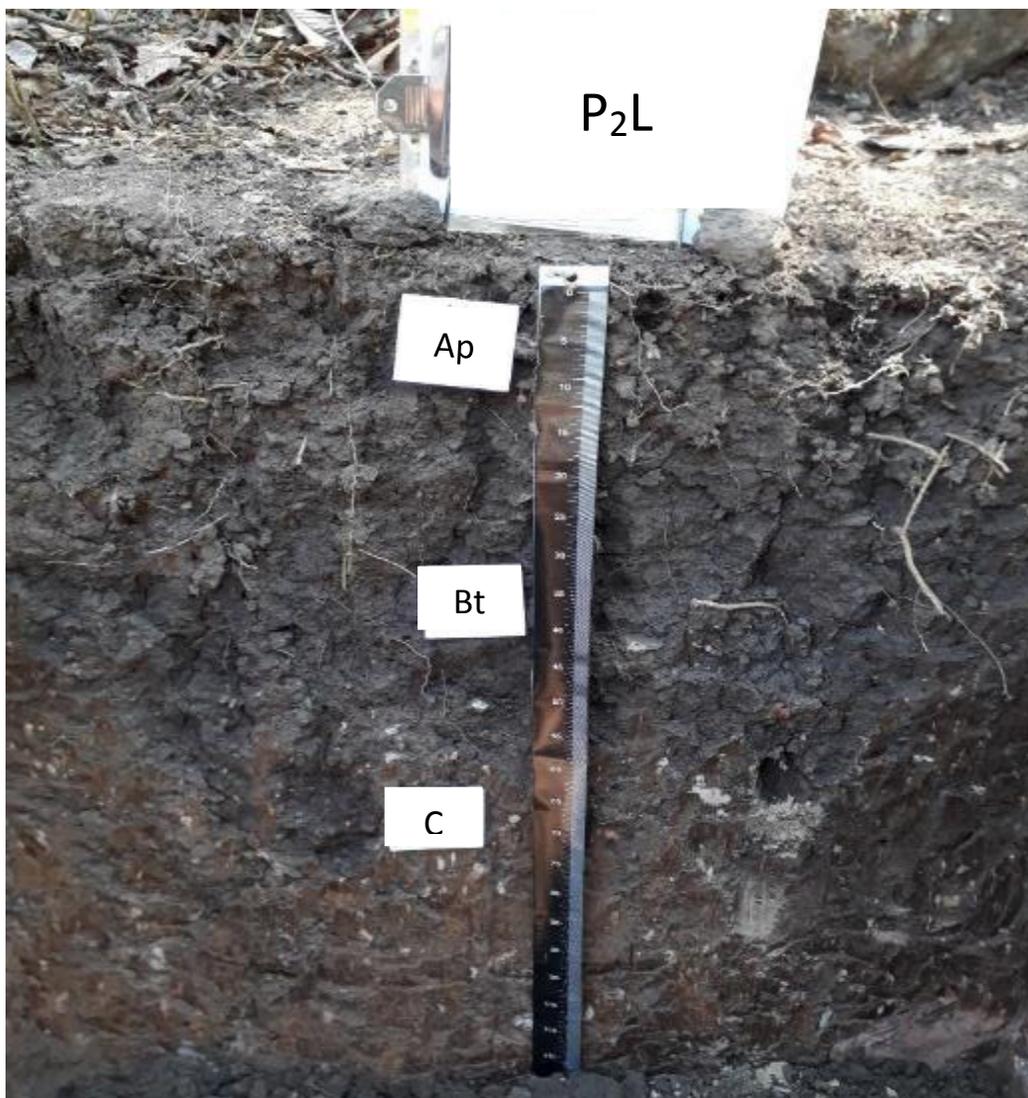
**Profundidad de la capa freática:**      **fluctuación N°** \_\_\_\_\_ cm

**Presencia de Sales o Alcalis:** libre      **Drenaje:** bueno

**Clasificación taxonómica preliminar USDA (2014):** *Vertic Haplustalfs*

### DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL

Suelo muy profundo, constituido por los siguientes horizontes genéticos: Ap de 15 cm de espesor con bloques subangulares grandes; Bt de 30 cm, con prismas y fisuras verticales; C de más de 70 cm, masivo con relictos dispersos del material parental. Abundante hojarasca superficial debido al clima altamente seco. Raíces abundantes hasta 15 cm, muy finas y pocas hasta 120 cm.



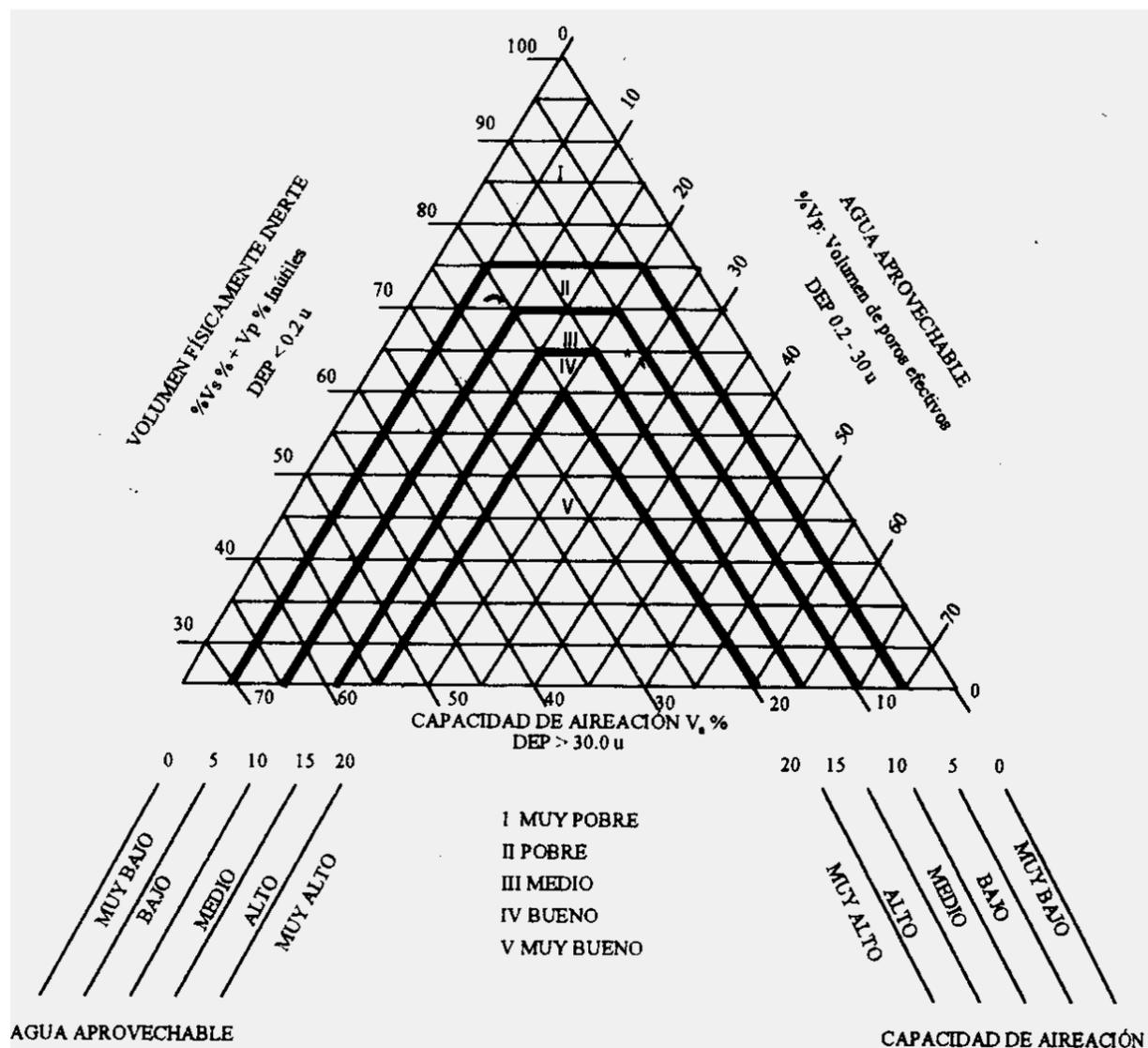
### Descripción individual de los horizontes o capas:

**Ap 00 - 15 cm:** Pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; franco limoso al tacto; bloques subangulares, fuertes, medios y gruesos; poros abundantes medios, finos y muy finos; adherente, plástico, muy duro en seco; raíces abundantes, medias, finas, muy finas; límite neto y plano.

**Bt 15 - 45 cm:** Pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; arcilloso; prismas fuertes, gruesos, con cutanes zonales, muy delgados; muy adherente, muy plástico, muy duro en seco; poros frecuentes, muy finos, finos y gruesos; raíces pocas, muy finas, finas y medias; límite brusco y plano.

**C 45 - 120 cm:** Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; arcillo limoso; masivo; muy adherente, muy plástico, muy duro en seco; poros pocos y finos, raíces muy pocas, finas y medias.

Anexo 7 Diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo



Fuente Valarezo *et al* (1998)

Anexo 8 Porcentaje de altura de la planta indicadora a los 60 días, en el suelo del sistema agroforestal con café de Chaguarpamba días de edad,

Solución	Sistema agroforestal con café variedad					
	Geisha		Catuai		Villalobos	
	%	Interpretación	%	Interpretación	%	Interpretación
Sc	100	Alto	100	Alto	100	Alto
-N	19	Bajo	25	Bajo	20	Bajo
-P	10	Bajo	10	Bajo	10	Bajo
-K	79	Alto	45	Medio	32	Bajo
-Mg	62	Medio	94	Alto	58	Medio
-S	61	Medio	49	Medio	60	Medio
-Zn	87	Alto	92	Alto	88	Alto
-Cu	78	Alto	92	Alto	78	Alto
-Mn	84	Alto	62	Medio	89	Alto
-B	86	Alto	51	Medio	90	Alto
-Fe	79	Alto	88	Alto	69	Alto
Testigo	9	Bajo	8	Bajo	8	Bajo

Anexo 9 Porcentaje de biomasa seca de la planta indicadora, en el suelo del sistema agroforestal con café de Chaguarpamba

Solución	Sistema agroforestal con café variedad					
	Geisha		Catuai		Villalobos	
	%	Interpretación	%	Interpretación	%	Interpretación
Sc	100	Alto	100	Alto	100	Alto
-N	12	Bajo	11	Bajo	11	Bajo
-P	7	Bajo	6	Bajo	7	Bajo
-K	60	Medio	35	Medio	35	Medio
-Mg	54	Medio	61	Medio	40	Medio
-S	53	Medio	61	Medio	54	Medio
-Zn	73	Alto	69	Alto	67	Alto
-Cu	61	Medio	64	Alto	80	Alto
-Mn	72	Alto	53	Medio	80	Alto
-B	59	Medio	49	Medio	83	Alto
-Fe	69	Alto	63	Medio	61	Medio
Testigo	5	Bajo	5	Bajo	4	Bajo

Anexo 10 Porcentaje de altura de la planta indicadora, en el suelo del sistema agroforestal con café de Lozumbé

Solución	Sistema agroforestal con café pendiente del:			
	60%		26%	
	%	Interpretación	%	Interpretación
Sc	100	Alto	100	Alto
-N	17	Bajo	17	Bajo
-P	12	Bajo	37	Medio
-K	31	Bajo	31	Bajo
-Mg	85	Alto	66	Alto
-S	35	Medio	41	Medio
-Zn	83	Alto	85	Alto
-Cu	88	Alto	81	Alto
-Mn	85	Alto	90	Alto
-B	78	Alto	81	Alto
-Fe	69	Alto	92	Alto
Testigo	11	Bajo	10	Bajo

Anexo 11 Porcentaje de biomasa seca de la planta indicadora, en el suelo del sistema agroforestal con café de Lozumbé

Solución	Sistema agroforestal con café pendiente del:			
	60%		26%	
	%	Interpretación	%	Interpretación
Sc	100	Alto	100	Alto
-N	19	Bajo	13	Bajo
-P	16	Bajo	26	Bajo
-K	17	Bajo	25	Bajo
-Mg	60	Medio	37	Medio
-S	36	Medio	30	Bajo
-Zn	79	Alto	75	Alto
-Cu	87	Alto	78	Alto
-Mn	84	Alto	86	Alto
-B	59	Medio	47	Medio
-Fe	55	Medio	91	Alto
Testigo	10	Bajo	12	Bajo

## Anexo 12 Análisis químicos del suelo en el SAF con café de Chaguarpamba.

Uso del suelo		SAF con café variedad Geisha		SAF con café variedad Catuai		SAF con café variedad Villalobos	
		Valor	Interpretación	Valor	Interpretación	Valor	Interpretación
		N	%	0,3	M	0,29	M
P	mg kg <sup>-1</sup>	12,2	M	10,5	M	10,6	M
K	cmol kg <sup>-1</sup>	0,39	M	0,3	M	0,47	A
Mg	cmol kg <sup>-1</sup>	2,77	A	1,78	M	2,17	M
Fe	mg kg <sup>-1</sup>	429,1	A	436	A	329,1	A
Mn	mg kg <sup>-1</sup>	74,16	A	84,14	A	105,1	A
Cu	mg kg <sup>-1</sup>	13,9	A	10,57	A	10,27	A
Zn	mg kg <sup>-1</sup>	4,66	M	2,96	B	3,67	M
B	mg kg <sup>-1</sup>	0,55	B	0,85	B	<0,5	B
S	mg kg <sup>-1</sup>	31,24	A	31,46	A	30,21	A

## Anexo 13 Análisis químicos del suelo en el SAF con café de Lozumbé.

Uso del suelo		SAF con café pendiente del 26 %		SAF con café pendiente del 60 %	
		Valor	Interpretación	Valor	Interpretación
N	%	0,22	M	0,25	M
P	mg kg <sup>-1</sup>	13,7	M	23,3	A
K	cmol kg <sup>-1</sup>	0,21	M	0,19	B
Mg	cmol kg <sup>-1</sup>	1,78	M	1,21	B
Fe	mg kg <sup>-1</sup>	48,2	A	56,3	A
Mn	mg kg <sup>-1</sup>	33,88	A	28,71	A
Cu	mg kg <sup>-1</sup>	9,54	A	7,38	A
Zn	mg kg <sup>-1</sup>	14,51	A	22,31	A
B	mg kg <sup>-1</sup>	<0,5	B	<0,5	B
S	mg kg <sup>-1</sup>	16,25	M	15,29	M

## Anexo 14 Composición química de los fertilizantes utilizados para el plan de fertilización

Fertilizante	Contenidos de Nutrientos (%)							
	N	P2O5	K2O	Ca	Mg	S	Zn	B
10-30-10 (50 kg)	10	30	10	-	-	-	-	-
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 15 Tróptico divulgativo entregado a los asistentes en el día de campo.

### 3.4. Diseño experimental

Se utilizó el Diseño de Bloques Completamente al Azar (3 x 12) y tres repeticiones; y, (2 x 12), con tres repeticiones para Chaguarpamba y Lozumbe, respectivamente.

#### Variables a evaluar

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

### 4. RESULTADOS

#### Chaguarpamba Perfil 3

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

CV=16,51

solución	Medias	
Sc	110.3	A
-B	101.7	A B
-Mn	100.7	A B
-Zn	93.7	A B
-Cu	83.3	A B
-S	81.3	A B
-Fe	73.7	B
-Mg	56.3	D
-K	38.7	D E
-N	14.3	E
-P	9.7	E
Testigo	7.7	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

#### Lozumbe Perfil 2

Análisis de varianza entre las soluciones nutritivas y la altura de la planta aplicando el test Tukey con diferencia significativa ( $n < 0.05$ )

CV=21,31

solución	Medias	
Sc	110.0	A
-Mn	101.7	A B
-Fe	100.0	A B
-Zn	99.0	A B
-B	91.7	A B C
-Cu	84.0	A B C D
-Mg	83.7	A B C D
-S	60.7	B C D E
-P	52.0	C D E
-K	42.3	D E
-N	22.3	E
Testigo	21.0	E

Tabla 1. Comparación de rangos entre el análisis químico y la evaluación biológica (altura de la planta)

#### Chaguarpamba Perfil 3

Solución	P3Ch	
	AQ	EB
-B	B	A
-Mn	A	A
-Zn	M	A
-Cu	A	A
-S	A	M
-Fe	A	M
-Mg	M	M
-K	A	B
-N	M	B
-P	B - M	MB

#### Lozumbe perfil 2

Solución	P2L	
	AQ	EB
-Mn	A	A
-Fe	A	A
-Zn	A	A
-B	B	A
-Cu	A	A
-Mg	B	A
-S	M	A
-P	A	B
-K	B	B
-N	M	MB

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

### 5. CONCLUSIONES

El pH, para el sector Chaguarpamba es de 4,8 (ácido) y 6,4 (ligeramente ácido) para Lozumbe.

En los suelos de los sectores Chaguarpamba y Lozumbe, la evaluación biológica en la capa de 00 – 25 cm, se evidenció deficiencia de N, P y K.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE**  
**RECURSOS NATURALES RENOVABLES.**

**CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**PROYECTO DE TESIS:**

**EVALUACIÓN QUÍMICA Y BIOLÓGICA DE LA**  
**FERTILIDAD DEL SUELO EN LOS SISTEMAS**  
**AGROFORESTALES CON CAFÉ DE LOS**  
**SECTORES CHAGUARPAMBA Y LOZUMBE.**



**TESISTA:** Karina Tandazo

**DIRECTOR:** Ing. M.Sc. Miguel Villamagua  
**LOJA – ECUADOR**  
**Mayo -2019**

## 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar química y biológicamente la disponibilidad de los nutrientes a fin de generar un plan de fertilización para el sistema agroforestal café del cantón Chaguarpamba y Lozumbe de la provincia de Loja.

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

Ante esto la UNL ha desarrollado varias investigaciones:

Aguirre (2017), en el sector San Vicente de la parroquia Chuquiribamba, concluyó que para las seis unidades de suelo en la evaluación biológica se evidencio que el N y P son bajos, mientras que en los análisis químicos la determinación del valor es alto.

Zhunaula (2016), en seis unidades productivas del Sistema de riego La Era, Cantón Catamayo, concluyó que para la mayoría de las unidades productivas en la evaluación biológica se evidencio que el N, P y K son bajos, mientras que en los análisis químicos es alto. Castillo y Villavicencio (2015), En suelos de cultivo en callejones de Gliricida sepium, concluye que que N, P, K y Mn son bajos, mientras que en los análisis químicos es alto.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivos específicos

- Caracterizar física y química los suelos seleccionados
- 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 del sector de estudio para la evaluación biológica, se desarrolló en el invernadero ubicado en la Facultad Agropecuaria de Recursos Naturales Renovables

### 3.2. Materiales

180 tarrinas de plástico de 700ml, 180 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

#### Caracterización física y química de las unidades de suelos

En cada unidad de suelos reconocida se prepararon una calicata de 1,20 m de profundidad, en la que se describe el perfil del suelo

#### 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 <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	118	MnCl <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	1,81
KNO <sub>3</sub>	101	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	2,86
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	136	ZnSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	0,22
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	120	CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O	0,16
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	87	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> · 4H <sub>2</sub> O	0,04
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	123	NaFe-EDTA	32,75
MgCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	101		
CaCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	109		
NaCl	58		

*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	-Fe
Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
KNO <sub>3</sub>	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>				2,0						
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2,0	2,0		1,0						
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	1,5	1,5	1,5	1,5		1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
MgCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O					1,5					
CaCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O					0,0					
NaCl	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 <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
ZnSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	1v	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> · 4H <sub>2</sub> O	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 15 de marzo)

4. Reposición de soluciones nutritivas de las 180 plantas fue: en el periodo de los 15 – 30 días fue de 0,3 L/día; 30 – 45 días 1,5 L/día; y de 45 - 60 días el consumo fue de 2,7 L/días.

5. medición de la altura a los 55 días

## Anexo 16 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 Chaguarpamba y Lozumbe”.

Lugar: Ciudad de Loja.

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



Anexo 17 Evaluación biológica del suelo del SAF con café variedad Geisha (Perfil 1)



Anexo 18 Evaluación biológica del suelo del SAF con café variedad Catuai (Perfil 2)



Anexo 19 Evaluación biológica del suelo del SAF con café variedad Villalobos (Perfil 3)



Anexo 20 Evaluación biológica del suelo del SAF con café pendiente del 60% (Perfil 1)



Anexo 21 Evaluación biológica del suelo del SAF con café pendiente del 26% (Perfil 2)

