

**DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE MICROBIODIVERSIDAD DE LA ZONA
CAFETERA DE LA HACIENDA MAJAVITA RESPECTO A LA ZONA
PROTEGIDA DE RESERVA FORESTAL**

LUIS FERNANDO MORENO PICO

VICTOR MANUEL PARRA SANCHEZ

**UNIVERSIDAD LIBRE
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS AGROPECUARIAS
INGENIERÍA AMBIENTAL
SOCORRO
2020**

**DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE MICRIBIODIVERSIDAD DE LA ZONA
CAFETERA DE LA HACIENDA MAJAVITA RESPECTO A LA ZONA
PROTEGIDA DE RESERVA FORESTAL**

LUIS FERNANDO MORENO PICO

VICTOR MANUEL PARRA SANCHEZ

**PROYECTO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL**

**Directora
ETHEL CAROLINA DIAZ SILVA
MSc. Ingeniería y tecnología ambiental**

**UNIVERSIDAD LIBRE
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS
INGENIERÍA AMBIENTAL
SOCORRO
2020**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente Jurado

Jurado

Jurado

Ciudad y Fecha (día, mes, año) (Fecha de entrega)

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a Dios por darnos la fortaleza para poder sacar este sueño adelante, al magíster en gestión ambiental (Universidad Javeriana), especialista en química ambiental (Universidad industrial de Santander) y biólogo (Universidad Industrial de Santander), Frank Carlos Vargas, por su contribución en el proyecto en la realización de los análisis microbiológicos, a nuestra directora de proyecto magister en ingeniería y tecnología ambiental e Ingeniera Geóloga Ethel Carolina Díaz Silva, por guiarnos y ayudarnos a sacar este proyecto adelante, a nuestros compañeros Milton Francisco Quiñones y Jonathan Stewart Naranjo quienes nos brindaron apoyo en la fase inicial del proyecto y a todos aquellos que de una u otra forma colaboraron en la realización de este proyecto.

DEDICATORIA

Primero que todo agradecer a Dios por brindarme la sabiduría para sobrellevar todas las etapas que viví durante este proceso.

A mis padres que fueron pieza fundamental en este proceso, por impulsarme a ser un profesional por brindarme cariño y creer que este sueño era posible, a mis hermanos por su apoyo en especial a Yerson Moreno por su respaldo incondicional.

A Karen Villamarin que me brindo sus concejos para ser una mejor persona y su apoyo.

A mis amigos y profesores que de una u otra forma ayudaron a que esta meta se pudiera cumplir.

Dedicado a la familia Parra Sanchez y a todos aquellos que siempre han creído en lo que hago y lo que quiero.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	12
2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	13
3. JUSTIFICACIÓN	15
4. OBJETIVOS	16
4.1 Objetivo General.....	16
4.2 Objetivos específicos	16
5. MARCO REFERENCIAL	17
5.1 Marco de antecedentes	17
5.2 Marco teórico	19
5.3 Marco conceptual	22
5.4 Marco legal	24
5.5 Marco geográfico	26
5.5.1 Identificación del terreno.....	28
6. DISEÑO METODOLÓGICO	31
6.1 Fase 1.....	31
6.1.1 Revisión de documentación e información secundaria	31
6.2 Fase 2.....	31
6.2.1 Reconocimiento y ubicación de la zona de estudio.....	31
6.3 Fase 3.....	32
6.3.1 Toma de muestras	32
7. RESULTADOS	37
7.1 Características Físicas.....	37
7.2 Características Químicas.....	42
7.2.1Potencial de hidrógeno	42
7.2.2 Porcentaje de materia orgánica	44
7.2.3 Porcentaje de nitrógeno.....	46
7.2.4 Partes por millón (ppm) de fósforo.....	49
7.2.5 Miliequivalentes (ml-eq/100g) de potasio	51
7.2.6 Miliequivalentes de calcio	53

7.2.7 Miliequivalentes magnesio.....	55
7.2.8 Partes por millón de hierro.....	57
7.2.9 Partes por millón de manganeso	59
7.2.10 Partes por millón de cobre.....	61
7.2.11 Partes por millón de zinc	63
7.2.12 Miliequivalentes de boro	65
7.3 Características Microbiológicas	67
8. DISCUSIÓN	76
9. RECOMENDACIONES	80
10. CONCLUSIONES	82
11. BIBLIOGRAFIA	83
12. ANEXOS	90
12.1 Anexo 1	90
12.2 Anexo 2	92
12.3 Anexo 3	94
12.4 Anexo 4	96

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Granulometría Rancho de Teja y Mata Limón	37
Tabla 2: Formas Fúngicas a nivel macro	67
Tabla 3: Formas fúngicas a nivel micro con aumento de 40x	71
Tabla 4: Especies fúngicas y su presencia a lo largo de los lotes cafeteros Majavita	72
Tabla 5 Granulometría Muncural y Puente Piedra	90
Tabla 6: Granulometría Guamal.....	92
Tabla 7: Granulometría Zona de Reserva Forestal..	¡Error! Marcador no definido.

TABLA DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Curva Granulométrica lote rancho de Teja y Mata Limón	38
Gráfica 2: Resistencia medida en las calicatas.....	41
Gráfica 3: Resultados obtenidos para el potencial de hidrógeno en la zona de producción cafetera de la Hacienda Majavita de la Universidad Libre Seccional Socorro	42
Gráfica 4 Estadística potencia de hidrógeno	43
Gráfica 5: Resultados obtenidos para el porcentaje de materia orgánica en la zona de producción cafetera de la Hacienda Majavita de la Universidad Libre Seccional Socorro	44
Gráfica 6 Estadística materia orgánica	45
Gráfica 7: Resultados obtenidos para el Nitrógeno en la zona de producción cafetera de la Hacienda Majavita de la Universidad Libre Seccional Socorro	47
Gráfica 8 Estadística nitrógeno	47
Gráfica 9: Resultados obtenidos para el fósforo en la zona de producción cafetera de la Hacienda Majavita de la Universidad Libre Seccional Socorro	49
Gráfica 10 Estadística fósforo	50
Gráfica 11: Resultados obtenidos para el potasio en la zona de producción cafetera de la Hacienda Majavita de la Universidad Libre Seccional Socorro	51
Gráfica 12 Estadística potasio	52
Gráfica 13: Resultados obtenidos para el calcio en la zona de producción cafetera de la Hacienda Majavita de la Universidad Libre Seccional Socorro	53
Gráfica 14 Estadística calcio.....	54
Gráfica 15: Resultados obtenidos para el magnesio en la zona de producción cafetera de la Hacienda Majavita de la Universidad Libre Seccional Socorro	55
Gráfica 16 Estadística magnesio	56
Gráfica 17: Resultados obtenido Hierro para el en la zona de producción cafetera de la Hacienda Majavita de la Universidad Libre Seccional Socorro	57
Gráfica 18 Estadística hierro.....	58
Gráfica 19: Resultados obtenido manganeso para el manganeso en la zona de producción cafetera de la Hacienda Majavita de la Universidad Libre Seccional Socorro	59
Gráfica 20 Estadística manganeso	60
Gráfica 21: Resultados obtenidos para el Cobre en la zona de producción cafetera de la Hacienda Majavita de la Universidad Libre Seccional Socorro	61
Gráfica 22 Estadística cobre	62
Gráfica 23: Resultados obtenidos para el Zinc en la zona de producción cafetera de la Hacienda Majavita de la Universidad Libre Seccional Socorro	63
Gráfica 24 Estadística zinc	64

Gráfica 25: Resultados obtenidos para el Boro en la zona de producción cafetera de la Hacienda Majavita de la Universidad Libre Seccional Socorro	65
Gráfica 26 Estadística boro	66
Gráfica 27 Presencia de especies fúngicas	73
Gráfica 28: Curva Granulométrica Muncural y Puente de Piedra	91
Gráfica 29: Curva Granulométrica Guamal	92
Gráfica 30: Curva Granulométrica Zona Forestal	94

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Mapa de lotes Cafeteros Hacienda Majavita	27
Ilustración 2 Lote 5 Denominado orgánico.....	28
Ilustración 3 Cauce de la Fuente Hídrica Mateguadua	28
Ilustración 4 Afectación Antrópica en Límite de Reserva.....	29
Ilustración 5 Agostamiento de árboles	30
Ilustración 8 Descapotado y excavación en forma de v	33

RESUMEN

La Hacienda Majavita en su planteamiento empresarial y de acuerdo a los lineamientos de la Universidad Libre Seccional Socorro ha enfocado sus esfuerzos en la producción de café orgánico en 21 hectáreas de su propiedad, terreno que a su vez se encuentra dividido en 8 lotes. Partiendo de esto se llevó a cabo un estudio con el fin de determinar cuál es el estado actual de este terreno, por medio de la medición de parámetros físicos, químicos y microbiológicos, y a su vez los posibles impactos que este cultivo pueda generar directa o indirectamente a la zona de reserva y a las fuentes hídricas con las cuales cuenta la Hacienda Majavita. Para la realización del muestreo fue necesario seguir las indicaciones que recomienda CENICAFE. La evaluación y comparación de los parámetros obtenidos de cada lote con la reserva y los establecidos por CENICAFE permitieron hacer un diagnóstico de los lotes con mayor impacto, y se pudo determinar los correctivos a tener en cuenta con el fin de estabilizar el terreno, mantener la producción y tener condiciones óptimas para el desarrollo de microorganismos esenciales para la vida productiva del suelo que a su vez resulta muy beneficioso para el cultivo

1. INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural no renovable y el más importante para el desarrollo del sector agropecuario, un suelo apto para la producción de café debe contar con ciertos parámetros físicos, químicos y microbiológicos, los cuales deben ser lo más cercano posible a los establecidos por el centro nacional de investigaciones de café (CENICAFE). Estos parámetros juegan un papel importante a la hora de poder determinar y evaluar la calidad del suelo, como también a llevar un control en la producción del cultivo, la cual se esperaría sea constante y de mejor calidad.

El café es una de las actividades agropecuarias más comunes en el Socorro Santander, un claro ejemplo de esto se ve reflejado en la Hacienda Majavita que se encuentra ubicada en el municipio, contando esta con un cultivo de café orgánico, el cual presenta una producción más baja en comparación con un cultivo de café tradicional debido a que no se utilizan fertilizantes ni pesticidas químicos, en total la Hacienda cuenta con 21 hectáreas que se encuentran divididas en 8 lotes.

El estudio se realizó con el propósito de determinar el estado actual del suelo cultivado con café de la Hacienda Majavita y poder analizar si este ha presentado alguna pérdida microbiana y disminución de nutrientes en comparación con la reserva ubicada en la Hacienda, lo cual a su vez pueda influir en la calidad de producción, logrando así, establecer las recomendaciones a seguir en caso de existir pérdida, esto con el fin de mejorar los estándares de producción sin llegar a sobreexplotar el suelo.

Para poder llevar a cabo este estudio fue necesario la toma de aproximadamente 15 muestras puntuales por cada lote, con las cuales se sacaba una muestra compuesta. Una vez contamos con las 8 muestras, estas se enviaron al laboratorio Peña Flor ubicado en el municipio de San Gil para la realización de los análisis químicos completos, por otra parte los análisis físicos y microbiológicos se realizaron en la Universidad Libre Seccional Socorro.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La degradación de los suelos, es el resultado histórico del mal manejo de este, siendo una de las causas de la desertificación de nuestras áreas, donde este es el eslabón final de la cadena degradativa de los suelos. (FONDO PARA EL MEDIO AMBIENTE MUNDIAL, 2007).

Precisamente es la alteración de los parámetros físico – químicos y microbiológicos lo que conlleva a la degradación del suelo, reduciendo la posibilidad de mantener las condiciones necesarias para el desarrollo de los microorganismos presentes en este y disminuyendo la vida productiva de los diferentes cultivos y vegetación de la zona.

La región de El Socorro se caracteriza por ser una zona cafetera con altos estándares de producción, la Hacienda Majavita no siendo ajena a la posibilidad empresarial, ha enfocado sus esfuerzos en la producción de café 100% orgánico, lo cual representa una producción más baja debido a que se elimina el uso de agentes químicos que compensan los nutrientes que necesita la planta, según estudios como “comparativo de la rentabilidad del cultivo de café orgánico e inorgánico en el municipio de Ángel Albino Corzo, estado de Chiapas” (SÁNCHEZ, 2013); por esta razón se hace uso de abonos orgánicos para mantener la demanda de nutrientes necesaria para la producción, devengando una ganancia a nivel ambiental al eliminar insumos químicos pero advirtiendo una producción más baja a la de un cultivo de café tradicional.

Los antecedentes presentados en la investigación “Estudio del componente suelo en el cultivo agroforestal de café orgánico en la Hacienda Majavita, Universidad Libre Seccional Socorro.” (Medina, 2017) Ha sugerido características de uso del suelo que contrastan con los parámetros esperados en el desarrollo de este tipo de cultivos orgánicos, pasando por factores de bajo cuidado de los cultivos, lo cual trasciende en una producción más baja de lo esperado y en la degradación del suelo, asociándose dichas características a las presentes en los monocultivos, siendo este un factor importante en la pérdida de biodiversidad y acelerador en la pérdida de nutrientes del suelo. Al presentarse estas características en un sistema

de producción orgánica con bajos rendimientos, ha presionado a los hacendados a expandir los límites cultivables más allá de lo establecido e invadir parte de zonas protegidas designadas tanto por la universidad como aquellas zonas de protección naturales que se deben mantener cerca de las fuentes hídricas presentes en la Hacienda Majavita, por consiguiente, analizando dichos parámetros que presentan los 9 lotes de café en la Hacienda y comparándolos respecto a los valores recomendados por entidades como CENICAFE, aportará un estado de referencia que permita la toma de decisiones en la búsqueda de la estabilización de las condiciones del suelo y la formulación de enmiendas que mantengan un nivel de producción constante y no obligue a atender contra las zonas protegidas.

3. JUSTIFICACIÓN

El sector cafetero es uno de los más importantes a nivel nacional y es uno de los sectores que mayor impacto genera en el recurso suelo, esta actividad produce un desgaste progresivo tanto en sus características físicas como en la pérdida de nutrientes necesarios para el desarrollo de la micro-biodiversidad. Al realizar una evaluación de su estado y hacer una comparación con los estándares establecidos por CENICAFE, se busca determinar los posibles cambios en sus características físico – químicas y microbiológicas a los que está sometido el terreno cultivado en café de la Hacienda Majavita respecto a la zona protegida que limita con el cultivo, lo cual puede dar paso a la toma de decisiones para la recuperación del suelo cafetero que permita controlar o detener la degradación del suelo, preservando la micro-biodiversidad en esta zona y la productividad del mismo cultivo avanzando hacia un sistema de producción sostenible.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Determinar la pérdida de micro-biodiversidad de la zona cafetera de la Hacienda Majavita respecto a la zona protegida de reserva forestal.

4.2 Objetivos específicos

- Determinar las características físicas, químicas y microbiológicas del suelo en los 9 lotes con cultivo de café en la Hacienda Majavita de El Socorro.
- Comparar los valores de los parámetros microbiológicos analizados en los 9 lotes de cultivo de la Hacienda Majavita respecto a la zona protegida de reserva forestal.
- Identificar los parámetros con mayor variabilidad en los lotes de cultivo de café de la Hacienda Majavita respecto a las recomendaciones por CENICAFE.
- Comparar los parámetros microbiológicos del lote adyacente a la zona protegida respecto a los parámetros de la misma, examinando la pérdida de micro-biodiversidad entre estos.
- Formular un plan de recuperación de suelo para los lotes cafeteros que presenten mayor afectación.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1 Marco de antecedentes

A continuación, se presentan diversos estudios realizados en cuanto a las características físicas, químicas y microbiológicas del suelo en la producción del cultivo del café.

Uno de estos realizado en Turrialba, Costa Rica comparó entre enero y julio de 2005 indicadores de calidad de suelo a nivel biológico, químico y físico en veinticuatro fincas de café orgánico y convencional bajo sombra diversificada, y en tres fincas de café en pleno sol y en tres bosques. El objetivo del estudio fue la identificación de variables físicas, químicas y especies claves del suelo que podrían ser usadas como indicadores de la calidad de los suelos de los cafetales de Turrialba. Las variables comparadas fueron: poblaciones de nematodos, lombrices de tierra, actinomicetos, colémbolos y presencia de mico parásitos; densidad aparente del suelo (DA), textura, resistencia a la penetración (RP), porcentaje de humedad (% H), conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), N, P, K Ca, Mg, Cu, Zn, Mn y Fe. La producción y el número de plantas de sombra en los cafetales fueron usados como covariable en las comparaciones. (George, 2006)

Seguidamente en el 2009 se ejecutó un proyecto en el departamento del Cauca, en los municipios de Morales, Piendamó y Caldono, en los Resguardos de Agua Negra, Chimborazo, Honduras, La María, Las Mercedes y Caldono, con el objetivo de estudiar las propiedades físicas y químicas del suelo en sistemas de producción de café orgánico y tradicional. La idea surge a partir de la necesidad de mostrar a los productores cafeteros que trabajar con la agricultura orgánica el sistema cafetero es más sostenible por que se disminuye la inversión en los costos de producción y por ende se generan beneficios económicos y ecológicos a los productores. Además, independientemente del sistema que se maneje los productores podrán fertilizar sus

cafetales de una forma precisa y sencilla. Para el estudio se seleccionaron fincas con los dos sistemas de producción, las cuales fueron muestreadas para el análisis de fertilidad de suelos, recogiendo de cada una de ellas seis muestras/ha, estas fueron analizadas en los laboratorios del Ingenio Providencia y de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Con los resultados se analizaron pH, Aluminio, elementos mayores como nitrógeno, fósforo, potasio magnesio y calcio y propiedades físicas como: la textura, la densidad aparente y humedad gravimétrica. (MUELAS, 2009)

Posteriormente para el año 2011 en la Hacienda Majavita se realizó la actualización de datos topográficos e implementación del plan de manejo ambiental en el predio propiamente dicho este documento aunque es tomado como referencia para el desarrollo del presente proyecto este describe que: al cambiar una o más propiedades del suelo a condiciones inferiores a las originales de este, por medio de procesos físicos, químicos y microbiológicos se incurre en la degradación del recurso a causa de esto, las condiciones y la calidad del suelo son afectados negativamente, lo cual impide la fertilidad del mismo para prácticas de agricultura. Por este motivo es indispensable la inclusión de un Plan de Manejo Ambiental que permita mitigar los impactos generados por los fenómenos naturales y/o las inadecuadas prácticas que puedan afectar la salud del suelo.

Así mismo, el autor del documento busca plasmar los diferentes cambios en la delimitación de las diferentes zonas de cultivos y demás actividades realizadas en la Hacienda Majavita. (Silva, 2011)

Por otro lado para el año 2015 en el municipio de Calarcá- Colombia se desarrolló una investigación sobre las características del suelo en los cultivos de cafés especiales de modo que se explica que la producción de café es un renglón económico de importancia significativa en Colombia que cobra cada vez más relevancia por la declaratoria de la Unesco de Paisaje Cultural Cafetero Colombiano, generando oportunidades para el sector productivo, pero también

implica nuevos retos asociados a la calidad del café que le permita acceder a los mercados especializados, destacando la dinámica económica creciente de los cafés especiales. Existe una relación entre las prácticas agronómicas –incluyendo el origen y características del suelo– y la respuesta de la bebida en taza y la perfilación con relación a la expresión de los cafés especiales definidos por la SCAA (Specialty Coffee Association of América). Por lo anterior, en este proyecto se realizó una clasificación de los suelos de la región de Calarcá (pH, materia orgánica, elementos mayores, clase textural, hierro y aluminio). A partir de análisis multivariado se encontraron dos tipologías de suelo determinados principalmente por el pH, concentración de calcio y los niveles de aluminio del suelo, así como el uso de semi-sombra, siendo parámetros relevantes para dicho tipo de café. (Adriana Andrade, 2015)

5.2 Marco teórico

El suelo es un recurso fundamental para la vida en la tierra, dado a su potencial para la regulación de los diferentes ciclos biogeoquímicos, hídricos e interacciones biológicas, permite la sostenibilidad de los ecosistemas, contribuyendo al soporte de los seres vivos a los cuales directa o indirectamente suministra los nutrientes y suplementos necesarios para el desarrollo vital de los ciclos. Este recurso a nivel mundial está siendo sobreexplotado y los principales impulsores del cambio corresponden al crecimiento poblacional y económico, lo que provoca mayores influencias del hombre sobre el suelo, ya sea por la intensificación de actividades agrícolas que permitan suplir las necesidades alimentarias a nivel mundial o por el crecimiento del número y tamaño de áreas pobladas, zonas urbanizadas e infraestructuras asociadas a la comodidad de las poblaciones. La organización de las Naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO) menciona que entre los años 1961 y 2000 la población mundial creció un 98%, la producción alimentaria aumento un 146% y la producción per-cápita de alimentos se incrementó un 24%., con respecto a los rendimientos de cultivos se han duplicado y el área de tierra

cultivable aumento un 8% un porcentaje bajo para la creciente demanda. La característica primordial de dicho periodo fue el uso e incremento de insumos agrícolas y avances en la mejora de cultivos, que con el paso del tiempo son más agresivos y los mejoramientos desfavorecen la seguridad alimentaria lo que conlleva a mayores problemáticas ambientales en los diferentes recursos (agua, aire, suelo, fauna, flora). (Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2015)

La degradación de los suelos es entendida como la depreciación o alteración de una o varias de las ofertas de bienes, servicios y funciones ecosistémicas y ambientales ocasionada por actividades naturales o antrópicas que en casos severos pueden ocasionar el desgaste total del recurso (IDEAM, 2015), en Colombia esta situación presenta un panorama poco alentador según cifras del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) revelan que el 40% del territorio nacional presenta algún grado de degradación de suelos por erosión, el 24% de territorio colombiano es propenso a degradarse por aridez. Adicionalmente otro estudio realizado por las mismas instituciones revelo que el 4,1% de los suelos del territorio nacional equivalentes a cinco millones de hectáreas presentan desertificación, este es un proceso lento que altera drásticamente las características fisicoquímicas y microbiológicas del suelo, a tal punto de inhibir la capacidad productiva de los mismos; de la cifra de 4,1% mencionado anteriormente el 0,45% presenta niveles muy altos, 0,19% alto, 0,73% moderado, 1,77%baja y 1,12% muy baja de niveles de desertificación. Finalmente, el estudio concluye que el 7,1% del territorio nacional se encuentra en proceso de desertificación.

En lo que se refiere a las zonas cafeteras del país la principal degradación de los suelos se debe a la erosión hídrica, la cual se resume en tres factores los cuales son erosividad, erodabilidad y manejo del suelo, el primer término hace referencia a la cantidad de lluvia que dinamiza la erosión hídrica, dicho efecto es producido por

la fuerza que alcanza la gota de lluvia al impactar el suelo, ocasionando el desprendimiento de las partículas. El segundo término se relaciona con la resistencia del suelo a la agresividad de la lluvia, está condicionado por las características naturales del suelo y finalmente el manejo del recurso en donde se establecen las buenas prácticas agrícolas para los cultivos y representa un factor determinante para la reducción de la erosividad y disminución de la erodabilidad. El Centro Nacional de investigaciones del café (CENICAFE) realizó un estudio donde determinó que para las zonas centrales cafeteras de Colombia la erosividad es alta a muy alta y que de las zonas cartografiadas más del 80% presenta grado de erosión moderado a severo. (CENICAFE, 2016)

De acuerdo con las situaciones mencionadas anteriormente se han utilizado herramientas que permiten conocer las características fisicoquímicas y microbiológicas del suelo para potenciarlo, evidentemente se han dado impactos tanto positivos (el crecimiento de la economía en la parte agropecuaria) como negativos (perdida de la capacidad productiva del suelo, salinización, erosión, pérdida de nutrientes, reducción de micro y macro-fauna, compactación, acidificación, etc.,) que ponen de manifiesto la importancia del desarrollo sostenible de modo que si se logra la preservación del suelo, se promueve el desarrollo de los servicios ambientales del mismo, como lo son suelos productivos para satisfacer la demanda mundial de alimentos, garantizar la biodiversidad de fauna y flora, lo que a su vez contribuye a los equilibrios eco-sistémicos del ciclo hidrológico, ciclos de nutrientes, regulación de gases efecto invernadero, depuración de contaminantes, entre otros. Cabe destacar que este recurso funciona como banco importante de carbono y soporte de obras de infraestructuras que favorecen no solo la integridad ambiental sino también la humana. (IDEAM, 2012)

5.3 Marco conceptual

Suelo: El suelo es un componente fundamental del ambiente, natural y finito, constituido por minerales, aire, agua, materia orgánica, macro y micro-organismos que desempeñan procesos permanentes de tipo biótico y abiótico, cumpliendo funciones vitales para la sociedad y el planeta. (IDEAM, Sistema de información ambiental de Colombia, 2015)

Ciclos biogeoquímicos: El término Ciclo Biogeoquímico deriva del movimiento cíclico de los elementos que forman los organismos biológicos (bio) y el ambiente geológico (geo) e interviene un cambio químico. Gracias a los ciclos biogeoquímicos, los elementos se encuentran disponibles para ser usados una y otra vez por otros organismos; sin estos ciclos los seres vivos se extinguirían por esto son muy importantes. Estos son procesos naturales que reciclan elementos en diferentes formas químicas desde el medio ambiente hacia los organismos, y luego a la inversa. (Centro internacional para el Fenómeno del Niño;, 2017)

Micro-biodiversidad: La diversidad biológica o biodiversidad se define como “la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos los ecosistemas terrestres, acuáticos o marinos”. Engloba la diversidad dentro de las especies (diversidad genética), entre las especies (diversidad de los organismos) y de los ecosistemas (diversidad ecológica). No hay ningún lugar de la naturaleza con una mayor concentración de especies que los suelos; sin embargo, esta biodiversidad apenas se conoce al estar bajo tierra y ser, en gran medida, invisible para el ojo humano. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2015)

Calidad del suelo: (Doran y Parkin 1994). Indican que Calidad de suelo se refiere a la capacidad de interacción del mismo con su ecosistema y la simbiosis entre la producción microbiológica, ambiental y el desarrollo de la fauna y flora por acción del sustrato presente en una determinada zona (Banegas, 2014)

Perdida de nutrientes: según Bake y Laflen (1983) Es la inhabilidad del suelo para la retención de nutrientes, esta situación se da por tres causas principales por percolación en el perfil del suelo, en solución en el agua de escorrentía, y absorbidos a los sedimentos arrastrados por el agua de escorrentía. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2007)

Degradación: es entendida como la depreciación o alteración de una o varias de las ofertas de bienes, servicios y funciones ecosistémicas y ambientales ocasionada por actividades naturales o antrópicas que en casos severos pueden ocasionar el desgaste total del recurso (IDEAM, 2015)

Salinización: es un proceso químico natural o inducido por las actividades antrópicas por medio del cual aumenta o se acumulan sales solubles en el suelo, generando consecuencias negativas sobre los servicios y las funciones ecosistémicas y ambientales que ofrecen los suelos. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2007)

Compactación: corresponde a la pérdida irreversible de volumen y elasticidad que experimenta una determinada masa de suelo debido a fuerzas externas que actúan sobre él en rangos de humedad cercanos al límite plástico. (Madero-Morales, 2012.)

Erosión: Es la pérdida físico-mecánica del suelo, la cual se refiere a la pérdida de la calidad de la estructura del suelo y propiedades mecánicas como la capacidad portante, la capacidad de infiltración, etc., que afecta las funciones y servicios ecosistémicos, reduciendo la capacidad productiva de los mismos. La erosión es un proceso natural; que se puede clasificar como degradación cuando se presentan actividades antrópicas no sostenibles que aceleran, intensifican y magnifican el proceso. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2007)

Acidificación: es el proceso mediante el cual el pH disminuye, porque aumenta la concentración de hidrógeno (W) y la capacidad de neutralización de las bases. Aunque hay suelos naturalmente ácidos y seres vivos capaces de sobrevivir en

estas condiciones, un suelo con un pH bajo puede presentar limitantes para el crecimiento de plantas y microorganismos. (Rincon Castillo, 2012)

Desarrollo sostenible: el desarrollo sostenible como la satisfacción de «las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. (Comisión mundial sobre el medio ambiente y el desarrollo, 1987)

Servicios ambientales: Los servicios ambientales son los beneficios que la población obtiene de manera directa o indirecta de los ecosistemas. Comúnmente se clasifican en servicios de soporte, regulación, provisión y culturales. El suelo, al formar parte de los ecosistemas, contribuye de manera sustancial a cada una de estas categorías, siendo particularmente importante su participación en las tres primeras. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2016)

Agricultura orgánica: sistema holístico de producción que promueve y mejora la salud del agro-ecosistema, incluyendo la biodiversidad, los ciclos biológicos y la actividad biológica del suelo, prefiriendo el uso de prácticas de manejo dentro de la finca al uso de insumos externos a la finca, tomando en cuenta que condiciones regionales requieren de sistemas adaptados a las condiciones locales. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2003)

5.4 Marco legal

Norma	Descripción
Leyes	
LEY 388 DE 1997	Por medio del cual se Establece un mandato para que todos los municipios del país formulen sus respectivos Planes de Ordenamiento Territorial.
Decretos	
Decreto 2811 de 1974 parte VII	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, Del suelo agrícola y de los usos no agrícolas de la tierra.
Decreto 843 de 1979	Se dictan disposiciones para el control de la industria y comercio de los abonos o fertilizantes, enmiendas, acondicionadores del suelo, alimentos para animales, plaguicidas de uso agrícola, defoliantes, reguladores

	fisiológicos de las plantas, drogas y productos biológicos de uso veterinario.
Decreto 1443 de 2004	Por el cual se reglamenta la prevención y control de la contaminación ambiental por el manejo de plaguicidas y desechos o residuos peligrosos provenientes de los mismos.
Decreto 1076 de 2015	Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible”. En dicho decreto se decreta la estructura, el sector central y la cabeza de sector del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible siendo el rector de la gestión del ambiente y de los recursos naturales renovables, encargado de orientar y regular el ordenamiento ambiental del territorio y de definir las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables y del ambiente de la Nación, con el fin de asegurar el Desarrollo Sostenible sin perjuicio de las funciones asignadas. Se dictan las unidades administrativas especiales, las unidades adscritas y las unidades vinculadas, los fondos especiales, organismos autónomos, entre otros, con sus respectivos objetivos y funciones en el sector ambiente y desarrollo sostenible del país.
Políticas	
Cumbre de Río de Janeiro de 1992.	Se reconoce la importancia de la protección del suelo con miras a alcanzar un verdadero desarrollo sostenible, haciendo énfasis en la prevención y control de acciones antrópicas que generan procesos de contaminación y degradación.
Guía técnica Colombiana GTC-91	Guía para el cultivo y beneficio de café orgánico del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
(PNGIBSE) Política Nacional de Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos de 2011	El país cuenta con este Plan Nacional de Desarrollo Forestal, el Plan de Acción Nacional de Lucha Contra la Desertificación y la Sequía en Colombia, La Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible, El Plan Nacional de Restauración, y la Política Nacional del Recurso Hídrico (2010).
Política para la gestión sostenible del suelo. Bogotá, D.C.: Colombia. Ministerio de	Con la cual se busca promover el manejo sostenible del suelo en Colombia, en un contexto en el que confluyan la conservación de la biodiversidad, el agua y el aire, el ordenamiento del territorio y la gestión de riesgo,

Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016.	contribuyendo al desarrollo sostenible y al bienestar de los colombianos.
---	---

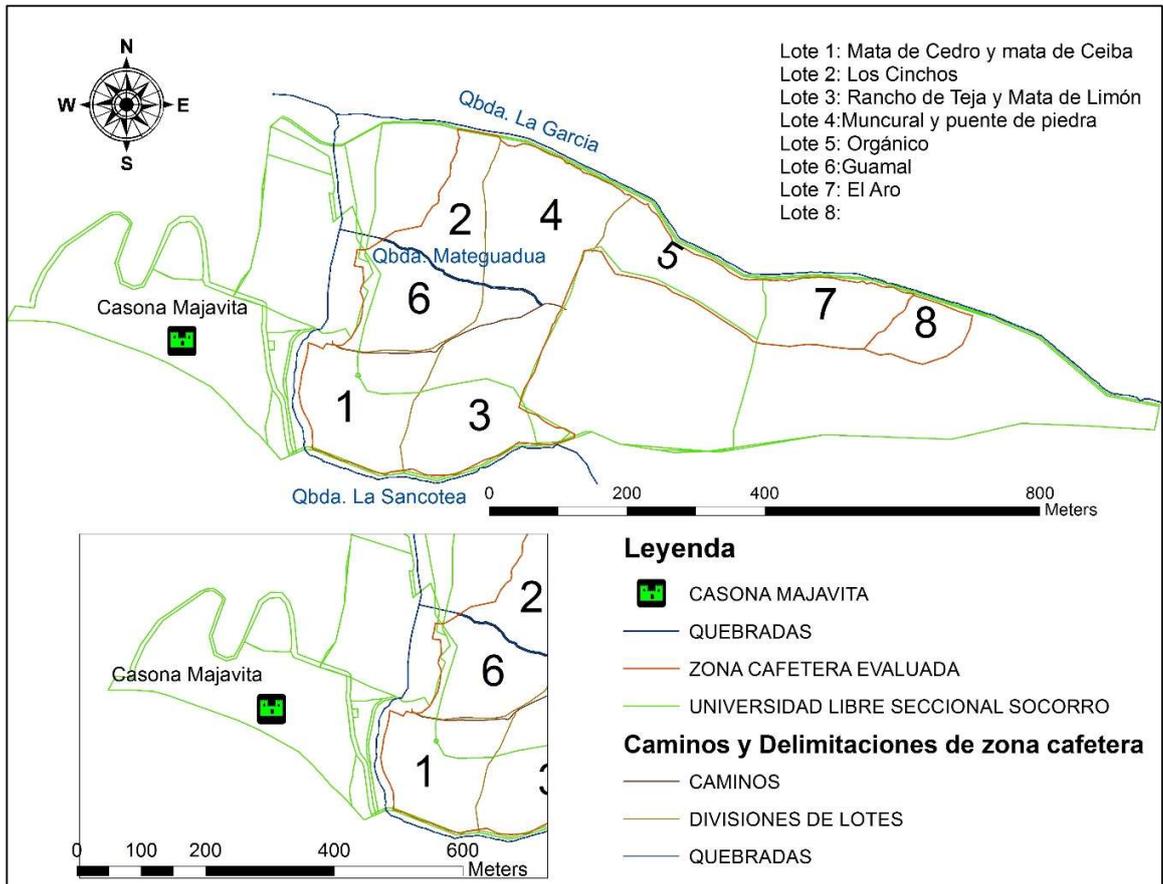
5.5 Marco geográfico

El presente proyecto se realizó en la Universidad Libre, en el municipio El Socorro, ubicado en el departamento de Santander. Ésta cuenta con una temperatura promedio de 23°C. Se encuentra a una altura aproximada de 1350 metros sobre el nivel del mar, y a una latitud 1207540,189 Norte y longitud de 1091234,23 oeste. Además, la zona se encuentra según la clasificación de Holdrige en bosque húmedo pre-montano, con una precipitación aproximada de 1250mm anuales. Es una entidad privada que centra su actividad económica en brindar servicios de educación superior en los niveles de pregrado y postgrado, adicionalmente es una empresa que cuenta con una extensión de 54 hectáreas, de las cuales destina un porcentaje de 40,62% a la producción agroforestal del cultivo de café (Infante, Parra y Quecho 2017).

El estudio correspondiente para el análisis de propiedades físicas, químicas y microbiológicas se realizó en 8 lotes de café presentes en la Hacienda propiamente dicha, los cuales responden a los nombres de: Mata de Cedro y Mata ceiba, Los Cinchos, Rancho de Teja y Mata Limón, Muncural y Puente Piedra, Orgánico, Guamal, El Aro y el lote número 8.

A continuación, se presenta un mapa donde se identifican los lugares mencionados anteriormente.

Ilustración 1: Mapa de lotes Cafeteros Hacienda Majavita



Fuente: autores

5.5.1 Identificación del terreno

Ilustración 2 Lote 5 Denominado orgánico



Fuente: Autores

En este lote se evidenció una renovación del cultivo del café, a su vez se observó como la flora nativa presentaba cambios importantes en cuanto a su estado natural, ya que la gran mayoría de los árboles que no correspondían al sombrío del cultivo, se encontraban desprovistos de su capa foliar y su fuste agostado

Ilustración 3 Cauce de la Fuente Hídrica Mateguadua



Fuente: Autores

En la ilustración se aprecia el cauce de la fuente hídrica Mateguadua, la cual discurre por gran parte de la zona cafetera de la Hacienda Majavita, está se encuentra invadida en lo que respecta a su ribera por el cultivo de café, situando este último a menos de un metro del cauce en tramos extensos.

Ilustración 4 Afectación Antrópica en Límite de Reserva



Fuente: Autores

En la ilustración se puede apreciar la avanzada que realizan los cafeteros hacia la zona de reserva forestal, con la instalación de campamentos para desarrollo de las actividades de recolección, así mismo se pudo apreciar a lo largo de los lotes 7 y 8 varios caminos que atraviesan la zona de reserva y conducen a los distintos lotes cafeteros, lo cual genera afectaciones en lo que concierne a la remoción de la capa vegetal que suele ser densa y la compactación del suelo por el paso de animales de carga y los seres humanos, esto también puede derivar en encharcamientos en época de invierno.

Ilustración 5 Agostamiento de árboles



Fuente: Autores

La ilustración corresponde a un árbol de gran envergadura desplomado con raíces expuestas que toma relevancia dado que en al menos el 50% de los lotes se encontraron arboles con características similares, acusando dudas sobre su caída, ya que algunos de estos árboles presentaban agostamiento y marchitamiento, mientras que arboles similares en tamaño y especies que se encontraban a la otra rivera de la fuente hídrica la García, no presentan ninguna de las características mencionadas anteriormente y prácticamente ningún árbol ha caído exponiendo su raíz.

6. DISEÑO METODOLÓGICO

6.1 Fase 1

6.1.1 Revisión de documentación e información secundaria

En esta fase del proyecto se realizó la búsqueda de información sobre estudios anteriores relacionadas con la temática abordada, adicionalmente se tomaron en cuenta los aspectos geográficos del municipio y de la Hacienda Majavita, características, técnicas, métodos y demás información relevante que permitieron llevar a cabo los análisis necesarios para la ejecución del proyecto.

6.2 Fase 2

6.2.1 Reconocimiento y ubicación de la zona de estudio

Con la obtención de la cartografía en la fase 1 de la zona a evaluar se realizó una visita a la zona agroforestal de la Hacienda Majavita, de modo tal que se recorrieron los nueve lotes a los cuales se le realizaron las pruebas. Adicionalmente se ejecutó el reconocimiento de los límites de los diferentes lotes teniendo en cuenta la cartografía mencionada anteriormente y se establecieron los puntos de muestreo en cada uno de ellos de acuerdo a Sadeghian & González (2013) para que a la hora de realizar este, fuera bajo procedimientos estandarizados y así disminuir el margen de error.

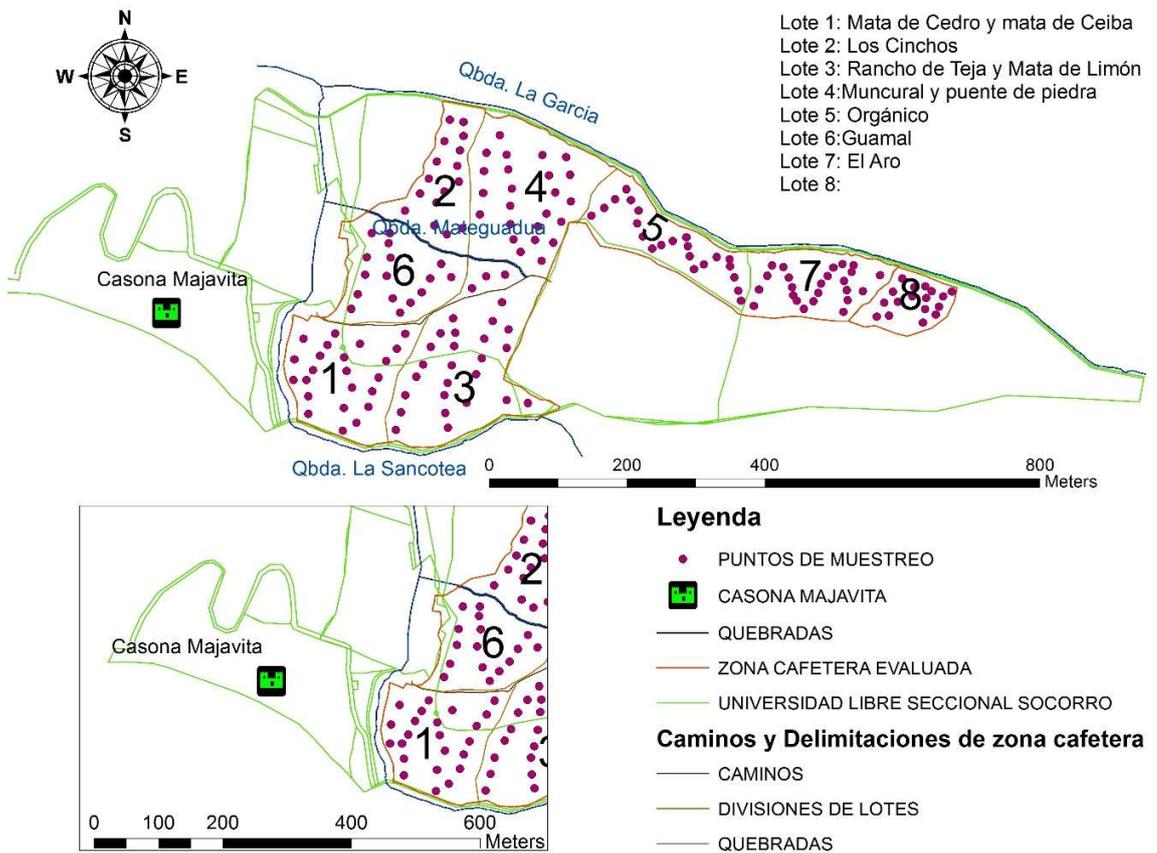
Cabe resaltar que fue necesario realizar una actualización de la cartografía, puesto que los lotes encontrados y definidos como 8 y 9 representaban solo al lote 8, el cual fue dividido en 2 cortes de café con diferente tiempo de plantación y un adicional de 5 metros extendiéndose hacia la reserva, de igual forma los análisis físicos y químicos se realizaron para los 2 cortes de café del lote 8, lote 8A y lote 8B, y los demás lotes existentes en la cartografía previa.

6.3 Fase 3

6.3.1 Toma de muestras

El día 14 de octubre de 2019 se ingresó nuevamente a los lotes con el fin de obtener las muestras de suelo por cada lote, para obtener una muestra representativa de 1kg por cada uno de los mismos.

Ilustración 6: Mapa puntos de muestreo



Fuente: Autores

El procedimiento realizado en cada uno de los lotes se presenta a continuación.

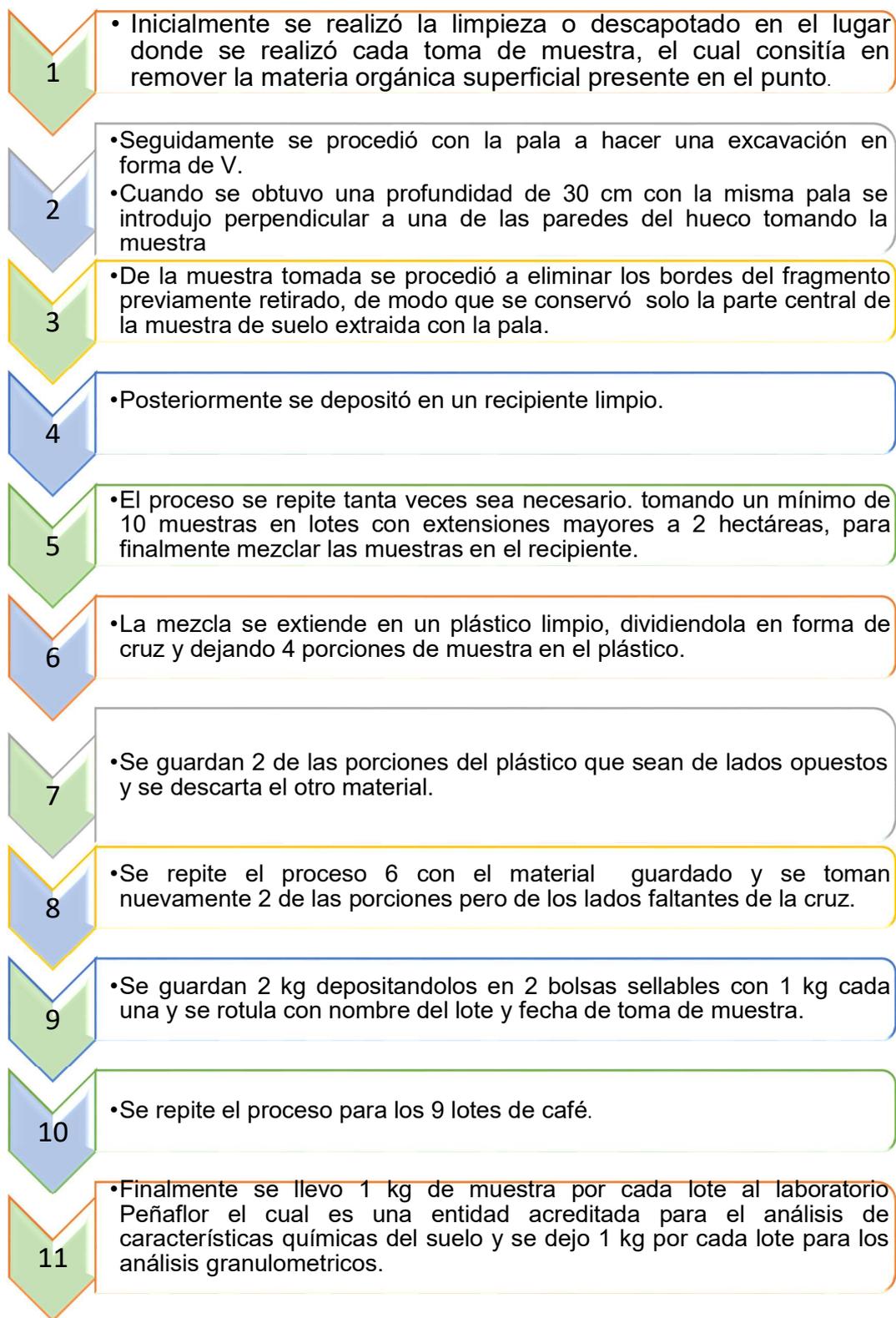
Ilustración 7 Descapotado y excavación en forma de v



Fuente: Autores

Metodología para toma de muestras

Para la extracción de muestras se utilizó la metodología sugerida por CENICAFE, siguiendo las recomendaciones y consideraciones en cuanto a pendientes, extensión, cobertura vegetal, profundidad a la cual se toma la muestra y limpieza de los equipos para toma de muestra.



Nota: Cabe destacar que se deben tomar 10 sub-muestras por un área de 2 hectáreas.

Entre tanto la penetrabilidad del suelo fue medida *in situ* el día 30 octubre de 2019 con el instrumento denominado penetrómetro de bolsillo, lo que permitió conocer la compactación del suelo, en este caso provocada por las diferentes prácticas de agricultura ejecutadas en los diferentes predios. En lo que se refiere a los análisis microbiológicos, se utilizaron diferentes medios de cultivo en forma de agares para separar los microorganismos, de la diversidad microbiana se optó por estudiar hongos, siendo estos los más representativos a nivel del suelo.

Metodología para la identificación de hongos

Para la identificación de las poblaciones fúngicas se procedió a realizar cultivos con agar rosa de bengala, este medio es apto para una gama alta de especies de hongos, permitiéndoles la disponibilidad de nutrientes para su desarrollo.

Después de un tiempo de 3 días, se procede a identificar a las poblaciones desarrolladas, por medio de la observación directa y haciéndole microscopia a las diferentes muestras para resaltar las observaciones directas con muestras ya identificadas en diferentes atlas micológicos.

Inicialmente se pesaron 10 gramos de muestra de uno de los lotes y se disolvieron en 90 mililitros de agua destilada. se repite la operación para cada uno de los 8 lotes y la zona de reserva .

Seguidamente se pesaron 10,4 gramos de agar rosa de bengala

Posteriormente se llevo al autoclave el medio de cultivo disuelto

A continuación se disolvió el agar en 324 mililitros de agua destilada en un erlenmeyer y se puso sobre la plancha de calentamiento hasta homogeneizar la solución.

Seguidamente se procedió a tomar 9 tubos de ensayo con tapa rosca y adicionarles 9 mililitros de agua destilada

A continuación los tubos de ensayo se marcaron del lote 1 al lote 9. A cada tubo de ensayo se le adiciono 1 mililitro de la muestra correspondiente realizada en el paso 1

Posteriormente las cajas de petri con el medio de cultivo son sembradas tomando 1 mililitro de muestra de cada uno de los tubos de ensayo correspondientes, recordando hacer el triplicado

transcurrido el tiempo de esterilización en el autoclave y unos minutos de enfriamiento del medio de cultivo, se procede a servir 12 mililitros del medio de cultivo en cada una de las cajas petri por lote, haciendo triplicado por cada lote.

Una vez realizada la siembra, la cajas de petri son cubiertas con papel oscuro para simular condiciones sin luz y se dejan a temperatura ambiente para el desarrollo del cultivo de hongos.

Finalmente y 3 días después de la siembra, se pueden observar las formaciones y distinciones de las diferentes colonias de hongos, las cuales pueden identificarse sin ayuda de equipos de microscopia.

7. RESULTADOS

7.1 Características Físicas

Las partículas texturales del suelo como arena, limo y arcilla se asocian para formar agregados y a unidades de mayor tamaño. La estructura del suelo afecta directamente la aireación, el movimiento del agua en el suelo, la conducción térmica, el crecimiento radicular y la resistencia a la erosión. (FAO, 2015)

Resultados obtenidos para la calicata 1 en el lote 3 de la zona de producción cafetera de la Hacienda Majavita de la Universidad Libre Seccional Socorro

Tabla 1: Granulometría Rancho de Teja y Mata Limón

Granulometría						lote 3: Rancho de teja y mata limón	
calicata				1			
Punto	E			1091967,651			
	N			1207363,42			
Peso inicial (g)	1522						
mallá	abertura (mm)	peso retenido (gr)	% retenido	% retenido acumulado	% pasa		
1	25	0	0,0	0,0	100,0		
4	4,75	884	58,2	58,2	41,8	% gravas	58,2
10	2	331	21,8	80,0	20,0	% arenas	41,3
20	0,85	145	9,6	89,6	10,4	% finos	0,5
40	0,425	54	3,6	93,1	6,9		
60	0,25	30	2,0	95,1	4,9		
80	0,18	32	2,1	97,2	2,8		
100	0,15	24	1,6	98,8	1,2		
200	0,074	11	0,7	99,5	0,5		
fondo		7	0,5	100,0	0,0		
total		1518	100,0				

D60(mm)	7,99	Cu	10,24
D30(mm)	2,98	Cc	1,42
D10(mm)	0,78		

suelo con presencia de materia orgánica descompuesta por macro y microorganismos en forma de humus, tonalidad 10 YR 5/1 color gris indicando baja aireación en el suelo y permeabilidad alta en la capa comprendida entre los 6 y 30 cm de profundidad y tonalidad 10 YR 5/3 con coloración café rojiza indicando la presencia de goethita o oxihidróxido de hierro $\text{FeO}(\text{OH})$, se debe aclarar que las muestras fueron evaluadas bajo parámetros de la humedad *in situ*.

Siguiendo las pautas de dimensionamiento de la calicata anterior se realizó otra en el lote 4 bajo las mismas características, para la cual se encontraron 2 tonalidades bien marcadas de colores.

La gráfica de la granulometría del lote 4, correspondiente a Muncural y puente piedra ([Ver anexo 1](#)), es una gráfica continua con un mayor porcentaje de arenas, las cuales presentan un porcentaje de 57,4 %, seguido de gravas con un porcentaje equivalente a 41,8% y finalmente se encuentran los finos que corresponden a 0,7%. De acuerdo con lo anterior se establece que es una arena bien graduada, arenas con grava, poco o nada de material fino. Amplia variación en tamaños granulares de partículas en tamaño intermedios y corresponde a las siglas **SW**. Este tipo de suelo arenoso se caracteriza por tener alta permeabilidad y buena aireación, pero con una baja retención de agua y pocos nutrientes.

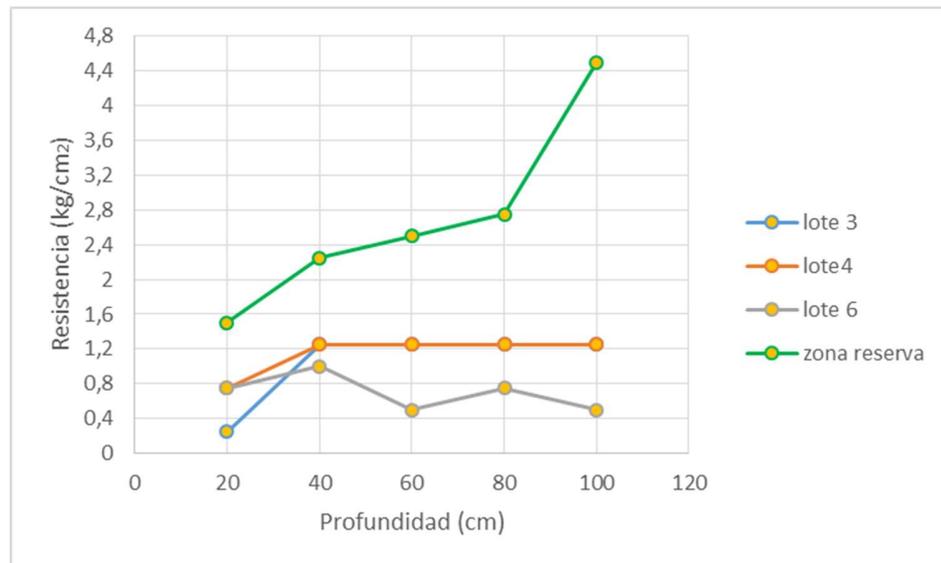
Según el esquema triangular de texturas del U.S.D.A., al sacar la porción de grano grueso del lote correspondiente a Muncural y Puente Piedra la clasificación establecida es arcillo arenoso. De este modo se establece que el lote número 3 y lote numero 4 presentan similitud de características en lo que respecta al esquema triangular de Texturas. En lo que se refiere a la coloración según la tabla de Munsell tiene una tonalidad 5YR 3/1 gris Oscuro, representando una capa de 20 cm desde la superficie y concordando con características de suelos muy permeables, y una tonalidad 5YR 5/6 rojo amarillento desde los 20 cm hasta el metro de profundidad indicando suelos con alto contenido de hierro.

La gráfica de la granulometría del lote 6, correspondiente a Guamal ([ver anexo 2](#)), tiene una predominancia de arenas con un 58,1 %, gravas de 41,5% y un bajo porcentaje de finos de 0,3%, correspondiendo a una arena bien graduada con simbología SW según el sistema de clasificación unificada de suelos. Así mismo el esquema triangular de texturas de la U.S.D.A ubica este lote en una textura arcillosa – arenosa con características similares al lote 4 en su textura. En lo relativo al color se encontró una tonalidad 5YR 3/1 gris muy oscuro, tonalidades que se pueden dar por la presencia de materia orgánica que en combinación con suelos arenosos adoptan una tonalidad oscura, se debe resaltar que el lote 6 y el lote 2 tienen pendientes menos abruptas que los demás lotes pero estos terminan como un depósito de la escorrentía de los lotes 4, 3 y parte de la zona ganadera que tiene la Hacienda Majavita.

La gráfica de la granulometría de la zona de reserva forestal ([Ver anexo 3](#)), posee un índice de arenas del 73,2 %, gravas 25,4% y finos de 1,4%, presentando los valores de arenas y finos en mayor concentración en relación a los lotes cafeteros evaluados mediante las calicatas. El sistema de clasificación unificada de suelos lo ubica en un suelo con arenas bien graduadas con pocos finos y su simbología es SW. El esquema triangular de la U.S.D.A le confiere una textura franco arcillosa, destacando entre sus principales características el equilibrio entre la permeabilidad del suelo y la retención de agua y nutrientes. En cuanto a su color se determinaron 2 coloraciones, la primera con tonalidad 10YR 4/1 gris oscuro, representando la presencia de materia orgánica transformada en humus en sus primeros 40 centímetros desde la superficie, y una tonalidad 10 YR 6/8 amarillo parduzco indicando la presencia de goethita e incluso una tonalidad más clara como limonita, esto se debe a condiciones de temperatura, aireación y humedad favorables para la actividad química en la transformación e hidratación de compuestos minerales de hierro presente en el suelo.

Resultados obtenidos para la penetrabilidad en las calicatas realizadas en los lotes 3, 4, 6 y la zona de reserva forestal de la Hacienda Majavita de la Universidad Libre Seccional Socorro

Gráfica 2: Resistencia medida en las calicatas



En la gráfica 2 se puede apreciar la resistencia o penetrabilidad que presentó el terreno en las 4 calicatas realizadas, con valores mínimos de 0,25 Kg/cm² y un máximo de 4,5 Kg/cm². Resaltando los valores más altos alcanzados en la zona de reserva forestal, esto debido en parte a la distribución radicular de la zona que permite una mayor compactación, Permitiendo al suelo tener una mayor resistencia a la erosión laminar e hídrica. Adicionalmente, al adherirse a las partículas del suelo, lo mantienen unido como si tuviese una especie de pegamento, además de absorber el exceso de agua que al acumularse debilita el terreno haciendo que se desprenda, como en el caso de las pendientes inclinadas (Valdés, 2010)

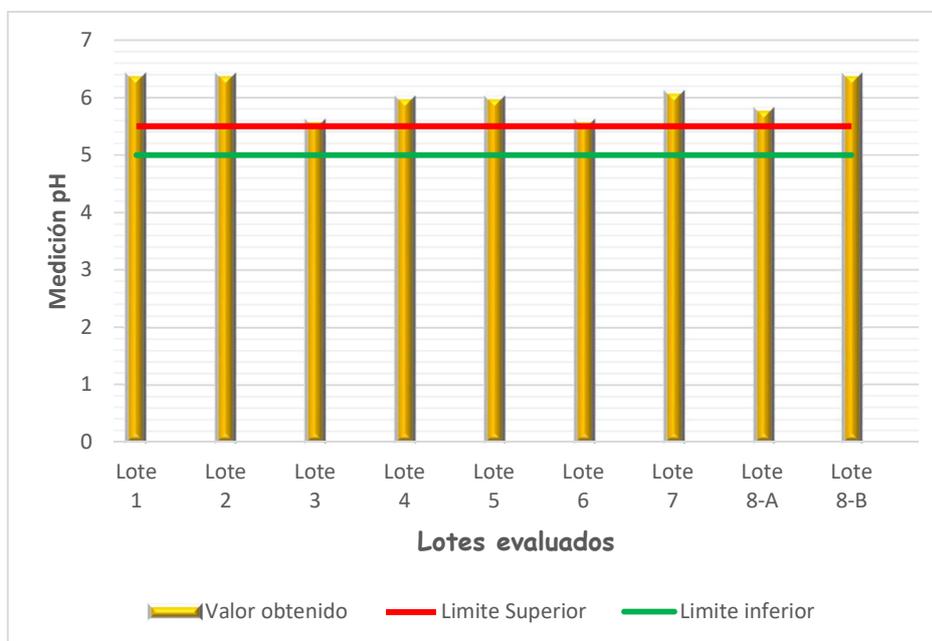
7.2 Características Químicas

A continuación se presentan los análisis para las características químicas de los lotes cafeteros de la Hacienda Majavita donde se evidencian las condiciones actuales de los diferentes parámetros evaluados de acuerdo con los parámetros establecidos por CENICAFÉ.

7.2.1 Potencial de hidrógeno

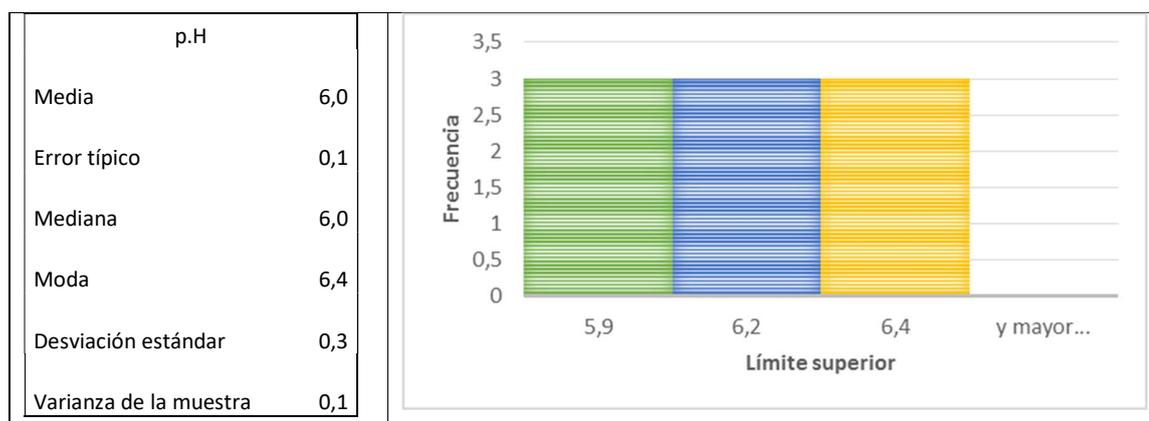
El pH del suelo es una medida de la acidez o de la alcalinidad de la solución del suelo, permitiendo su clasificación como suelos ácidos, neutros o alcalinos. Donde los suelos ácidos presentan un pH menor a 7 y se caracterizan por la baja eficacia de los microorganismos en sus diferentes procesos de transformación de materia orgánica en nutrientes. (Piedrahíta, 2009). La Hacienda Majavita, en su extensión cafetera, cuenta con valores de pH cercanos a los descritos para este uso de suelo por CENICAFÉ como se evidencia en el siguiente gráfico.

Gráfica 3: Resultados obtenidos para el potencial de hidrógeno en la zona de producción cafetera de la Hacienda Majavita de la Universidad Libre Seccional Socorro



En el gráfico anterior se observa el pH obtenido para cada uno de los lotes cafeteros evaluados en la Hacienda Majavita, en este se evidencia dos límites, estos se encuentran establecidos en el libro sistemas de producción de café en Colombia, dichos límites corresponden a inferior y superior, los cuales presentan valores de 5 y 5,5 respectivamente.

Gráfica 4 Estadística potencia de hidrógeno



Así mismo, en el gráfico 4 se puede observar la distribución de los datos de pH. En este se evidencian 3 de los lotes evaluados por debajo del rango de 5,9 en la escala de pH, 3 lotes entre los 5,9 y 6,2 de la misma escala y 3 lotes sobre los 6,2. La distribución de los datos tiende a ser normal debido a que su media y mediana están establecidas en el mismo lugar y con un coeficiente de dispersión de los datos correspondiente al 5%, se determina alta confiabilidad en los datos.

De acuerdo con los resultados se establece que el 100% de los lotes evaluados sobrepasan en límite máximo permisible de potencial de hidrógeno establecido por CENICAFE que corresponde a 5,5. Los lotes con valores de pH más altos corresponden a los lotes 1, 2 y 8-B los cuales se adjudican valores de 6,4.

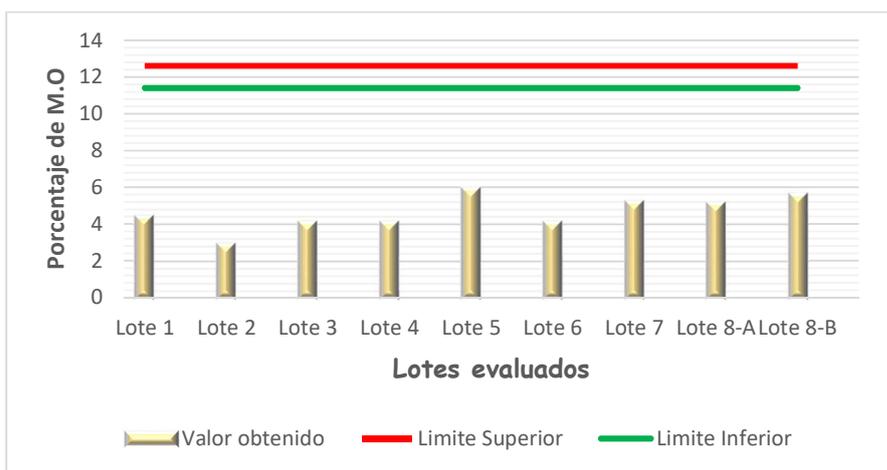
El hecho de que los valores obtenidos superen los valores sugeridos por el Centro de Investigación del Café incide directamente en dos factores que son relevantes, estos corresponden a la producción y al suelo. Estas incidencias están en caminadas a que el grado de acidez o basicidad del suelo afecta la disponibilidad

de elementos esenciales para las plantas, dicho esto, para el caso de los lotes evaluados pueden evidenciarse concentraciones de calcio en los suelos, derivando de ello deficiencias de micronutrientes que afectan la productividad de los mismos (Pulgarín, 2014).

7.2.2 Porcentaje de materia orgánica

La materia orgánica juega un papel clave en la fertilidad de los suelos como fuente de nutrientes para las plantas y fuente de energía para los microorganismos, y a través de funciones de tipo biológico, químico y físico, derivadas de las muchas y variadas reacciones gobernadas o mediatizadas por la materia orgánica del suelo, entre las que se incluyen cambio iónico, oxidación-reducción, capacidad tampón, complejación de metales y adsorción de compuestos orgánicos naturales y/o xenobióticos (DÁVILA, 2006), reflejando mediante su presencia o ausencia las condiciones que presenta el suelo objeto de estudio y su importancia como indicador de características óptimas del mismo.

Gráfica 5: Resultados obtenidos para el porcentaje de materia orgánica en la zona de producción cafetera de la Hacienda Majavita de la Universidad Libre Seccional Socorro

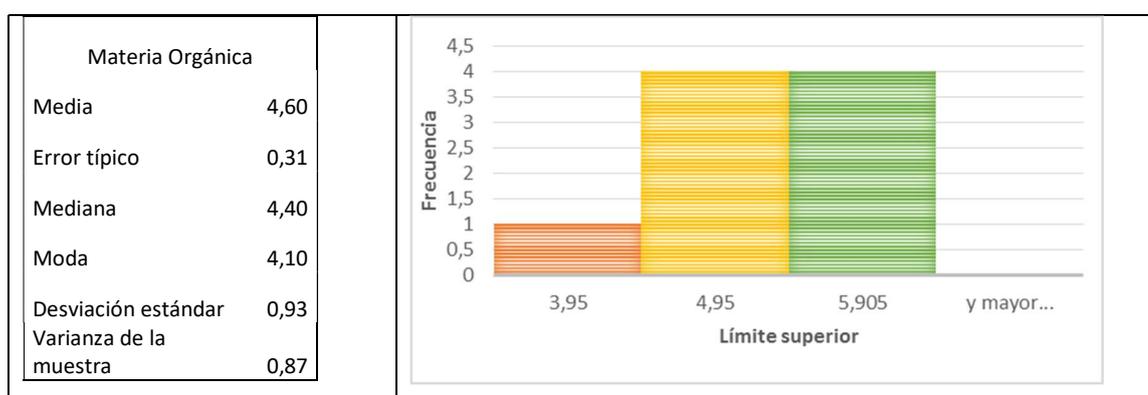


En el gráfico 5 se aprecian los resultados obtenidos para el porcentaje de materia orgánica en la zona cafetera de la Universidad Libre Seccional Socorro. Para este

ítem se sugiere por parte de CENICAFE que el porcentaje de materia orgánica en un suelo para el cultivo del café se encuentre en un rango de 11,4% a 12,6%.

De acuerdo a lo anterior, se establece que el lote con mayor porcentaje pertenece al lote 5, el cual cuenta con un valor de 5,9%, por el contrario el menor valor se establece para el lote 2, el cual se adjudica un valor de 2,9%.

Gráfica 6 Estadística materia orgánica



En la gráfica anterior se presentan los resultados estadísticos para la materia orgánica, en esta se evidencia que la materia orgánica presenta un sesgo positivo, ya que la mediana se encuentra por encima del promedio, esta es una característica que es ciertamente favorable ya que más del 50% de los lotes evaluados cuentan con un nivel por encima de 4,4% de materia orgánica. Sin embargo, de acuerdo a los valores establecidos por CENICAFE, el 100% de los lotes se encuentran muy por debajo de las condiciones óptimas.

Cabe resaltar que la materia orgánica es un ítem importante a nivel de factor físico, químico y biológico del suelo, pues el contenido de materia orgánica a nivel físico brinda capacidad estructural, beneficia la penetrabilidad y retención del agua, contribuye con la disminución de la erosión en los suelos y tiene incidencia en el intercambio gaseoso (FAO, 2015). A nivel químico un suelo que no presente o posea un bajo porcentaje de materia orgánica carece de beneficios como la reserva

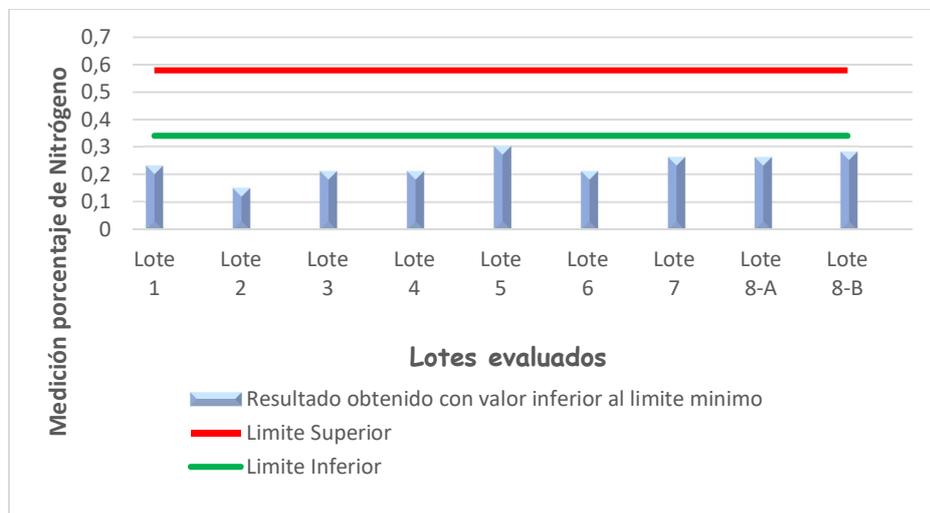
de nutrientes para la vida vegetal, y el efecto tampón que ésta ejerce presentando falencias en la absorción de nutrientes. Finalmente en lo que se refiere a los beneficios biológicos se establece que la materia orgánica contribuye con procesos de mineralización, sirve de alimento a los macro y micro organismos presentes en el mismo y adicionalmente favorece el crecimiento de la planta. (Otiniano, Florian, Sevillano, & Amez, 2006), resaltando que existen factores que contribuyen y condicionan la cantidad y la calidad de la materia orgánica, dichos factores se refieren a la vegetación, el clima, el drenaje y la textura del suelo.

Para el caso de la Universidad Libre Seccional Socorro cuenta en su mayoría con capa vegetal de gramíneas la cual según Silva 2004 aporta 3,93% de la materia orgánica presente en un suelo. (Fragoso, 2010), esto a su vez representa un problema para todos los lotes puesto que su baja cantidad de materia orgánica no les permite tener una buena retención de humedad y así mismo inhibe el óptimo desarrollo de sus macro y micro organismos, afectando los procesos de mineralización y humificación, derivando en posibles problemas de erosión laminar y estrés hídrico tanto en los cultivos como en la vegetación colindante.

7.2.3 Porcentaje de nitrógeno

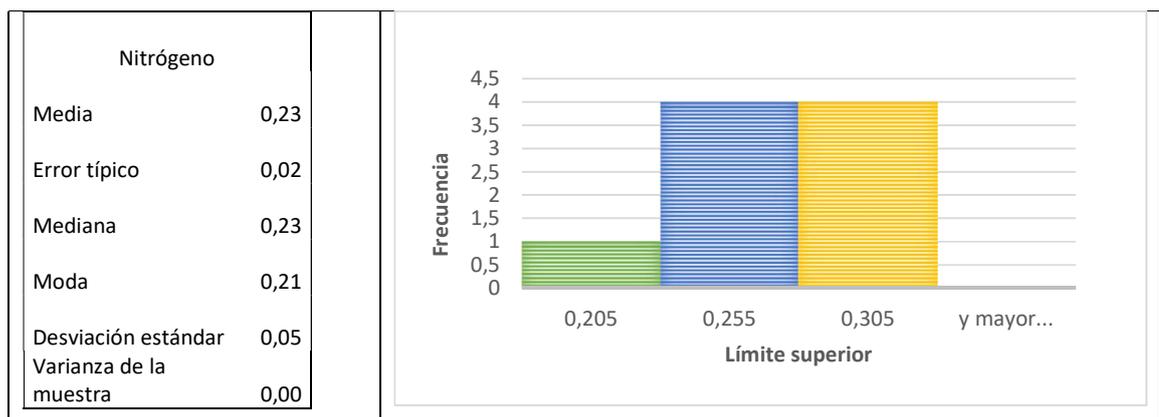
El nitrógeno es uno de los elementos más importantes en el desarrollo de las plantas, este a su vez, está disponible en el suelo de dos formas, orgánica e inorgánica, siendo su forma inorgánica la aprovechable por las plantas pero la menos abundante. Su forma orgánica, más abundante, requiere de procesos microbianos complejos para ser aprovechada por las plantas (Santana & De Jesús, 2017). Esto establece la relación entre los microorganismos, la disponibilidad de materia orgánica para la descomposición por estos y su importancia en el aporte de nutrientes debido a sus procesos de transformación.

Gráfica 7: Resultados obtenidos para el Nitrógeno en la zona de producción cafetera de la Hacienda Majavita de la Universidad Libre Seccional Socorro



En el gráfico 7 se observan los resultados obtenidos para la cantidad de nitrógeno en los lotes de café de la Hacienda Majavita de la Universidad Libre. Para este caso se obtiene un promedio general de 23,5% (0,235) estando por debajo del límite inferior, el cual se establece con un valor de 34%, por el contrario, el límite máximo esta dado en 58%.

Gráfica 8 Estadística nitrógeno



En la gráfica anterior se establece los resultados estadísticos para el porcentaje (%) de nitrógeno. En esta se evidencia que los datos tienden a un comportamiento

normal, ya que la mediana y el promedio se encuentran en un mismo punto. Adicionalmente los datos se encuentran ligeramente concentrados hacia la izquierda como lo relaciona el coeficiente de asimetría.

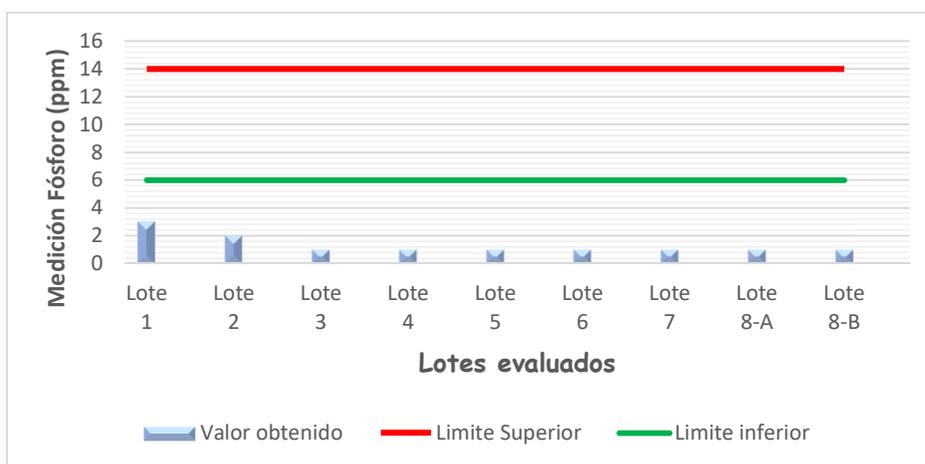
De acuerdo con lo anterior, el lote que posee menor porcentaje de nitrógeno corresponde al número 2, adicionalmente se establece que el lote 5 contiene un porcentaje de 30% catalogándose como el lote con más nitrógeno. Además, se evidencia que respecto a los parámetros establecidos por CENICAFE, el 100% de los lotes evaluados incumple con los límites mínimos para el porcentaje de nitrógeno, esto puede resultar contraproducente, pues el nitrógeno es responsable en gran medida de la producción de cultivos, siendo que este es el componente integral de diferentes compuestos principales para las plantas como lo son la molécula de clorofila, ácidos nucleicos, enzimas, vitaminas entre otros, y contribuyendo al desarrollo radicular (FAO, 2015).

Además, el nitrógeno que se encuentra en los suelos proviene de diferentes fuentes como lo son restos de animales, plantas, estiércol, nitratos aportados por lluvias y fijación de nitrógeno atmosférico por ciertos micro-organismos y se encuentra relacionada con la cantidad existente de materia orgánica, por lo tanto, si se presenta carencias de esta será directamente proporcional la carencia del nitrógeno. (Benimeli, y otros, 2019), con lo cual, siendo el nitrógeno fijado por los microorganismos una de las fuentes primarias de nitrógeno de las plantas, se puede evidenciar la baja actividad microbiológica en los diferentes lotes de café de la Hacienda Majavita, donde el lote 2 presenta sus menores niveles de nitrógeno y el cual se puede relacionar con el porcentaje de materia orgánica, pH y a su tipo de suelo.

7.2.4 Partes por millón (ppm) de fósforo

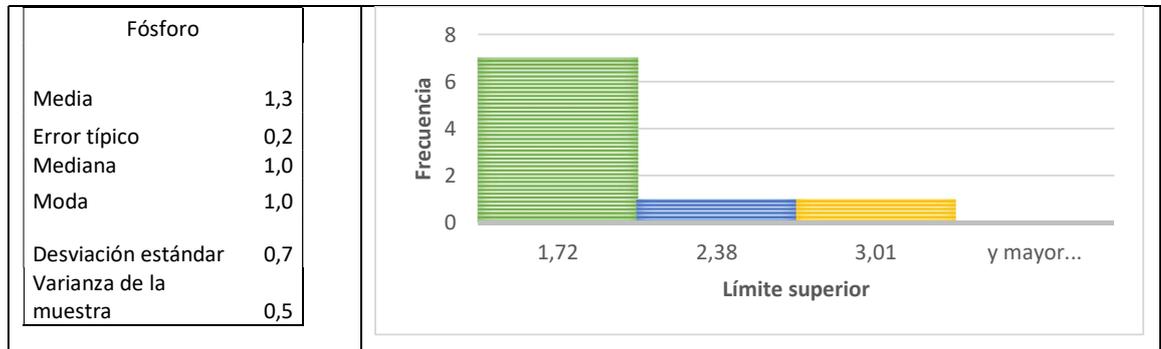
Muchos de los suelos en las regiones tropicales, tienen un nivel muy bajo de fósforo aprovechable. Los rendimientos de los cultivos generalmente son muy bajos, a menos que se apliquen fertilizantes fosfatados, con el fin de aumentar el nivel de fósforo aprovechable en el suelo (VELEZ & SEPULVEDA, 2014), donde las posibles causas de su deficiencia en el suelo pasan desde la variación de la humedad, compactación del suelo o la baja cantidad de materia orgánica.

Gráfica 9: Resultados obtenidos para el fósforo en la zona de producción cafetera de la Hacienda Majavita de la Universidad Libre Seccional Socorro



En el gráfico 9 se presentan los resultados obtenidos para el fósforo en el cultivo de café en la Hacienda Majavita de La Universidad Libre de acuerdo a los lotes establecidos. Para este caso se evidencia que los valores obtenidos se encuentran por debajo de los límites sugeridos por el centro de investigación del café, los cuales se adjudican valores de 6 y 14 respectivamente.

Gráfica 10 Estadística fósforo



En la gráfica 10 se establecen los análisis estadísticos para el fósforo. En este se observa que siete de los lotes evaluados cuentan con un porcentaje inferior a 1,72 pero superior a 0,95 partes por millón, donde el menor valor obtenido es 1 el cual se define como la moda entre los valores obtenidos. Los dos lotes restantes corresponden a los límites entre 1,72 ppm-2,38 ppm y 2,38 ppm-3,01 ppm, siendo estos los valores de los lotes 2 y 1 respectivamente. Conforme al sesgo se establece que es un sesgo positivo, este es un comportamiento desfavorable, ya que más del 50% de los lotes evaluados se encuentran establecidos en el intervalo más bajo. Esto representa al 100% de los lotes por debajo de los límites sugeridos por CENICAFE.

Es importante resaltar que esta es una característica importante en el cultivo pues se encuentra íntimamente relacionada con los procesos de fotosíntesis y transferencia de energía, adicionalmente hace parte importante de compuestos esenciales como lo son aminoácidos, coenzimas, clorofila, proteínas y ácidos nucleicos (Fernández, 2007).

Debe señalarse que las principales razones por las cuales se disipa la concentración de fósforo en los suelos se debe a tres factores principalmente, los cuales son la extracción por parte de la planta, la erosión de las partículas de suelo que arrastran fósforo y el fósforo que esta disuelto en las aguas de escorrentía, las cifras más significativas de disipación son concedidas a suelos cultivados, de modo que el

sistema por las acciones mencionadas anteriormente disminuyendo las cantidades de fósforo reciclado entre las plantas, afectando la productividad y el ciclo del fósforo que es determinante en la interacción con otros factores ambientales y su equilibrio. Así mismo, factores como la humedad, textura, coloide inorgánico, material original, materia orgánica, pH, afectan la disponibilidad de fósforo para las plantas. (Sanzano, 2013)

7.2.5 Miliequivalentes (ml-eq/100g) de potasio

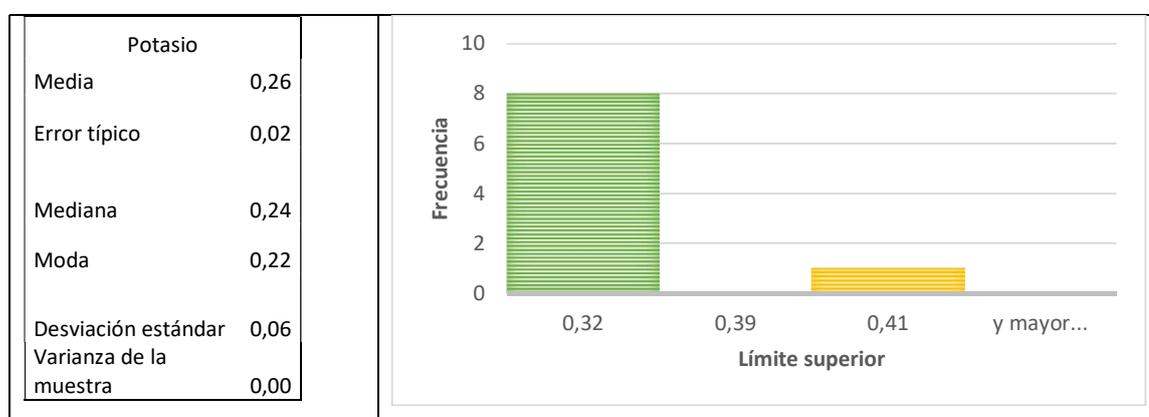
El potasio (K⁺) es un macronutriente esencial para las plantas, las cuales necesitan cantidades elevadas de este nutriente, incluso semejantes a las necesidades del nitrógeno en algunos casos. (INTAGRI, 2017), entre los elementos básicos N, P, y K este último es el que menos problemas de disponibilidad presenta, aunque solo una pequeña parte sea asimilable por las plantas.

Gráfica 11: Resultados obtenidos para el potasio en la zona de producción cafetera de la Hacienda Majavita de la Universidad Libre Seccional Socorro



En el gráfico anterior se aprecian los resultados obtenidos de potasio de la zona cafetera de la Hacienda Majavita, allí se evidencia que el lote 8-B tiene valores dentro de los límites sugeridos por CENICAFE para la producción cafetera, sin embargo el restante de los lotes se encuentra por debajo del límite inferior propuesto, para este caso el menor valor es determinado para el lote número 4 con un valor de 0,21.

Gráfica 12 Estadística potasio



En la gráfica anterior se evidencia el resumen estadístico de potasio, en este se establece que el 88,8% de los datos analizados poseen valores entre el límite correspondiente a 0,21 - 0,32 meq/100g suelo, el lote faltante corresponde a un valor de intervalo ente 0,39 y 0,41 meq/100g suelo. Esta gráfica presenta un sesgo positivo, es decir que la mayoría de los datos se encuentran concentrados en los valores más bajos, de este modo se establece que para este caso en particular el comportamiento es desfavorable, pues 8 de los lotes evaluados se encuentran con valores por debajo de los límites establecidos por CENICAFE.

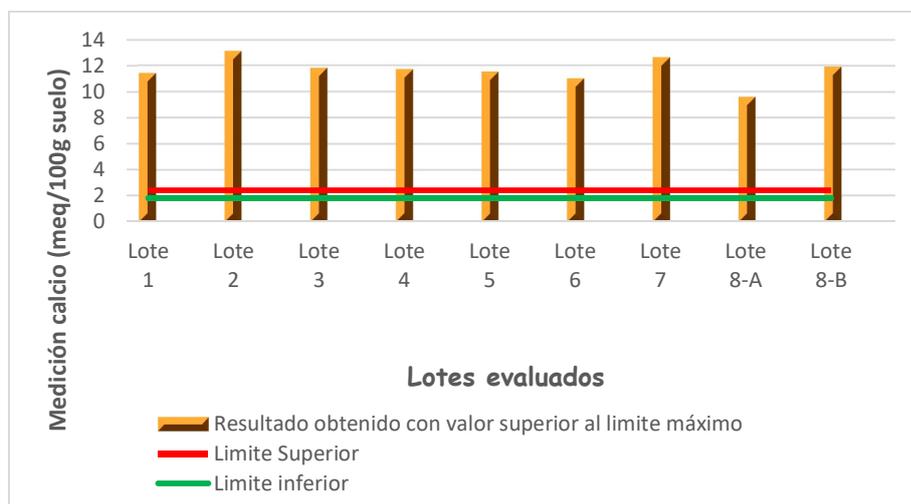
La significancia de que el potasio se encuentre en los rangos sugeridos radica en las funciones que llega a ejercer en la planta, pues este mineral interacciona con procesos fisiológicos, bioquímicos y rendimiento de la planta, aunque no es parte de la estructura química de la misma es participe en procesos como la regulación, funcionamiento de estomas, osmosis, la activación de enzimas y fotosíntesis,

adicionalmente puede llegar a oprimir la incidencia de enfermedades en la planta (Mengel K., 1985). Respecto a la dinámica del potasio en el suelo se establece que los suelos con mayor capacidad de intercambio catiónico pueden mantener un suministro constante de potasio en la solución del suelo, esta última es sensible a pérdidas por lixiviación y junto con el potasio intercambiable dan paso a la fracción disponible del potasio en el suelo la cual corresponde aproximadamente a 0,2- 5% del potasio total. Por otro lado la disponibilidad del potasio se encuentra condicionado por factores como la humedad, pH, temperatura y el tipo de arcillas en los suelos (Bolda & Stoddart, 2015)

7.2.6 Miliequivalentes de calcio

El calcio es esencial para las reacciones metabólicas y para mantener los niveles hídricos de la planta. Puede perderse fácilmente en regiones con régimen de lluvia altos y zonas con deficiencia de materia orgánica. (Cruz, y otros, 2019)

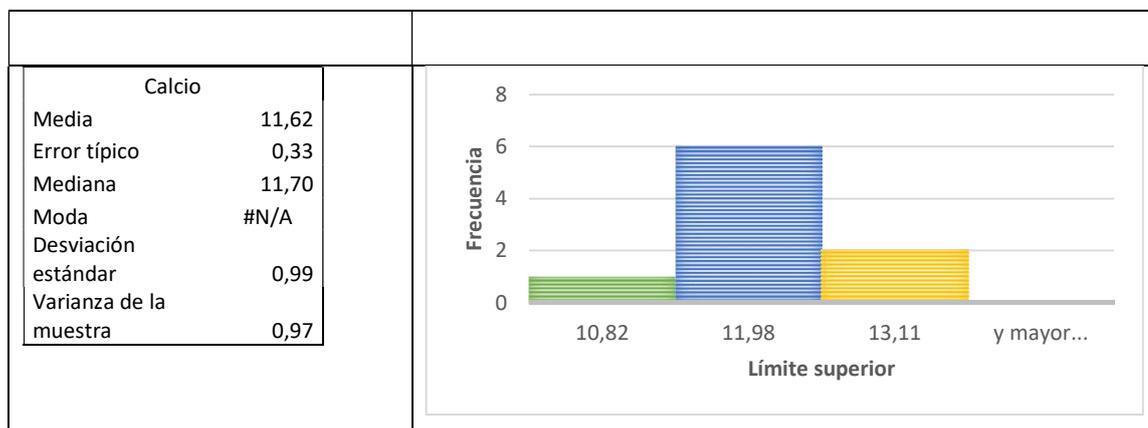
Gráfica 13: Resultados obtenidos para el calcio en la zona de producción cafetera de la Hacienda Majavita de la Universidad Libre Seccional Socorro



El gráfico 13 presenta la relación de calcio en los diferentes lotes. Para este caso CENICAFE determina 2 límites, inferior y superior, con valores de 1,5 y 3,3 meq/100g suelo. De este modo, el mayor resultado obtenido es de 13,1 meq/100g

suelo y corresponde al lote número 2, por otro lado el lote 8-A presenta el menor valor obtenido, el cual corresponde a 9,6 meq/100g suelo.

Gráfica 14 Estadística calcio



En el gráfico anterior se evidencian los resultados estadísticos obtenidos para el calcio, en este se puede determinar que el 66,6% de los lotes evaluados se encuentran entre un intervalo superior a 10,82meq/100g suelo pero inferior a 11,98meq/100g suelo, el 22,2% poseen un valor superior a 11,98 pero inferior a 13,11meq/100g suelo y el restante se ubica entre valores superiores a 10,82 meq/100g suelo e inferiores a 11,98 meq/100g suelo. Donde los datos tienen un comportamiento casi normal. Esto a su vez muestra al 100% de los lotes por fuera de los parámetros establecidos por CENICAFE, Indicando problemas de concentraciones muy elevadas.

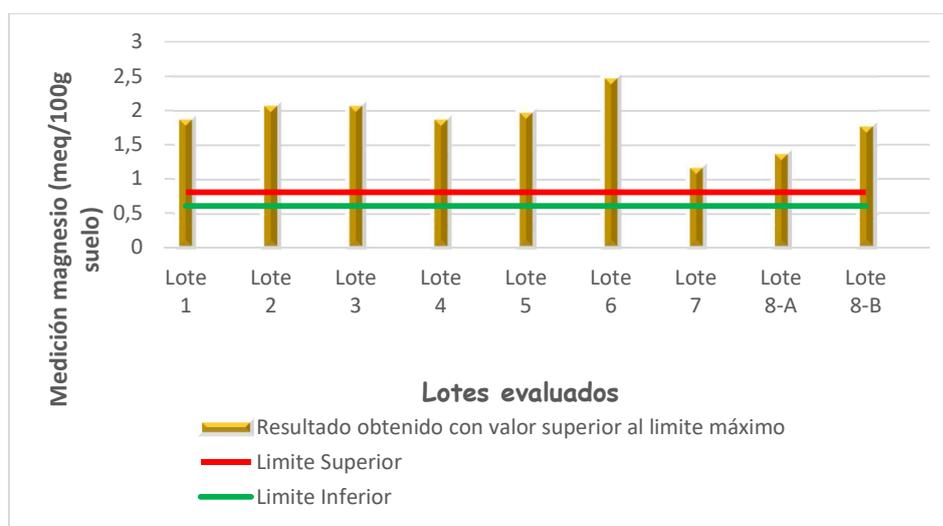
El calcio resulta importante para diferentes procesos desarrollados por las plantas, entre ellos el crecimiento y nutrición de la misma pero sus funciones importantes están encaminadas a neutralizar los ácidos celulares, crecimiento celular, transporte de carbohidratos y proteínas, metabolismo de almidón, entre otros. En lo que respecta al componente suelo como tal reduce la salinidad del suelo, mejora la penetración del agua. (Santana & De Jesús, 2017).

Para el caso específico de los lotes de la Universidad Libre Seccional Socorro se evidencia que estos sobrepasan los límites propuestos por CENICAFE. De acuerdo a los resultados obtenidos y a la importancia del calcio se establece que no se considera tóxico pero su exceso puede incidir considerablemente en el aumento de pH, la inhibición de absorción de nutrientes como el potasio, boro, cobre, fósforo, zinc, sin embargo en cantidades óptimas contribuye con la absorción de amonio, y otros nutrientes, adicionalmente estimula el proceso de la fotosíntesis y permite desencadenar mecanismos de autodefensa para las plantas y superar problemas relacionados con cambios medio ambientales. (Piedrahita, 2012).

7.2.7 Miliequivalentes magnesio

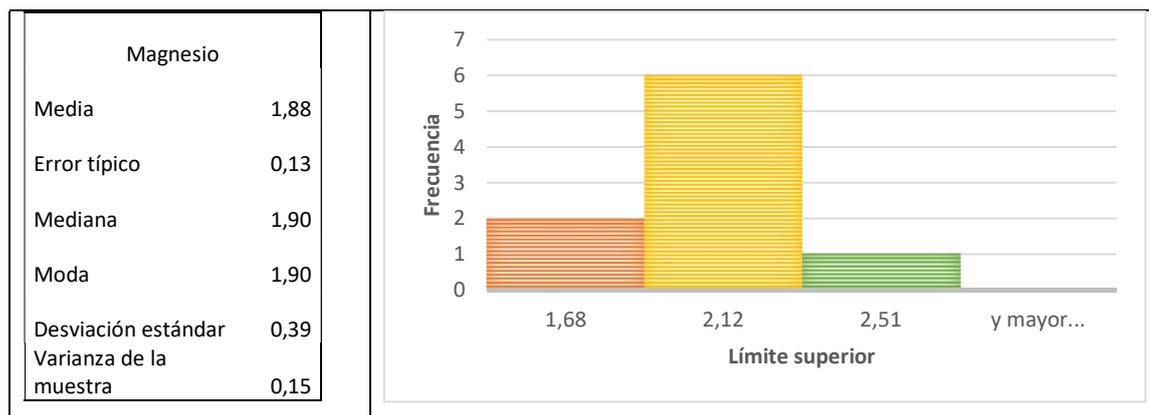
El estado del magnesio en el suelo se caracteriza por un proceso dinámico, influenciado por varios factores como el clima, pH del suelo, temperatura y humedad del suelo, y presencia de otros cationes del magnesio total del suelo, el que se encuentra en rocas y minerales primarios representa entre 90 y 99% de la reserva total y está presente en cantidades mucho mayores que las absorbidas por las plantas (Ross, 2004).

Gráfica 15: Resultados obtenidos para el magnesio en la zona de producción cafetera de la Hacienda Majavita de la Universidad Libre Seccional Socorro



Otro de los elementos analizados corresponde al magnesio existente en la zona cafetera de la Universidad Libre, como se evidencia en el gráfico 15, para este parámetro CENICAFE establece un límite superior y uno inferior que corresponden a valores de 0,8 y 0,6 respectivamente.

Gráfica 16 Estadística magnesio



En la gráfica 16 se evidencian los resultados estadísticos para el magnesio. En esta se determinó que el 22,2% de los lotes poseen menos de 1,68 meq/100g suelo, así mismo el 66,6 % de los lotes poseen menos de 2,12 meq/100g suelo, pero más de 1,68 meq/100g suelo y finalmente el 11,1% de los lotes presenta valores mayores a 2,12 meq/100g suelo, pero menores a 2,51 meq/100g suelo. De igual forma la mayor parte de los lotes presento valores promedio de 1,88 meq/100g suelo. En este caso se establece que ninguno de los lotes evaluados se encuentra dentro de los rangos establecidos, por el contrario, se exceden los valores sugeridos. Tomando en cuenta los resultados obtenidos se aprecia que el lote con mayor cantidad de magnesio corresponde al lote 6 con un resultado de 2,5 meq/100g suelo, para el caso contrario se encuentra el lote 7 con un valor obtenido de 1,2 meq/100g suelo.

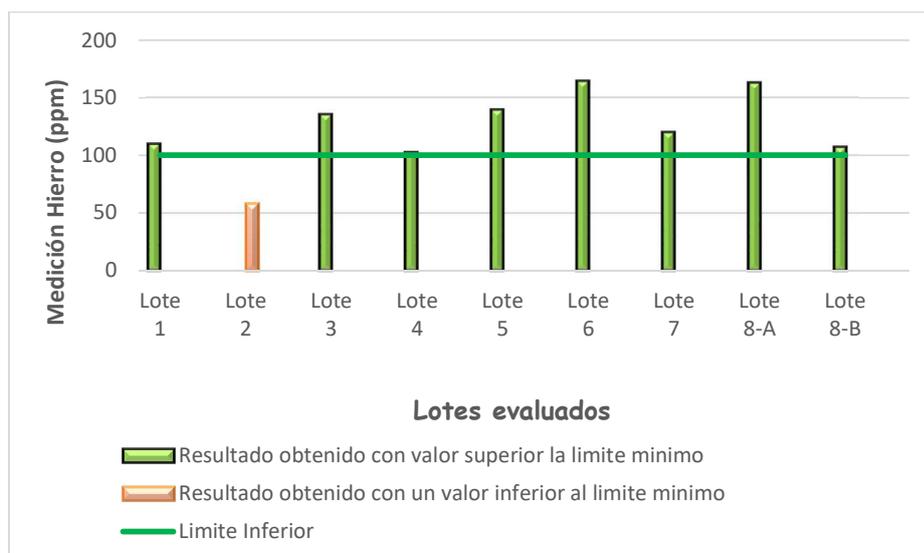
Las implicaciones que pueden derivarse del contenido de magnesio en el suelo afectan las plantas y el mismo suelo, por ejemplo las plantas necesitan el magnesio para desarrollar la formación de proteínas y vitaminas, fortalece a la planta en cuanto a la resistencia en situaciones adversas, facilita la absorción de nitrógeno

atmosférico, es el constituyente fundamental de la molécula de clorofila, entre otras funciones (Santana & De Jesús, 2017). En lo que se refiere al suelo el magnesio estabiliza la estructura del mismo al igual que el calcio, pues le brinda una estructura grumosa que impide el apelmazamiento y da como resultado la facilidad de acumulación de agua disponible para las plantas. Sin embargo, bajo ciertas condiciones la saturación de los suelos con magnesio posee efectos negativos como reducción en la conductividad hidráulica y dispersión de arcillas en el suelo. (Aristizabal, 2009)

7.2.8 Partes por millón de hierro

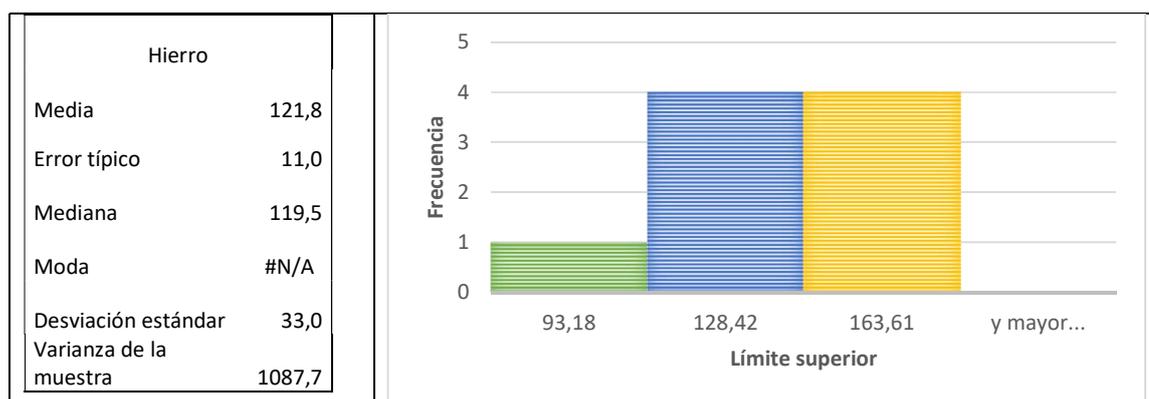
El hierro es uno de los microelementos esenciales en el desarrollo de las plantas. Puede ayudar a reducir los nitratos y sulfatos y a la producción de energía dentro de la planta y aunque es un elemento abundante, la mayor parte de este se encuentra en formas no aprovechables por las plantas, o requiere procesos microbianos complejos para el aprovechamiento del mismo (Acevedo, Valera, & Prieto, 2010).

Gráfica 17: Resultados obtenido Hierro para el en la zona de producción cafetera de la Hacienda Majavita de la Universidad Libre Seccional Socorro



El gráfico 17 relaciona ppm de hierro por lote. Para el caso de los lotes de café evaluados en la Universidad Libre se establece un valor por debajo de los sugeridos por CENICAFE, este valor corresponde al lote 2, el cual tiene un valor de 57,9 ppm

Gráfica 18 Estadística hierro



En el gráfico anterior se evidencia los resultados estadísticos para las concentraciones de hierro en los lotes de café de la Hacienda Majavita. Estos poseen un sesgo negativo, el cual resulta beneficioso en este caso dado que solo el 11.1% de los lotes tienen concentraciones menores a 93,18 ppm, valor que se encuentra por debajo de los recomendados por CENICAFE. En cuanto al alto valor de la desviación estándar se presume por el dato atípico del lote 2 siendo este muy bajo, lo cual se puede traducir en una deficiencia en el lote previamente dicho, lo que da paso a variaciones morfológicas y fisiológicas de la raíz, adicionalmente puede evidenciarse en las hojas de la planta una coloración amarillenta conocida como clorosis, sin embargo, se aprecia que los demás lotes evaluados superan los límites recomendados por CENICAFE, resaltando el lote 6 el cual posee los valores más altos en cuanto a la concentración de hierro con un resultado de 163,6 ppm.

El hierro es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre y es uno de los micro-elementos utilizados por las plantas en la formación de clorofila, activador de procesos bioquímicos como la respiración, la fotosíntesis y la fijación de nitrógeno, adicionalmente tiene que ver con la intervención en reacciones redox

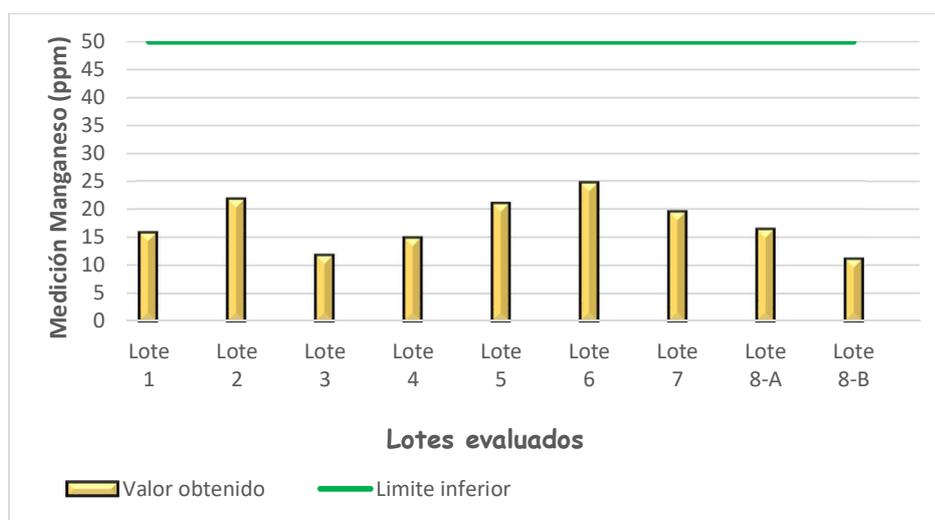
(Sanz, Cerdan, & Sanchez, 2007). Su disponibilidad se encuentra condicionada por factores como el pH, potencial redox, concentración del ion bicarbonato, interacción del hierro con otros elementos, humedad, temperaturas extremas, contenido de materia orgánica.

En cuanto a su toxicidad el ion ferroso llega a inducir el nivel toxicológico, en condiciones aerobias es poco probable la acumulación de Fe (II), por otra parte en condiciones anaerobias el Fe (III) se reducirá a Fe (II), incrementando la solubilidad del hierro en el suelo y manifestándose en manchas necróticas en las hojas. (Sanz, Cerdan, & Sanchez, 2007)

7.2.9 Partes por millón de manganeso

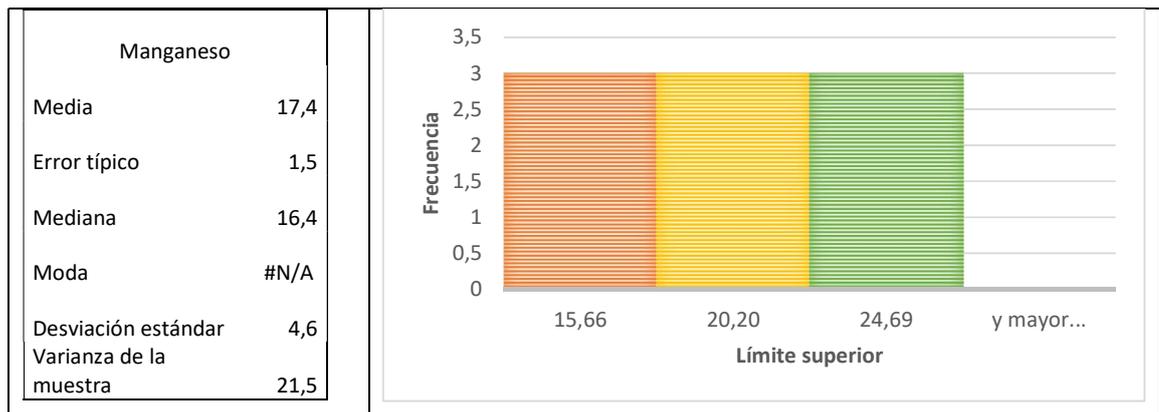
El Mn hace parte de los microelementos esenciales para el desarrollo de las plantas, siendo este limitado por las variaciones de pH que pueden provocar la transformación de este en formas no aprovechables por las plantas. Así mismo, está directamente ligado a la disponibilidad de materia orgánica y a la actividad microbológica en el suelo. Es absorbido de manera activa por las plantas y su óptima absorción se da en pH de 4.5 a 5.5. (INTAGRI, 2017)

Gráfica 19: Resultados obtenido manganeso para el manganeso en la zona de producción cafetera de la Hacienda Majavita de la Universidad Libre Seccional Socorro



Para este caso en la gráfica19 de los lotes de producción cafetera evaluados en la universidad Libre se evidencia que se encuentra por debajo del límite sugerido por CENICAFE, lo cual indica que se presenta deficiencia de este micro-nutriente.

Gráfica 20 Estadística manganeso



En el gráfico anterior se muestran los resultados estadísticos del análisis de ppm de manganeso, este presentó una distribución normal entre 3 rangos, 3 lotes presentaron datos menores a 15,66 ppm, 3 lotes están contenidos en valores menores de 20,20 ppm pero mayores a 15,66 ppm y los 3 lotes restantes presentaron datos menores a 24,69 ppm. Dado lo anterior, la recomendación de CENICAFE establece un rango mínimo de 50 ppm, con lo cual, el lote que posee menor cantidad de Manganeso corresponde al lote 8-B con un valor de 11,08 ppm, mientras que el valor más alto es adjudicado al lote 6 con un valor de 24,68 ppm, es decir, el 100% de los lotes presentan deficiencia en este parámetro.

Para este caso en los lotes de producción cafetera evaluados en la universidad Libre se evidencia que se encuentra por debajo del límite sugerido por CENICAFE, lo cual indica que se presenta deficiencia de este micro-nutriente. Este comportamiento puede deberse a su facilidad para lixiviarse y a factores como la materia orgánica, la humedad, el pH, la textura del suelo, de modo que si la humedad es considerable se favorece la movilización de manganeso, en cuanto a la textura de los suelos que son arenosos y pobres en materia orgánica poseen bajo CIC (capacidad de

intercambio catiónico) y generalmente poseen bajo contenido de Mn (Gómez & V., 2014), lo que puede repercutir afectando la estabilidad de los mismos y en los diferentes ciclos biogeoquímicos en los cuales se ve involucrado el manganeso, además de su importancia en el desarrollo de procesos fisiológicos como: formación de clorofila, síntesis de carotenos, ciclo de Krebs, reacciones y funcionamiento enzimático, procesos de óxido-reducción, adicionalmente interviene en la germinación del polen, el crecimiento del tubo polínico, el alargamiento celular en la raíz y la resistencia a patógenos de la misma. (Chamorro, Echeverria, Guerrero, & Gamboa, 1972).

La deficiencia de este elemento puede evidenciarse en las hojas jóvenes, se presentan coloraciones amarillentas con nervaduras verdosas, manchas, disminución del crecimiento entre otros efectos adversos.

7.2.10 Partes por millón de cobre

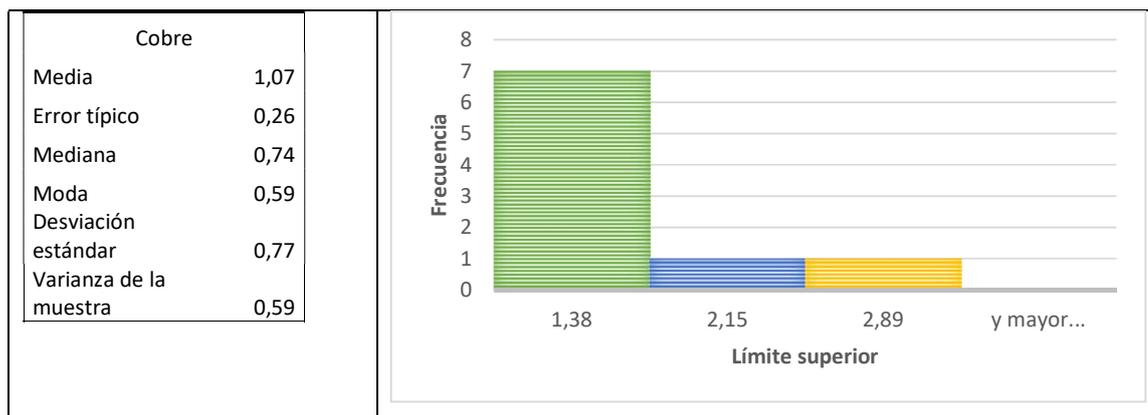
El cobre forma parte de las sustancias clave para el desarrollo de las plantas. Es esencial en la formación de la clorofila y cataliza varias reacciones en la planta, los suelos orgánicos son propensos a tener deficiencias de Cu ya que son retenidos tan fuerte que solo una pequeña parte es disponible para las planta (LEMA, 2016)

Gráfica 21: Resultados obtenidos para el Cobre en la zona de producción cafetera de la Hacienda Majavita de la Universidad Libre Seccional Socorro



En el gráfico 21 se muestran los resultados obtenidos para la concentración de cobre en los lotes cafeteros de la Universidad Libre Seccional Socorro, en estos se evidencia que existen tres lotes, los cuales sobrepasan el límite sugerido por CENICAFE DE 1 ppm de cobre.

Gráfica 22 Estadística cobre



En la gráfica anterior se evidencian los resultados estadísticos obtenidos para las ppm de cobre. Esta posee un sesgo positivo donde agrupa el 77.7% de los lotes en valores inferiores a 1.38 ppm de cobre, existe 1 lote con valores comprendidos entre los 1,38 y 2,15 ppm y 1 lote con valor inferior a 2,89 ppm y superior a 2,15 ppm. El dato más repetido es de 0,59 ppm. Respecto a los lotes que se encuentran dentro de las especificaciones de CENICAFE, estos corresponden a los lotes 2, 6 y 8-A. En lo que respecta a máximo y mínimo se establece que el valor más alto corresponde al lote 6 con un valor de 2,88 ppm, mientras que el lote 4 obtuvo el valor más bajo con 0,55 ppm.

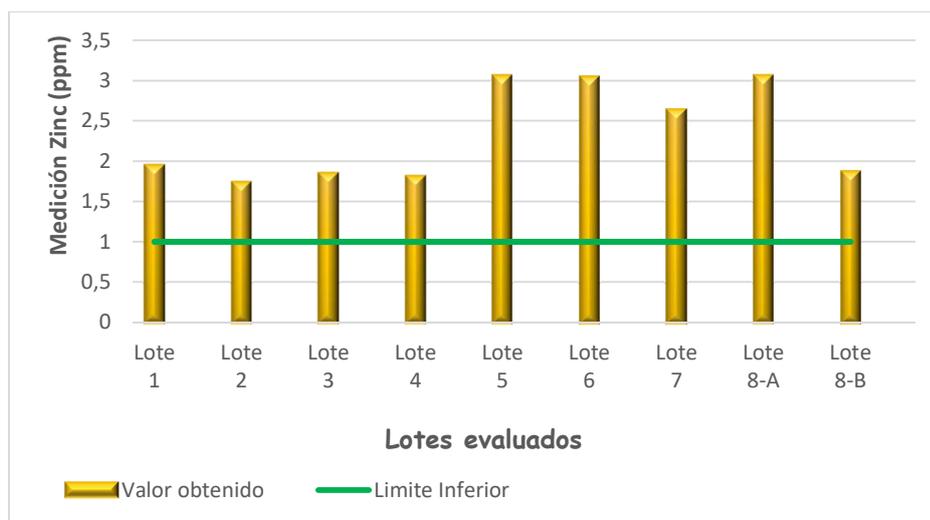
Dichas variaciones pueden verse influenciadas por el pH, la materia orgánica, la textura del suelo, y la presencia de otros iones como N, Zn, P, Mn, estos últimos obstruyen la adsorción del cobre. En el caso del pH, el contenido de cobre suele ser mayor cuando los potenciales de hidrógeno están por debajo de 6, es decir tienden a ser ácidos (esta característica puede explicar el comportamiento del lote 6), adicionalmente los suelos arenosos son pobres en concentración de cobre (GONZÁLEZ, TORNERO, SANDOVAL, GORDILLO, & PÉREZ, 2011).

El cobre es un elemento menor que ejerce diversas funciones en las plantas, este participa en los procesos bioquímicos tales como la fotosíntesis, respiración, respuesta al estrés oxidativo, metabolismo de la pared celular y señalización de hormonas, cofactor de varias enzimas como la superóxido dismutasa, citocromo oxidasa, amino oxidasa, lactasa, plastocianina y polifenol oxidasa, además juega un papel esencial de señalización de transcripción y tráfico de proteínas (Yruela, 2005). Los signos de su ausencia o exceso se evidencian en las raíces de las plantas, produce clorosis. En algas y hongos inhibe la germinación de esporas y en animales como peces impide la regulación de sodio.

7.2.11 Partes por millón de zinc

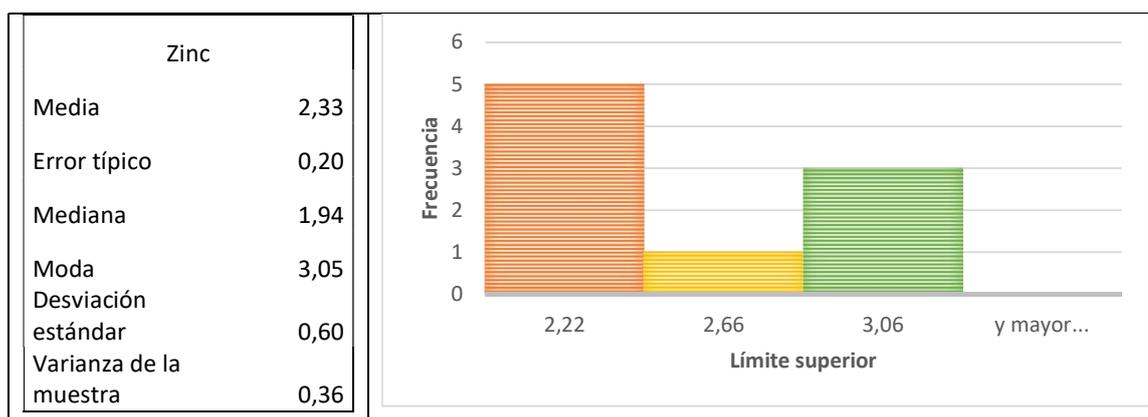
El zinc hace parte de los microelementos esenciales para el desarrollo de las plantas. Así mismo en concentraciones altas pueden inhibir el crecimiento de diferentes poblaciones fúngicas, o disparar una adaptación fisiológica de las mismas que disminuyan una población y permitan la proliferación de otra especie de hongo. (Villalba, Cruz, & Azuara, 2018)

Gráfica 23: Resultados obtenidos para el Zinc en la zona de producción cafetera de la Hacienda Majavita de la Universidad Libre Seccional Socorro



En el gráfico 23 se muestran los resultados obtenidos para la concentración de zinc en los lotes cafeteros de la Universidad Libre Seccional Socorro, donde el valor sugerido por CENICAFE es de 1 ppm.

Gráfica 24 Estadística zinc



En la gráfica anterior se evidencian los valores de zinc dados en ppm. En este caso la gráfica presenta un sesgo positivo, agrupando 55,5% de los lotes en valores menores a 2,22 ppm de cobre, así mismo 1 de los lotes presenta valores inferiores a 2,66 ppm y superiores a 2,22 ppm, por otro lado se encuentran 3 lotes con valores inferiores a 3,06 ppm y superiores a 2,66 ppm. Para este caso el 100% de los lotes presentan un balance positivo respecto a las indicaciones dadas por CENICAFE para este parámetro, presentado un promedio de 2,33 ppm de cobre en el cafetal. Para este caso se evidencia que los lotes con mayor cantidad de zinc corresponden al lote 5, lote 6 y lote 8-A, los cuales son relacionados con los gráficos 3 y 5 estableciéndose una relación entre potencial de hidrógeno y la cantidad de materia orgánica. El lote 5 es el que posee mayor cantidad de materia orgánica, el lote 6 corresponde al menor valor de potencial de hidrógeno y el lote 8-A es el siguiente con un valor de 5,8 en potencial de hidrógeno, adicionalmente existen otras variables que pueden influenciar la disponibilidad y generar variaciones en los resultados.

El gráfico 23 evidencia que los lotes cafeteros evaluados, cuentan con la disponibilidad mínima requerida para el cultivo del café, y excede tal parámetro, por

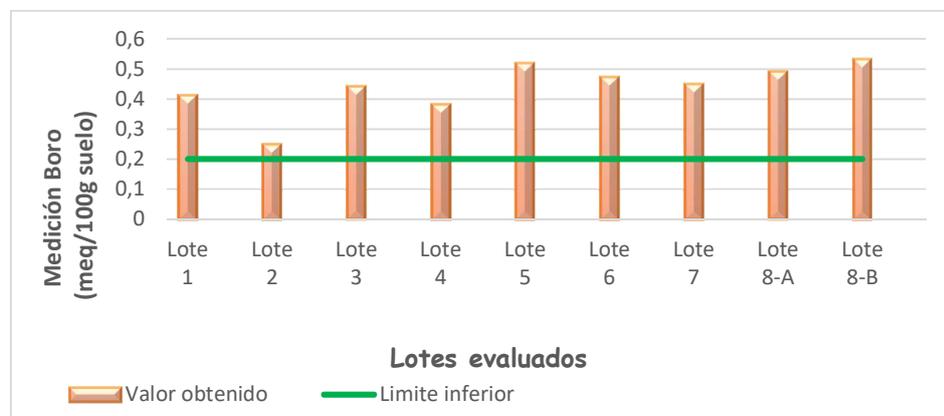
lo que se favorece el desarrollo del cultivo y procesos en los diferentes factores involucrados. La disponibilidad de zinc se encuentra influenciada por la materia orgánica y el pH, de modo que la materia orgánica mejora la disponibilidad, ya que forma complejos orgánicos fácilmente asimilables por las plantas y en lo que se refiere al pH, la disponibilidad de zinc se reduce al incrementar el potencial de hidrógeno (INTAGRI, 2016).

El Zinc es un micro-elemento necesario en las plantas, este se encuentra relacionados con procesos como metabolismo de ácidos nucleicos, funciona como estabilizador de la estructura de las proteínas, se encuentra involucrado en la respuesta de defensa de las plantas contra el estrés, contribuye a la síntesis de carbohidratos durante la fotosíntesis, adicionalmente favorece el crecimiento (Amezcuca & Lara, 2017) .

7.2.12 Miliequivalentes de boro

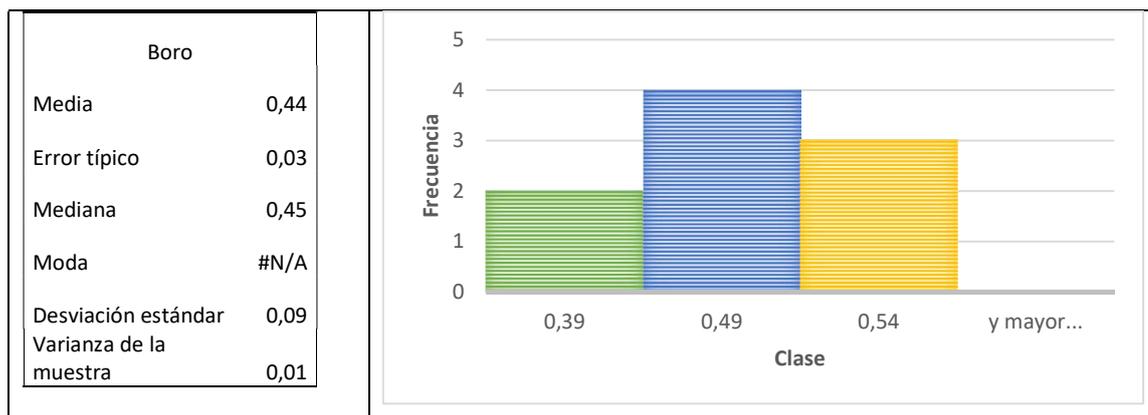
El boro adsorbido y desorbido por los suelos varia extensivamente de acuerdo con el contenido de sus constituyentes (en su mayoría minerales de arcilla, óxidos y materia orgánica) y con la afinidad que éstos presenten por el elemento estando su disponibilidad afectada por diversos factores tales como pH, textura, humedad y temperatura (Acuña, 2005)

Gráfica 25: Resultados obtenidos para el Boro en la zona de producción cafetera de la Hacienda Majavita de la Universidad Libre Seccional Socorro



En el gráfico 25 se presentan las concentraciones de boro obtenidas en los lotes de café de la Hacienda Majavita de Universidad Libre seccional Socorro, en los cuales se evidencia que los lotes presentan valores superiores a los establecidos por CENICAFE.

Gráfica 26 Estadística boro



En la gráfica anterior se evidencian los resultados estadísticos obtenidos para el boro, para el cual CENICAFE determinó un límite inferior de 0,2 meq/100g suelo. En este se evidencia un promedio o media de 0,44 meq/100g suelo, superando por amplio margen la recomendación dada por CENICAFE. Cabe destacar que aunque todos los lotes superan la recomendación, en el caso del lote 2 se encuentra cerca al límite dispuesto, con un valor de 0,25 meq/100g suelo.

Teniendo en cuenta el gráfico 12 se establece que los valores más altos de boro corresponden al lote 5 y al lote 8-B, esto puede atribuirse a la cantidad de materia orgánica presente en los lotes pues estos son lo que cuentan con los mayores valores de acuerdo al gráfico 5, aunque es necesario tomar en cuenta otras variables que afectan el comportamiento de dicho elemento

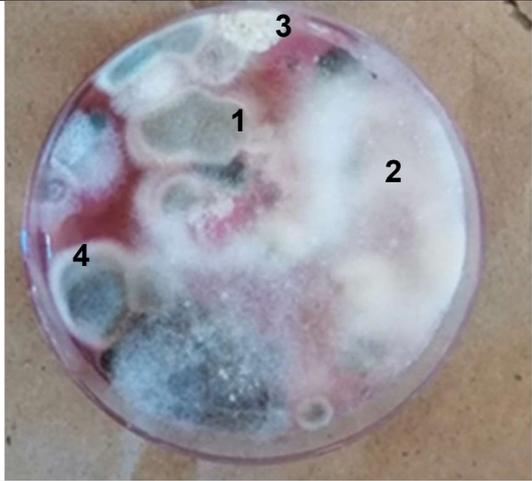
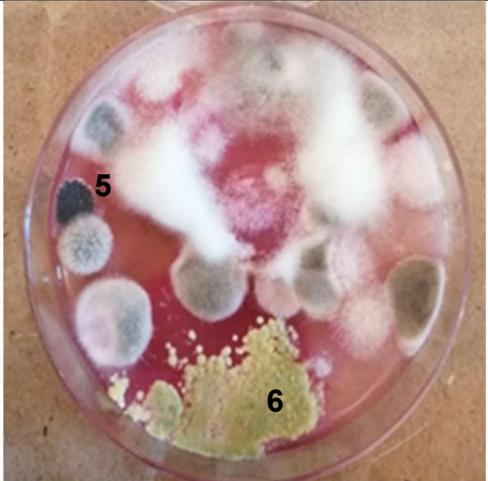
El boro representa un papel notable en el transporte de azúcares, en el metabolismo de ácidos nucleicos, en la síntesis de sacarosa, en la biosíntesis de carbohidratos, en la fotosíntesis, en el metabolismo proteico, en la síntesis y estabilidad de las paredes y membranas celulares, mejora el tamaño y la fertilidad de los granos de polen y tiene un importante papel en la germinación del polen y el crecimiento de

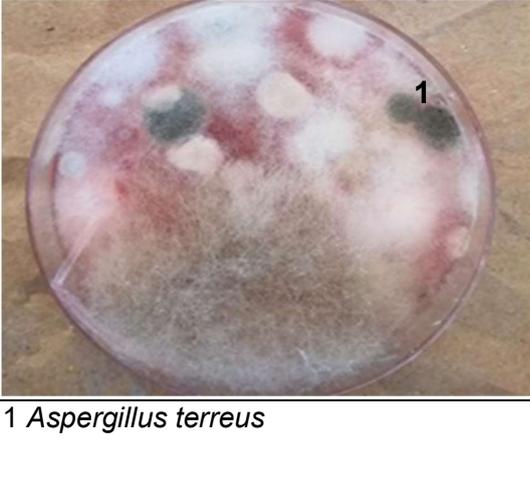
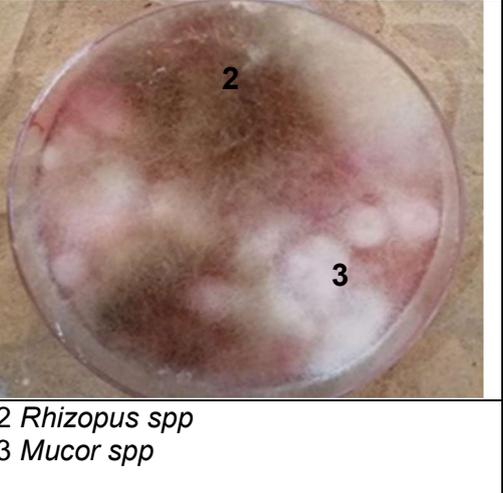
los tubos polínicos (Chamorro, Echeverría, Guerrero, & Gamboa, 1972). Los factores que intervienen la disponibilidad del boro en el suelo son: la textura, insinuando que los suelos arenosos junto a la baja cantidad de materia orgánica son más susceptibles a mostrar deficiencias de este mineral, el pH del suelo, disminuyendo la asimilabilidad a medida que aumenta el pH del mismo, la humedad del suelo: puede ser lavado por lluvias intensas aunado a suelos ácidos y gruesos. (Alarcón, 2015).

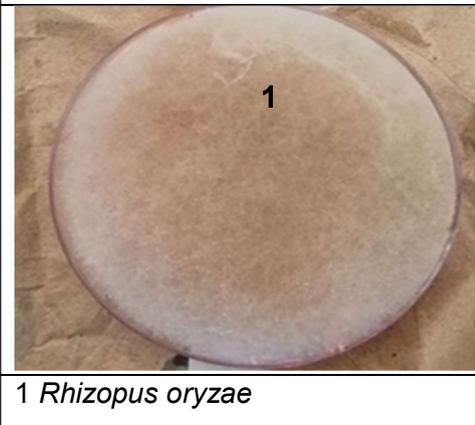
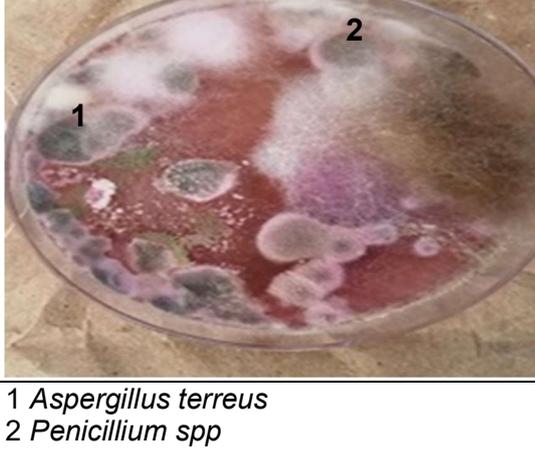
7.3 Características Microbiológicas

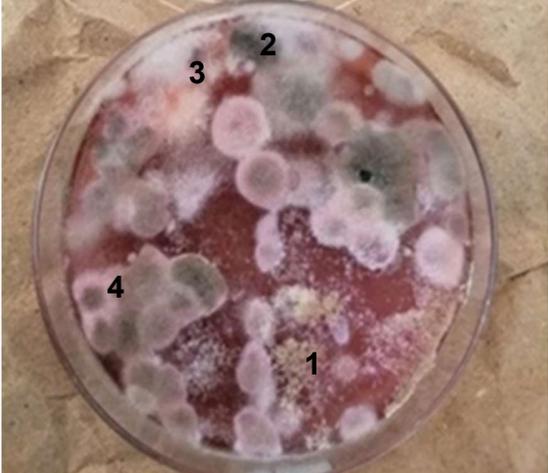
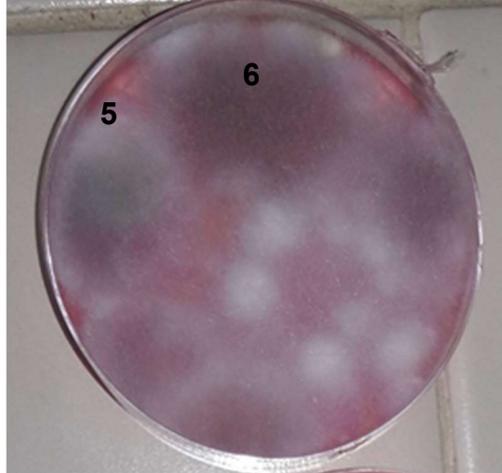
La identificación de los hongos se hizo a través de observación directa del crecimiento en los medios de cultivo, teniendo en cuenta se textura, color y formación de colonias apartadas, así mismo se realizó microscopia para confirmar e identificar otras especies o familias que no hayan alcanzado su desarrollo pleno en el tiempo de incubación, ya sea por la incidencia de otras especies presentes en la muestra o por factores de manipulación y distribución de la muestra.

Tabla 2: Formas Fúngicas a nivel macro

Lote 1		
	<p>1 <i>Aspergillus terreus</i> 2 <i>Mucor spp</i> 3 <i>Microsporim gypsieum</i> 4 <i>Penicillium spp</i></p>	<p>5 <i>Aspergillus niger</i> 6 <i>Aspergillus flavus</i></p>

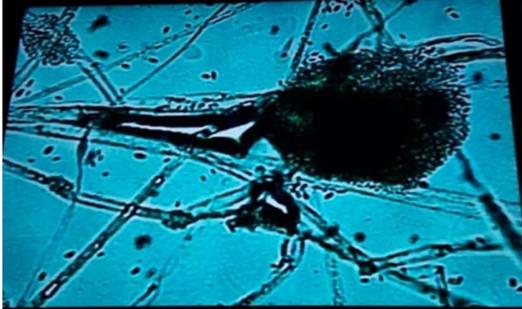
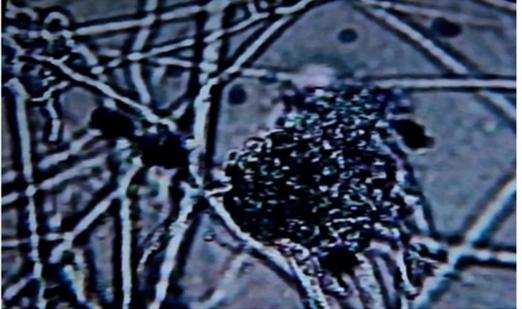
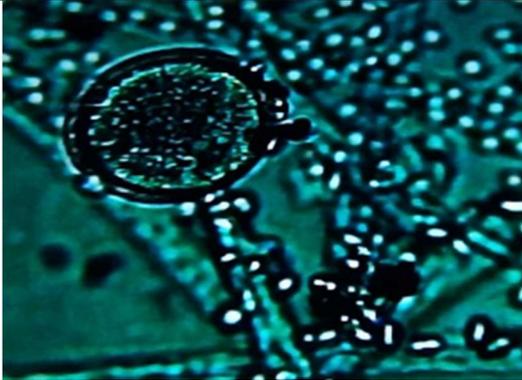
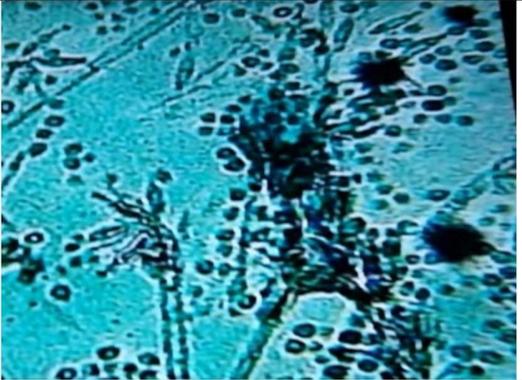
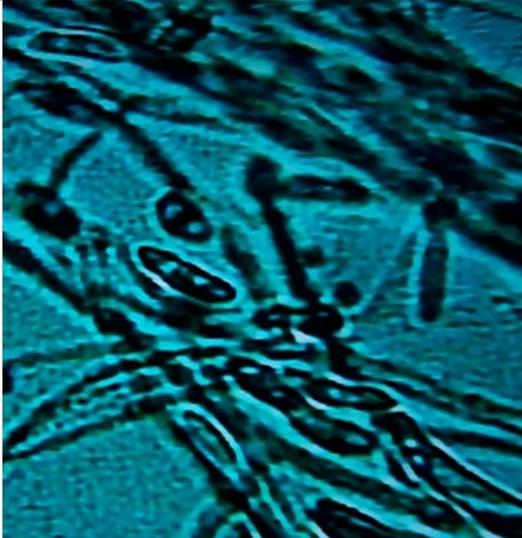
Lote 2	 <p>1</p>	 <p>2</p>
	1 <i>Mucor spp</i>	2 <i>Rhizopus oryzae</i>
Lote 3	 <p>1</p>	 <p>1</p>
	1 <i>Rhizopus sp</i>	1 <i>Rhizopus sp</i>
Lote 4	 <p>1</p>	 <p>2 3</p>
	1 <i>Aspergillus terreus</i>	2 <i>Rhizopus spp</i> 3 <i>Mucor spp</i>

Lote 5		
	1 <i>Mucor spp</i>	1 <i>Mucor spp</i>
Lote 6		
	1 <i>Rhizopus oryzae</i>	1 <i>Rhizopus oryzae</i>
Lote 7		
	1 <i>Aspergillus terreus</i> 2 <i>Penicillium spp</i>	3 <i>Rhizopus spp</i> 4 <i>Aspergillus flavus</i>

Lote 8a		
	1 <i>Rhizopus spp</i>	2 <i>Rhizopus oryzae</i>
Lote 8b		
	1 <i>Rhizopus spp</i>	2 <i>Rhizopus oryzae</i>
Reserva		

1 <i>Aspergillus flavus</i> 2 <i>Aspergillus terreus</i> 3 <i>Microsporim gypsieum</i> 4 <i>Penicillium spp</i>	5 <i>Rhizopus sp</i> 6 <i>Rhizopus spp</i>
--	---

Tabla 3: Formas fúngicas a nivel micro con aumento de 40x

	
<i>Aspergillus Glaucus</i>	<i>Aspergillus terreus</i>
	
<i>Mucor spp</i>	<i>Penicillium spp</i>
	

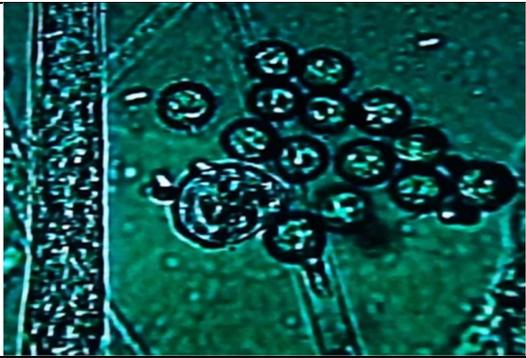
<i>Microsporim gypseum</i>	<i>Trichoderma spp</i>
	
Conidias	Esporas globosas
	
Clamidoconidios esfericos	Macroconidias

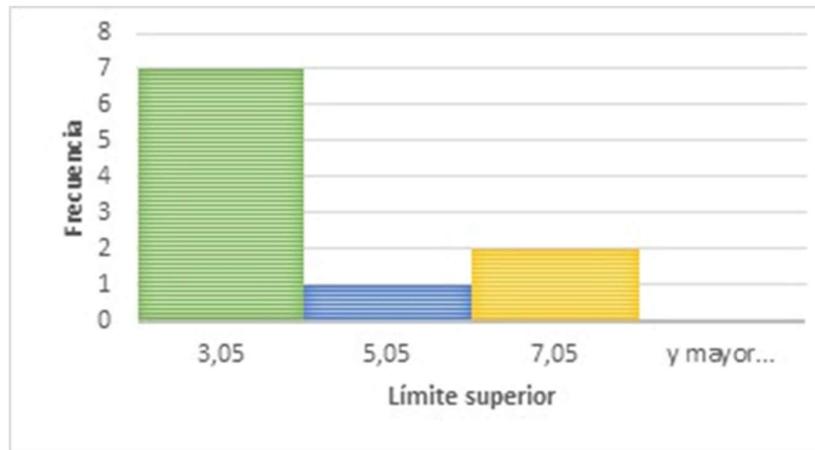
Tabla 4: Especies fúngicas y su presencia a lo largo de los lotes cafeteros Majavita

Tipo de hongo	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Lote 5	Lote 6	Lote 7	Lote 8A	Lote 8B	reserva
<i>Aspergillus flavus</i>	x						x			x
<i>Aspergillus glaucus</i>										x
<i>Aspergillus niger</i>	x									
<i>Aspergillus terreus</i>	x			x			x			x
<i>Microsporium gypseum</i>	x									x
<i>Mucor sp</i>	x	x		x	x					
<i>Penicillium spp</i>	x						x			x
<i>Rhizopus oryzae</i>		x				x		x	x	
<i>Rhizopus sp</i>			x	x						x
<i>Rhizopus spp</i>							x	x	x	x

En las tablas 2,3 y 4 se muestran algunas de las especies y familias de hongos identificadas en los lotes de café y en la zona de reserva forestal donde se reconoce

9 tipos de hongos, los cuales corresponden a *Aspergillus flavus*, *Aspergillus glaucus*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus terreus*, *Microsporum gypseum*, *Mucor sp.*, *Penicillium spp*, *Rizhopus oryzae*, *Rhizopus sp*, *Rhizopus spp*, en la totalidad de lotes.

Gráfica 27 Presencia de especies fúngicas



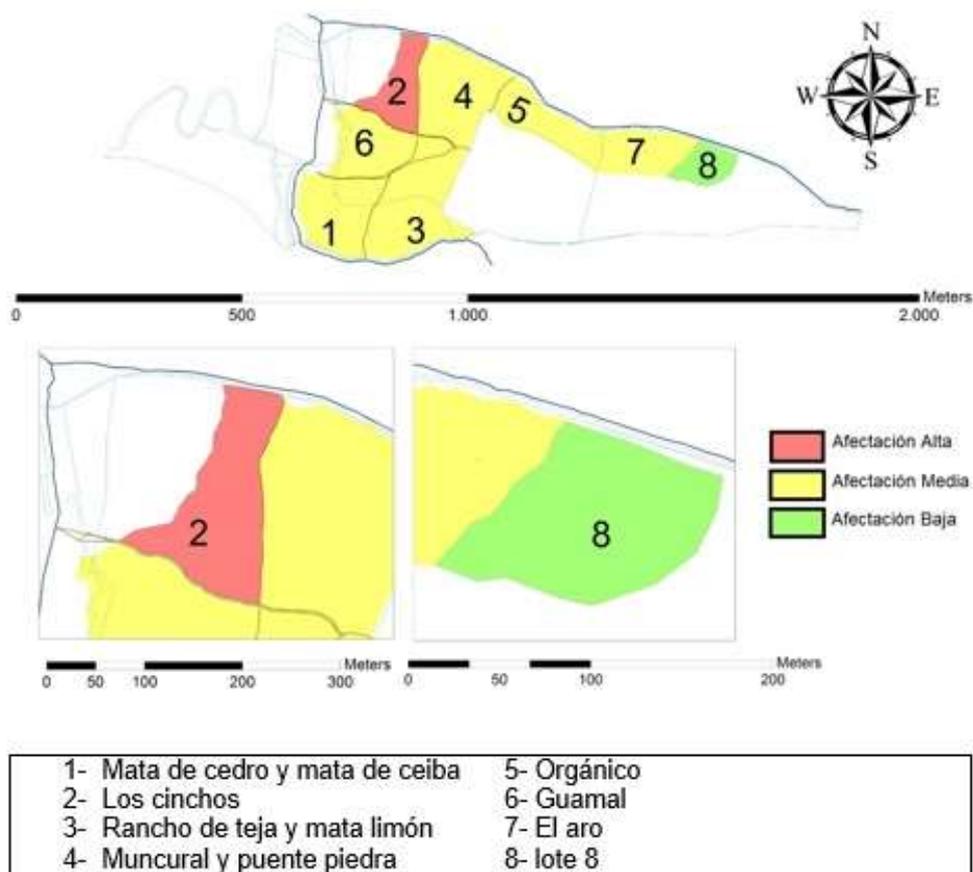
En la gráfica 27 se representan la cantidad de especies halladas por número de lotes, donde 7 de los lotes presentan menos de 3 especies de hongos, 1 lote presenta menos de 5 especies y solo 2 lotes presentan 6 o más especies de hongos. Con lo cual, la zona de reserva forestal presenta la mayor cantidad de especies encontradas con un total de 7, siendo el promedio general en los lotes cafeteros 2,4 especies, presentando en algunos casos reducciones de hasta el 90% en cuanto a las especies identificadas, con lo cual se valida la hipótesis sobre la afectación que tienen las actividades antrópicas en las comunidades microbiológicas del suelo aun en sistemas de producción orgánica.

De esta forma, los géneros *asperguillus* y *Rhizopus* son los de mayor presencia con 4 y 3 especies respectivamente, los cuales son considerados de importancia estratégica para el desarrollo de las plantas, además representan el mayor volumen de géneros encontrados en la zona de reserva forestal, la cual también tiene presencia del género *microsporum*, el cual aunque es sugerido por algunos estudios

como un hongo común en zonas como américa del sur y en usos del suelo como los cultivos de café, no fue posible aislarlos de muestras de los demás lotes cafeteros.

Lo anterior indica problemas en la distribución de la microfauna de la zona cafetera de la Hacienda Majavita, lo cual conlleva a mayores requerimientos en cuanto restauración de las condiciones ideales para el desarrollo del cultivo, vida útil menor a las proyecciones y expansión de las zonas de cultivo. Esto teniendo en cuenta la estrecha relación existente entre la cantidad de materia orgánica y los procesos microbiológicos que permiten la disponibilidad de la mayoría de los macro y micronutrientes, los cuales pueden estar presentes en el terreno pero solo pueden ser aprovechados por las plantas después de las trasformaciones realizadas por los microorganismos.

Ilustración 8 Resultados obtenidos de afectación a lotes cafeteros en la Hacienda Majavita



Fuente: Los autores

En el mapa anterior se evidencia la afectación de los lotes cafeteros, donde en su gran parte presentaron un nivel medio, la cual se resalta en color amarillo. En el caso del lote 2, el cual presentó una varianza negativa en la mayoría de los parámetros evaluados y comparados con los de CENICAFE se resaltó con un color rojo, indicando un nivel alto de la misma. El lote 8 por otro lado presentó los mejores comparativos respecto a las variables establecidas.

8. DISCUSIÓN

La Hacienda Majavita presenta suelos lateolíticos, los cuales se caracterizan por la actividad biológica intensa, especialmente en condiciones boscosas, y si el sistema radicular está muy extendido. Este suelo es normalmente de color rojizo o amarillento y cuando hay influencia de aguas freáticas en la zona de 0 a 125 cm, suele formarse un material arcilloso firme con un alto contenido de hierro (plintita), que aparece en forma de manchas rojas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2007). Un destacado rasgo en estos tipos de suelo son sus capas de materia orgánica pequeñas debido a la rápida descomposición de la misma por microorganismos y a la baja acumulación de humus.

La zona cafetera de la hacienda presenta inclinaciones fuertes en los lotes 3, 4, 5 y 7, la mayor parte de su textura es arcillosa – arenosa, indicando la presencia de altos contenidos de hierro y de suelos poco permeables en sus capas superiores, bajando la retención de agua en el suelo.

Teniendo en cuenta lo anterior, los lotes de café de la Hacienda Majavita presentaron bajos índices en cuanto a penetrabilidad del suelo y acumulación de materia orgánica. Esto es causante de problemas estructurales en el suelo, alteración de la actividad microbiológica y cambios en la disponibilidad de los macro y micronutrientes esenciales para las plantas, debido a que una baja penetrabilidad junto a un bajo nivel de materia orgánica, permiten que las precipitaciones hagan un lavado de nutrientes y causen una erosión hídrica en la zona (LEMA, 2016), lo cual puede conducir entre otras cosas, al deterioro de la diversidad microbiológica del sistema cafetero de la Hacienda Majavita, pérdida en la producción, deterioro de la flora nativa cercana a la zona de influencia y dentro de la zona cafetera y a posibles problemas de eutrofización de fuentes de agua cercanas.

Por otro lado, las deficiencias en elementos básicos para el desarrollo de cualquier cultivo como lo son el nitrógeno, fósforo y potasio, pueden ser explicadas por el lavado de nutrientes al cual está sometido el suelo en la zona de la Hacienda

Majavita, puesto que dichos parámetros están muy por debajo de las recomendaciones realizadas por entidades como CENICAFE, quien dicta los lineamientos sobre este tipo de cultivos, así mismo el bajo nivel de nitrógeno puede indicar una baja actividad microbiana, dado que son estos últimos lo encargados de aportar una gran parte del nitrógeno necesario para la planta mediante la fijación de nitrógeno atmosférico. (Benimeli, y otros, 2019).

También es importante tener en cuenta las cantidades de calcio presentes, dado que este posee incrementos de hasta el 100% de lo recomendado por CENICAFE. Pellegrini (2017) indica que plantas leguminosas demandan más calcio que otras especies. En este sentido, el uso de leguminosas en los límites de la zona cafetera y a lo largo del cultivo de café, representa una alternativa en el control de este parámetro dado que demandan mucho más calcio de la solución del suelo para el proceso de nodulación, eliminando el exceso de calcio y ayudando en los procesos de fijación de nitrógeno atmosférico.

Por otro lado, Paco (2017) señala en su investigación que al encontrar suelos con texturas arenosas que retienen poca humedad y con materia orgánica baja, los géneros de hongos que se podrán hallar serán menores, puesto que estas condiciones limitan el óptimo desarrollo de muchos microorganismos. De este modo, la zona de reserva debido a sus características en cuanto a la calidad y cantidad de materia orgánica posee y conserva una mayor biodiversidad que los suelos cafeteros colindantes con la misma. Así mismo, se evidenció en la mayor parte de los lotes cafeteros y de la zona de reserva forestal de la Hacienda Majavita los géneros *aspergillus* y *Rhizopus*, los cuales se caracterizan por ser microorganismos de amplia cobertura que según Pineda (2014) son unos de los más importantes agentes solubilizadores de fosfatos, estos últimos, de gran importancia para el crecimiento vegetal.

Otro de los géneros hallados es *Microsporium gypseum* el cual según Padilla (2002) se aísla repetidamente del suelo en el mundo entero, posicionándose como una fuente poco frecuente pero latente que causa tiñas en el hombre y los animales. Siendo este un factor a tenerse en cuenta en cuanto a la población microbiana patógena que puede causar afectación a la salud humana si llegan a manipular material contenedor de este tipo de hongo.

Además, se encontró el género *Mucor sp* en algunos de los lotes de cultivo, sin embargo, no se presentó en la zona de reserva forestal. En contraste Morato (2005) sugiere que estos ven reprimida su actividad y no logran permanecer en los suelos donde se implementan las prácticas de monocultivo, lo cual puede ser una explicación a su baja presencia en la zona cafetera pero a su vez indica los requerimientos que tienen los microorganismos para su desarrollo y su relación con la demás microbiota.

También se detectó la presencia del género *Penicillium spp* los cuales están definidos por Rojas, Cajiao y Rivera (2018) como microorganismos antagonistas que juegan un papel muy importante a la hora de controlar poblaciones en el suelo. De lo cual según los requerimientos necesarios para una población, su distribución en los lotes y la presencia de otras comunidades, dependerá el desarrollo de las poblaciones.

De este modo De la cruz, Zamudio, Corona, Gonzales y Rojas (2015) sugieren que, para comprender la función de los microorganismos en sus nichos específicos, es esencial identificar y cuantificar cada uno de los miembros que conforman la comunidad, aplicando técnicas moleculares avanzadas de huellas de ADN, esto por la complejidad de las comunidades microbiológicas y sus relaciones tanto con el ecosistema como entre las mismas comunidades. Cabe citar que, en el enfoque ecológico, la mayoría de las comunidades bacterianas sufren perturbaciones intermitentes como escasez de alimento, sequía, congelamiento-descongelamiento,

exposición a altas concentraciones salinas y otras alteraciones causadas por las variaciones naturales del entorno o por la actividad humana (De la cruz et al. 2015).

Esto a su vez se ve potenciado por el efecto de monocultivo como lo cita Cofre, Urcelay, Wall, Domínguez y Becerra (2018) en donde explican que los monocultivos tienden a seleccionar Hongos Micorríticos Arbustivos (MHA) específicos que tienden a ser mutualistas inferiores, es decir, menos beneficiosos para sus hospedantes, con lo cual una rotación de cultivos o la implementación de diferentes especies en la zona cafetera de la Hacienda Majavita, promovería el incremento en la población fúngica para establecer relaciones de mutuo beneficio.

Esto nos dice que el tipo de uso del suelo (TUS), tiene efectos considerables sobre la diversidad de plantas como cita Pacasa F., Loza M. et al. (2017) afectando la simbiosis que estas poseen con los microorganismos contenidos en el sustrato en el que se encuentran y a los mismo microorganismos.

Dado lo anterior se debe tener en cuenta que el aislamiento de microorganismos es un paso complejo, puesto que estos requieren de condiciones específicas y muchos géneros aunque estén presentes en las muestras, pueden no aparecer en los medios de cultivo o ser subyugados por colonias más fuertes que dejan sin disponibilidad de nutrientes a colonias con desarrollo lento, de igual forma y aunque se encontraron e identificaron 10 tipos de microorganismos fúngicos mediante observación directa y bajo observación por microcopia, se encontraron 3 cepas que no fue posible identificar.

9. RECOMENDACIONES

Se recomienda la implementación de medidas que permitan elevar el porcentaje de materia orgánica y el nivel de fósforo en los lotes de café, dado que todos presentan deficiencias en estos aspectos, los cuales son muy importantes para el desarrollo de la microbiota y los beneficios que esta trae tanto al cultivo como a la flora de sus alrededores.

De igual forma, se deben evaluar medidas para delimitar la zona cafetera y separarla de la zona de reserva, esto con el fin de evitar que en el desarrollo de las actividades de cosecha, los trabajadores abran senderos por la zona forestal extendiendo el área de influencia del cultivo de café, causando afectaciones por el descapote que realizan.

Finalmente, y considerando las pendientes que poseen algunos lotes como el 4, 5 y 7 se deben considerar medidas para retención de materia orgánica y anclaje del suelo en sectores específicos evitando la erosión hídrica y posible movimiento de tierra.

Dado lo anterior, se formula el *Plan de recuperación de suelo para los lotes cafeteros en la Hacienda Majavita en el Socorro Santander* ([ver anexo 4](#)), el cual tiene como finalidad aumentar la cantidad de materia orgánica del suelo cafetero de la hacienda por medio de la implementación de árboles forrajeros. Este tipo de árboles pueden significar un aumento en la capa orgánica de hasta el 8 %, además de que algunas de sus especies serán del tipo leguminosas, las cuales tienen 3 propósitos:

- 1- Servir como aportantes de materia orgánica por la caída de sus hojas.
- 2- Al ser de tipo leguminosa ayudara en la regulación del exceso de calcio presente en la mayor parte de los suelos cafeteros.
- 3- Una de las capacidades de las plantas de tipo leguminosa es la fijación de nitrógeno atmosférico, con lo cual aportara nitrógeno a las plantas de café, supliendo una parte de los requerimientos de las mismas.

Por otro lado al aumentar la capa orgánica del suelo cafetero, la cual contiene gran variedad de nutrientes, esta contribuirá en la proliferación de los microorganismos encargados de la transformación de los diferentes compuestos presentes en el terreno y en la misma materia orgánica.

Así mismo, la micorrización de los suelos contribuye en la proliferación de microorganismos benéficos para las plantas, mejor asimilación de nutrientes, control de población patógena y establecimiento de conexiones entre diferentes especies y las plantas, esto potenciado por la absorción de fósforo por parte de las micorrizas en suelo con tendencia ácida (Noda, 2009).

10. CONCLUSIONES

La zona de reserva presentó un balance óptimo en cuanto a la identificación de hongos, donde se hallaron 7 de las diez especies identificadas. Esto indica que la actividad microbiana ha presentado un deterioro en la mayor parte de los lotes cafeteros de la Hacienda Majavita, dado que el promedio de los lotes fue de 2,4 especies, siendo esta una reducción promedio cercana al 75% respecto a las especies identificadas.

A partir de la caracterización de los suelos cafeteros se determinó el estado en el que se encuentran dichos lotes, para lo cual el lote 2 presenta una varianza negativa en 9 de los 12 parámetros químicos evaluados, de igual forma en la caracterización de microorganismos fúngicos presentó baja presencia de especies junto a los lotes 3,5 y 6 pero a diferencia del lote 2 estos últimos presentan mejor simetría a los parámetros recomendados por CENICAFE, dejando al lote 2 como el más afectado en cuanto a sus parámetros químicos y microbiológicos.

Por último se debe destacar el bajo porcentaje de materia orgánica en todos los lotes cafeteros, la cual y de forma directa, incide en el desarrollo de las poblaciones microbianas, inhibiendo sus procesos y dando paso a otros problemas como la transformación y disponibilidad de nutrientes tanto para el cultivo de café como para la flora colindante.

11. BIBLIOGRAFIA

- Acevedo, O., Valera, M., & Prieto, F. (2010). PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y MINERALÓGICAS DE SUELOS FORESTALES EN ACAXOCHITLAN, HIDALGO, MÉXICO. *Universidad y Ciencia tropico humedo*, 2(26). Recuperado el 24 de Junio de 2020, de <http://www.scielo.org.mx/pdf/uc/v26n2/v26n2a2.pdf>
- Acuña, A. M. (2005). Los suelos como fuente de boro para las plantas. *Revista UDO Agrícola*, 5(1), 10-26. Recuperado el 24 de Junio de 2020, de https://www.researchgate.net/publication/28141067_Los_suelos_como_fuente_de_boro_para_las_plantas
- Adriana Andrade, V. C. (2015). Características del suelo en los cultivos de cafés especiales del municipio de Calarcá - Colombia. *UG Ciencia*, 21, 29-38. Obtenido de <http://revistas.ugca.edu.co/index.php/ugciencia/issue/view/33/showToc>
- Alarcón, A. (2015). *El Boro como nutriente esencial*. Recuperado el 07 de Abril de 2020, de <http://static.plenummedia.com/40767/files/20150523033838-el-boro-como-nutriente-esencial.pdf>
- Amezcuca, J., & Lara, M. (2017). *El Zinc en las plantas*. México. Recuperado el 07 de Abril de 2020, de https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/68_3/PDF/zinc_plantas.pdf
- Aristizabal, A. (2009). EFECTO DE ALTAS SATURACIONES DE Mg⁺² y Ca⁺² EN LAS PROPIEDADES. Palmira, Valle del Cauca, Colombia. Recuperado el 15 de marzo de 2020, de <http://bdigital.unal.edu.co/1794/1/7005002.2009.pdf>
- Banegas, N. (Enero de 2014). Calidad y Salud del Suelo. Tucuman, Argentina. Recuperado el 24 de 03 de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000800813
- Benimeli, M., Plasencia, A., Corbella, R., Guevara, D., Sanzano, A., Sosa, F., & Fernández, J. (2019). El Nitrógeno del suelo.
- Bolda, M., & Stoddart, S. (7 de Abril de 2015). Nutrición de potasio en el suelo y la planta. Recuperado el 14 de marzo de 2020, de <https://ucanr.edu/blogs/blogcore/postdetail.cfm?postnum=17324>

- CENICAFE. (2016). Obtenido de https://www.cenicafe.org/es/publications/AT_471-web.pdf
- Centro internacional para el Fenómeno del Niño;. (9 de Octubre de 2017). *Centro internacional para el Fenómeno del Niño*. Obtenido de Centro internacional para el Fenómeno del Niño:
http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=article&id=580:ciclos-biogequimicos&catid=98&Itemid=131&lang=es
- Chamorro, B., Echeverria, C., Guerrero, R., & Gamboa, J. (1972). Aluminio, Boro, Cobre, cobalto, hierro, manganeso y zinc disponibles en suelos volcanicos de la Sabana Tuquerres, Departamento de Nariño, Colombia. *Ciencias agricolas*, 4(1), 26. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6191438.pdf>
- Comisión mundial sobre el medio ambiente y el desarrollo. (1987). *Organización de Naciones Unidas*. Recuperado el 29 de 03 de 2020, de Organización de Naciones Unidas:
<https://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml>
- Cruz, A. C., Morales, P. S., Arenas, O. R., Tapia, J. A., Fletes, I. O., & Lezama, J. F. (05 de Noviembre de 2019). Prácticas agroecológicas y su influencia en la fertilidad del suelo en la región cafetalera de Xolotla, Puebla. *Acta universitaria*, 29. Recuperado el 25 de Junio de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-62662019000100119&lang=es#aff1
- DÁVILA, B. S. (Junio de 2006). CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DE SUELOS REPRESENTATIVOS DE ECOSISTEMAS AMAZÓNICOS DEL PERÚ, DEPARTAMENTO DE UCAYALI, E INFLUENCIA DE SU USO Y MANEJO EN EL SECUESTRO DEL CARBONO. Sevilla. Recuperado el 24 de Junio de 2020, de <https://core.ac.uk/download/pdf/36094475.pdf>
- de la Cruz Leyva, M. C., Zamudio Maya, M., Corona Cruz, A. I., González de la Cruz, J. U., & Rojas Herrera, R. A. (Abril de 2015). Importancia y estudios de las comunidades microbianas en los recursos y productos pesqueros. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 2(4), 99 - 115. Recuperado el 23 de Mayo de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282015000100008
- FAO. (2015). *Los suelos sanos son la base para la producción de alimentos saludables*. Obtenido de <http://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/277721/>

- FAO. (2015). *Propiedades Físicas del Suelo*. Recuperado el 25 de Junio de 2020, de <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- Fernández, M. T. (2007). Fósforo: amigo o enemigo. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de, XLI(2)*, 51-57. Recuperado el 28 de Junio de 2020, de <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223114970009.pdf>
- FONDO PARA EL MEDIO AMBIENTE MUNDIAL. (2007). *Recuperación de la Fertilidad de los Suelos de la Comunidad Costera de Dolores*. Obtenido de https://www.undp.org/content/dam/cuba/docs/Medio%20Ambiente%20y%20Energ%C3%ADa/Programa%20de%20Peque%C3%B1as%20Donaciones/OP_4/20.%20PROYECTO%20DOLORES.pdf
- Fragoso, A. (2010). *Determinación de la humedad del suelo*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/kryzdfagg/humedad-del-suelo-47387016>
- George, A. (2006). *Estudio comparativo de indicadores de calidad de suelo en fincas de café orgánico y convencional en Turrialba, Costa Rica*. Turrialba.
- Gómez, m., & V., S. (2014). *El manganeso y la Viticultura: Una revisión*. Madrid. Recuperado el 06 de Abril de 2020, de https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/publicaciones/MANGANESO%20Y%20VITICULTURA_tcm30-89512.pdf
- GONZÁLEZ, E., TORNERO, M. A., SANDOVAL, E., GORDILLO, a., & PÉREZ, A. (2011). BIODISPONIBILIDAD Y FRACCIONAMIENTO DE METALES PESADOS EN SUELOS AGRÍCOLAS ENMENDADOS CON BIOSÓLIDOS DE ORIGEN MUNICIPAL. Recuperado el 24 de Junio de 2020, de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v27n4/v27n4a2.pdf>
- IDEAM. (2012). Obtenido de http://www.ideam.gov.co/documents/11769/153422/20121210_La_degradaci_suelos_en_gestion_ambiental.pdf/357bb67d-6c59-4a6e-aeda-ae1e2c8359b4
- IDEAM. (2015). Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023648/Sintesis.pdf>
- IDEAM. (2015). *Sistema de información ambiental de Colombia*. Recuperado el 28 de 03 de 2020, de Sistema de información ambiental de Colombia: <http://www.siac.gov.co/suelo>
- INTAGRI. (2016). La Importancia del Zinc en las Plantas y su Dinámica en el Suelo. *INTAGRI*. Recuperado el 24 de Junio de 2020, de

<https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/la-importancia-del-zinc-en-las-plantas-y-su-dinamica-en-el-suelo>

- INTAGRI. (2017). Fijación de Potasio en el Suelo. *Artículos Técnicos de INTAGRI*(31), 3. Recuperado el 24 de Junio de 2020, de <https://www.intagri.com/articulos/suelos/fijacion-de-potasio-en-el-suelo>
- LEMA, O. F. (2016). *EFFECTO DE LABRANZA CONVENCIONAL Y SIEMBRA DIRECTA EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO Y EN LA PRODUCCIÓN DE TRES CULTIVOS DE LA SIERRA*. UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR. Recuperado el 24 de Junio de 2020, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/10130/1/T-UCE-0004-90.pdf>
- Madero-Morales, E. P.-A. (2012.). Compactación potencial en dos suelos de la parte plana del Valle del Cauca. *SciELO*, 1(61), 27-31. Recuperado el 05 de 04 de 2020, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28122012000100004&lng=en&tlng=es.
- Medina, L. Y. (2017). *Estudio del Componente Suelo Agroforestal del Cafe Organico en la Hacienda Majavita*. Socorro.
- Mengel K., a. E. (1985). Principles of plant nutrition. 4th edition. international.
- MUELAS, R. C. (2009). *ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO, EN VALLE DEL CAUCA*.
- Noda, Y. (Junio de 2009). Las Micorrizas: Una alternativa de fertilización ecológica en los pastos. *Pastos y Forrajes*, 32(2). Recuperado el 01 de Julio de 2020, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942009000200001
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (19 al 21 de Mayo de 2003). Agricultura Orgánica: una herramienta para el desarrollo rural sostenible y la reducción de la pobreza. Turrialba, Costa Rica. Recuperado el 25 de 03 de 2020, de <http://www.fao.org/3/a-at738s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2007). *Erosión y pérdida de fertilidad del Suelo*. Recuperado el 24 de 03 de 2020, de <http://www.fao.org/3/T2351S06.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015). *Suelos y biodiversidad*. Roma. Recuperado el 24 de 03 de 2020, de http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/soils-2015/images/ES/Es_IYS_food_Print.pdf

- Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015).
Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>
- Otiniano, A., Florian, L., Sevillano, R., & Amez, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. Chile: Idesa.
- Paco, V. L.-M.-N.-B.-C. (2017). Población fúngica en suelos productores de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), bajo diferentes sistemas de manejo en la comunidad Kerecaya Municipio de Salinas de Garci Mendoza. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 8(1), 26 - 47. Recuperado el 21 de Mayo de 2020, de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2072-92942017000100003&lang=es
- Padilla, M. C. (03 de SEPTIEMBRE de 2002). Tiña de la cabeza por *Microsporum gypseum*. *Revista del Centro Dermatológico Pascua*, 11(3), 147 - 149. Recuperado el 21 de Mayo de 2020, de <https://www.medigraphic.com/pdfs/derma/cd-2002/cd023h.pdf>
- Pellegrini, A. E. (2017). *POTASIO CALCIO Y MAGNESIO DEL SUELO*. Recuperado el 28 de Junio de 2020, de https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/35408/mod_resource/content/1/14%20-%20CALCIO%2C%20MAGNESIO%20Y%20POTASIO.pdf
- Piedrahíta, O. (JUNIO de 2009). ACIDEZ DEL SUELO. Recuperado el 21 de JUNIO de 2020, de http://www.nuprec.com/Nuprec_Sp_archivos/Literatura/Acidez%20del%20Suelo/Fuentes%20y%20efectos.pdf
- Piedrahita, O. (2012). Calcio en las Plantas .
- Pineda, M. E. (2014). La solubilización de fosfatos como estrategia microbiana para promover el crecimiento vegetal. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria*, 101 - 113.
- Pulgarín, A. J. (2014). Factores que determinan la productividad del cafetal. *Factores que determinan la productividad del cafetal*.
- Rincon Castillo, A. (2012). Acidificación de los suelos e intercambio catiónico . *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria*, 11. Recuperado el 08 de 04 de 2020, de https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/19501/45272_61781.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rojas, L., Cajiao, A., & Rivera, K. (2018). Estudio y análisis presuntivo de la fertilidad microbiana del suelo de un cultivo de maíz (*Zea mays*) en

- Pamplona, Norte de Santander. *Bistua*, 16(1), 03-12. Recuperado el 22 de mayo de 2020, de http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/BISTUA/article/view/3186/1697
- Ross, M. (2004). Importancia del magnesio para altos rendimientos sostenibles en palma de aceite. 25(Especial), 98 - 104. Recuperado el 24 de Junio de 2020, de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/download/1071/1071>
- SADEGHIAN K., S., & GONZALEZ O., H. (Enero de 2013). *Cómo tomar muestras de suelos en los cafetales*. Obtenido de <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/744/1/39551.pdf>
- SÁNCHEZ, O. D. (DICIEMBRE de 2013). COMPARATIVO DE LA RENTABILIDAD DEL CULTIVO DE CAFÉ ORGÁNICO E INORGÁNICO EN EL MUNICIPIO DE ÁNGEL ALBINO CORZO, ESTADO DE CHIAPAS. BUENAVISTA, COAHUILA, MEXICO.
- Santana, M., & De Jesús, J. (2017). NUTRICIÓN VEGETAL. Mérida, Venezuela.
- Sanz, M., Cerdan, M., & Sanchez, A. (21 de septiembre de 2007). Hierro en el sistema suelo-planta. Recuperado el 15 de Marzo de 2020, de <http://hdl.handle.net/10045/1845>
- Sanzano, A. (2013). Fósforo del suelo. Obtenido de https://www.google.com/search?ei=3g9sXv_HF1yd_QayupSADQ&q=fosforo+en+el+suelo+pdf&oq=fosforo+en+el+suelo+pdf&gs_l=psy-ab.3..0j0i22i30l9.1152.2097..3118...0.3..0.819.1305.0j3j6-1.....0....1..gsw-wiz.....0i71.enHgS-gE6fU&ved=0ahUKEwj_rompxpjoAhWMTt8KHTId
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2016). *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Obtenido de Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/recuadros/recuadro3_2.html
- Silva. (2011). *Actualización de datos topográficos e implementación del Plan de Manejo Ambiental en la Hacienda Majavita*. Socorro, Santander, Colombia .
- Valdés, A. (2010). Cómo controlan la erosión las raíces de las plantas. *REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA DE LA UNIVERSIDAD VERACRUZANA*, XXIII. Recuperado el 11 de Abril de 2020, de <https://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol23num2/articulos/erosion/>

- VELEZ, G. A., & SEPULVEDA, D. C. (2014). EL FOSFORO ELEMENTO INDISPENSABLE PARA LA VIDA VEGETAL. PEREIRA, RISARALDA, COLOMBIA. Recuperado el 24 de JUNIO de 2020, de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/5248/el%20fosforo%20elemento.pdf?sequence=1>
- Villalba, A., Cruz, M., & Azuara, G. (Agosto de 2018). *Aspergillus niger* Tiegh., Aislado en Sonora, México: evaluación de tolerancia de metales. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 24(2), 131 - 146. Recuperado el 24 de Junio de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-40182018000200131&lang=es
- Yruela, I. (2005). Copper in plants. *Braz. j. Plant Physiol*, 17 (1): 145 - 156.

12. ANEXOS

12.1 Anexo 1

En esta sección se encontrarán las tablas y gráficas obtenidas a partir de las pruebas físicas realizadas correspondientes a los lotes 4,6, y Reserva Forestal

- Resultados obtenidos para la calicata 2 en el lote 4 de la zona de producción cafetera de la Hacienda Majavita de la Universidad Libre Seccional Socorro

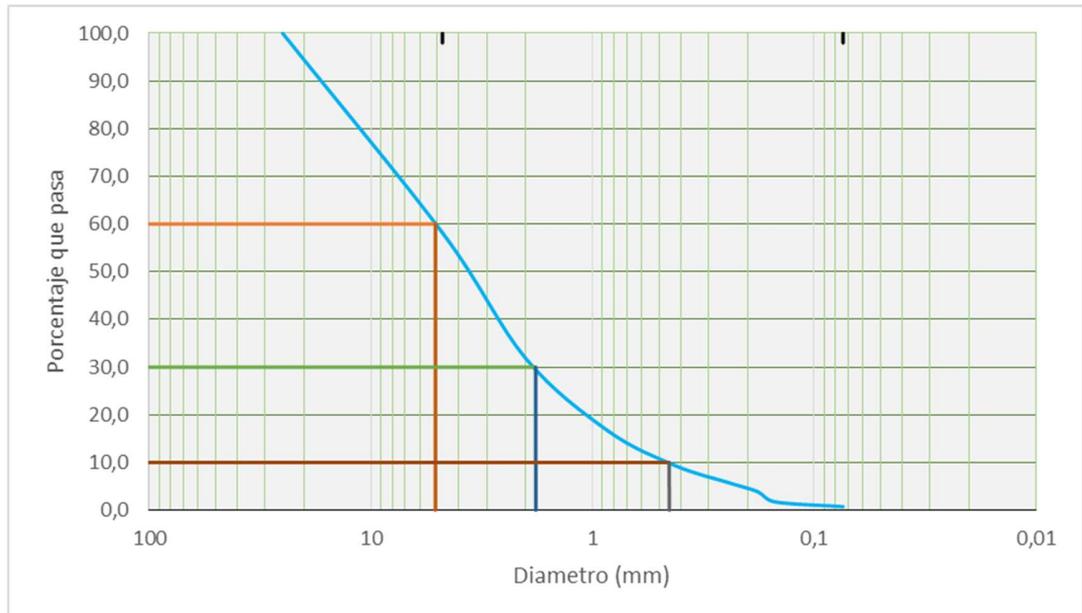
Tabla 5 Granulometría Muncural y Puente Piedra

Granulometría lote 4: Muncural y puente piedra					
calicata					2
Punto	E				1092031,591
	N				1207718,231
Peso inicial (g)		1480			
mallá	abertura (mm)	peso retenido (gr)	% retenido	% retenido acumulado	% pasa
1	25	0	0,0	0,0	100,0
4	4,75	619	41,8	41,8	58,2
10	2	390	26,4	68,2	31,8
20	0,85	225	15,2	83,4	16,6
40	0,425	107	7,2	90,6	9,4
60	0,25	51	3,4	94,1	5,9
80	0,18	30	2,0	96,1	3,9
100	0,15	32	2,2	98,2	1,8
200	0,074	15	1,0	99,3	0,7
fondo		11	0,7	100,0	0,0
total		1480	100,0		

% gravas	41,8
% arenas	57,4
% finos	0,7

D60(mm)	5,11	Cu	11,36
D30(mm)	1,8	Cc	1,41
D10(mm)	0,45		

Gráfica 28: Curva Granulométrica Muncural y Puente de Piedra



12.2 Anexo 2

- Resultados obtenidos para la calicata 3 en el lote 6 de la zona de producción cafetera de la Hacienda Majavita de la Universidad Libre Seccional Socorro

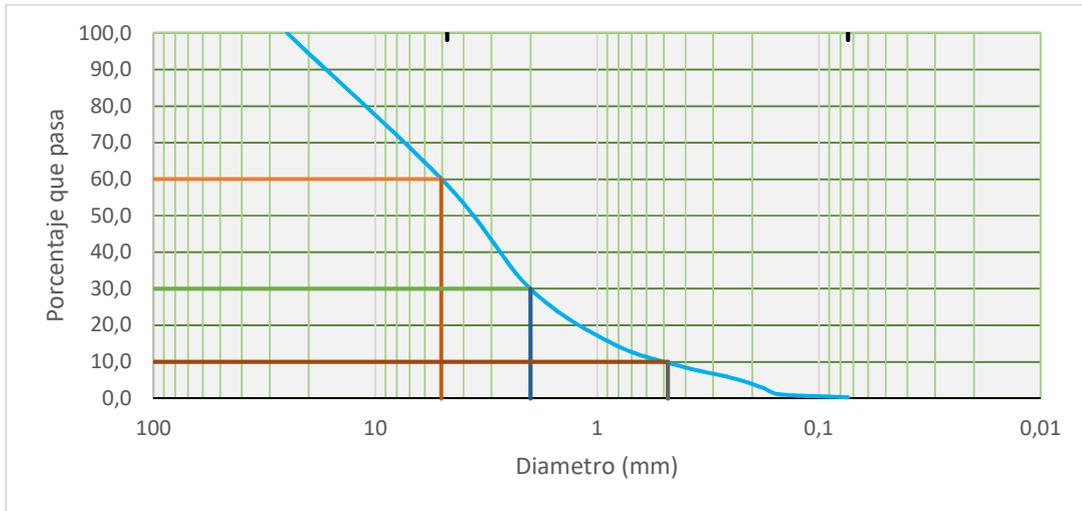
Tabla 6: Granulometría Guamal

Granulometría		lote 6: Guamal			
calicata		3			
Punto	E	1091809,382			
	N	1207657,596			
Peso inicial (g)	1761				
mallá	abertura (mm)	peso retenido (gr)	% retenido	% retenido acumulado	% pasa
1	25	0	0,0	0,0	100,0
4	4,75	731	41,5	41,5	58,5
10	2	501	28,5	70,0	30,0
20	0,85	264	15,0	85,0	15,0
40	0,425	107	6,1	91,1	8,9
60	0,25	56	3,2	94,3	5,7
80	0,18	48	2,7	97,0	3,0
100	0,15	33	1,9	98,9	1,1
200	0,074	14	0,8	99,7	0,3
fondo		6	0,3	100,0	0,0
total		1760	100,0		

% gravas	41,5
% arenas	58,1
% finos	0,3

D60(mm)	5,05	Cu	10,52
D30(mm)	2	Cc	1,65
D10(mm)	0,48		

Gráfica 29: Curva Granulométrica Guamal



12.3 Anexo 3

- Resultados obtenidos para la calicata 4 en la zona de reserva forestal de la Hacienda Majavita de la Universidad Libre Seccional Socorro

Tabla 7 Granulometría Zona de Reserva Forestal

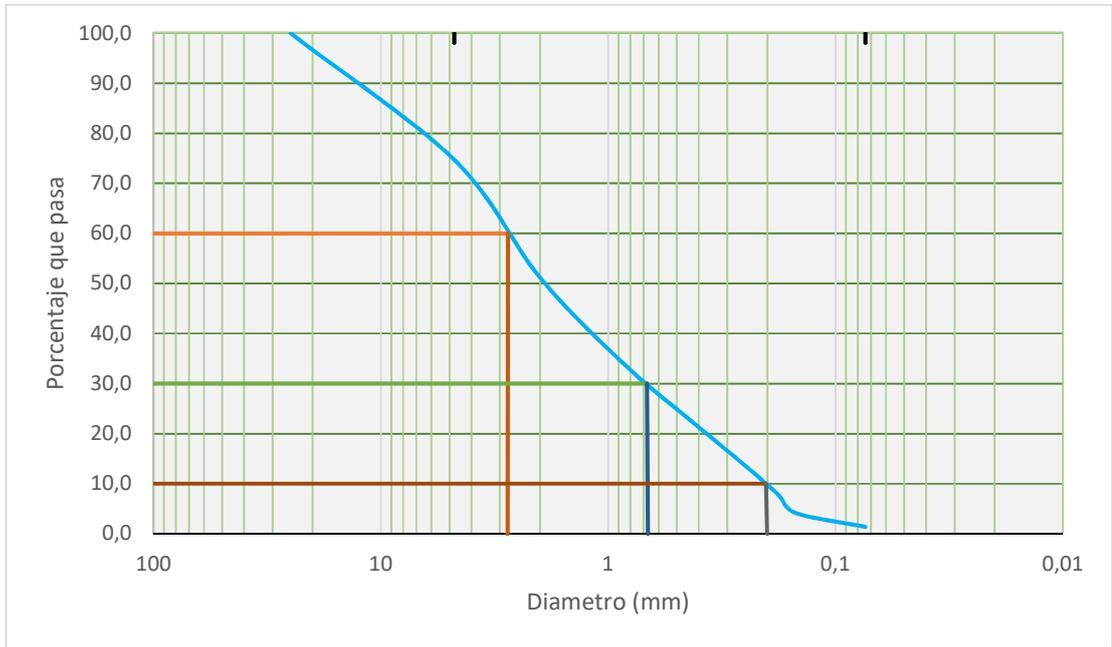
Granulometría		Zona de Reserva Forestal			
calicata		4			
Punto	E	1092296,554			
	N	1207494,502			
Peso inicial	936				
mallá	abertura (mm)	peso retenido (gr)	% retenido	% retenido acumulado	% pasa
1	25	0	0,0	0,0	100,0
4	4,75	237	25,4	25,4	74,6
10	2	219	23,4	48,8	51,2
20	0,85	162	17,3	66,2	33,8
40	0,425	108	11,6	77,7	22,3
60	0,25	81	8,7	86,4	13,6
80	0,18	53	5,7	92,1	7,9
100	0,15	35	3,7	95,8	4,2
200	0,074	26	2,8	98,6	1,4
fondo		13	1,4	100,0	0,0
total		934	100,0		

% gravas	25,4
% arenas	73,2
% finos	1,4

D60(mm)	2,77
D30(mm)	0,68
D10(mm)	0,2

Cu	13,85
Cc	0,83

Gráfica 30: Curva Granulométrica Zona Forestal



12.4 Anexo 4

Plan de recuperación de suelo para los lotes cafeteros en la Hacienda Majavita en el Socorro Santander

INTRODUCCIÓN

Una de las principales características de un suelo apto para cultivar, es su cantidad de materia orgánica. Esta está definida como el producto de descomposición biológica *in situ*– la cual afecta a las propiedades químicas, físicas y a la salud general de los suelos. (FAO, 2015), conteniendo no sólo una cantidad importante de nutrientes, sino aportando características como retención de humedad, textura y diversidad microbiológica a fin al desarrollo de las plantas.

Siguiendo este planteamiento se sugiere a la Universidad Libre en su área encargada de la producción de café orgánico, implementar medidas para la recuperación de los suelos cafeteros, los cuales presentaron deficiencias en sus porcentajes de materia orgánica y nivel de fósforo en sus diferentes lotes, derivando en la reducción de la biodiversidad en la zona y las consecuencias sinérgicas que tiene la disminución de la misma.

De este modo el presente documento tiene como finalidad a modo de sugerencia, formular unas alternativas de enmiendas que beneficien la producción cafetera y la conservación de la biodiversidad, no solo de los cafetales, sino de los lotes aledaños como la zona de reserva forestal, esto contemplando y respetando las políticas de producción orgánica.

JUSTIFICACIÓN

Una de las principales características de un suelo productivo y en estado de equilibrio ambiental, es su cantidad de materia orgánica. Esta es fundamental no solo en el aporte de nutrientes como el nitrógeno, potasio, calcio o microelementos, sino como el sustrato que contiene la micro fauna y flora encargada de muchos de los procesos de mineralización de los nutrientes que más adelante aprovechan las plantas superiores. Por consiguiente, el aumento en este parámetro permite la regulación de los demás en proporciones significativas, aumentando la diversidad de microorganismos, proporcionándole una buena estructura al suelo y la retención de humedad necesaria para el desarrollo de las plantas ya sean de cultivo o naturales sobre el terreno.

Objetivo

- Implementar medidas que permitan elevar el porcentaje de materia orgánica y el nivel de fósforo en los lotes de café. Así mismo delimitar y separar la zona cafetera de la zona de reserva forestal.

Objetivos específicos

- Crear cercas vivas para la zona de café en sus 8 lotes.
- Implementar variedades aportantes de abono verde
- Efectuar Fertilizaciones con roca fosfórica
- Establecer barreras de retención de materia orgánica
- Micorrizar los suelos cafeteros

FASE 1. INCORPORACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

Delimitación con Cercas vivas: estos se realizan con estacones de árboles que puedan delimitar, aportar material orgánico al suelo y proporcionar sistemas de sombrío a los cafetales, por lo general se utilizan árboles o arbustos de rápido crecimiento y de fácil remoción en los cultivos de café. Para el caso de la universidad Libre se recomiendan 4 especies arbóreas para cercas vivas.

Especie y características	Aportes
<i>Gliricidia sepium</i> con nombre común mata ratón : Es un árbol de porte pequeño a mediano, que puede alcanzar de 10 a 15 m de altura y entre 40 y 70 cm de diámetro basal, dependiendo del eco-tipo. Su copa es ancha y con ramificación simpódica bípara; presenta raíz pivotante. Es de	<ul style="list-style-type: none">• El extracto de sus hojas tiene efectos alelopáticos, por lo que influye en la germinación y el crecimiento de algunas plantas• Sus flores resultan de gran utilidad como melíferas• Leguminosa forrajera arbórea.• Aporta a las gramíneas una parte del nitrógeno fijado

<p>rápido crecimiento. (cuervo, narvaes & Hahn von-Hessberg , 2013)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Habilidad para crecer bien en terrenos degradados • Útil como sombra transitoria o permanente
<p><i>Spondias purpurea</i>: conocido comúnmente común ciruelo, este árbol pertenece a la familia de Anacardiácea. Caducifolio, de 4 a 8 m de altura, con un diámetro a la altura del pecho de hasta 80 cm. Tronco corto, se ramifica desde 1 m de altura. Ramas gruesas, retorcidas y quebradizas. (Cuevas, s.f.)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Rápido crecimiento • Puede utilizarse como forraje o como aporte de materia orgánica al suelo y por ser de tipo caducifolio su mantenimiento es bajo
<p><i>Psidium guajava</i>: nombre común guayabo. Árbol o arbusto perennifolio o caducifolio, de 3 a 10 m (hasta 20 m) de altura con un diámetro a la altura del pecho de hasta 60 cm.(Molero, Molina & Casassa-Padrón,2003)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil adaptación y rápido crecimiento • Aporte importante de sombra • Especie con potencial para reforestación productiva en zonas degradadas • Provee buena cobertura de hojarasca
<p><i>Pithecellobium dulce</i>: nombre común gallinero o chiminango. Es un árbol de tamaño mediano presenta un tallo resistente, robusto y corpulento, hojas pequeñas y su copa suele ser bastante frondosa, amplia y esparcida. (<i>Torres et al,2014</i>)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Se utilizan las hojas y frutos como forraje • Sistema radicular extenso el cual se expande de forma superficial • Presenta nódulos fijadores de nitrógeno • Amplio semi-sombrio

Estos 4 tipos de árboles pueden ser utilizados como especies con alto aporte de materia orgánica al suelo, de igual forma tienen gran capacidad para dar buen sombrero al cafetal en la parte colindante con el cultivo, estas 4 especies arbóreas pueden sembrarse por medio de estacones lo cual facilita la implementación como cerca viva. Por otra parte tanto el *Gliricidia sepium* como el *Pithecellobium dulce* pueden aportar o fijar nitrógeno para la zona cafetera.

Los 4 tipos pueden ser sembrados a distancias de 4 o 5 metros, e ir intercalados entre especies. Sus podas pueden ser utilizadas tanto como materia orgánica como alimento para el ganado en la zona contigua del café. Sus cuidados son relativamente bajos y se limitan a realizar podas con regularidad para evitar demasiada sombra en el cultivo de café.

Otras variedades que se pueden utilizar como aportantes de materia orgánica son:

- *tephrosia candida*: la tephrosia es una planta arbustiva que pueden alcanzar hasta 3 metros de altura y es utilizada como abono verde en cultivos orgánicos. (Valencia, 2016)
- *Crotalaria juncea*: Cascabelillo, rápido crecimiento alcanzando altura de 2 a 3 metros, con propiedades alelopáticas, flores grandes que atraen polinizadores variados, y aunque es una planta semiperenne se puede cortar para utilizarla como abono verde. También puede usarse como barrera para prevenir la erosión. (Valencia, 2016)

FASE 2. RETENER MATERIA ORGÁNICA

Para esta fase se puede utilizar terracedos y muros pequeños de contención de 30 cm de altura, de forma escalonada en algunos de los lotes, permitiendo la estabilidad del talud presente y la acumulación del material vegetal en los mismos, aumentando la disponibilidad de materia orgánica en los diferentes lotes junto al sistema de cercas vivas.

La Hacienda Majavita en su parte alta posee zonas con alta presencia de guadua (*Bambusa angustifolia*). Esta puede ser utilizada en la construcción de terrazas y los muros barrera que no permita el paso de material vegetal por el arrastre del agua, mediante el uso o la fabricación de esterillas o la forma completa de la guadua si se desea mayor resistencia. Estas pueden estar dispuestas en 2 filas a 8 metros de distancia y con longitudes no mayores a 10 metros, con lo cual se puede captar gran parte del material vegetal.

FASE 3. APLICACIÓN DE ROCA FOSFÓRICA

También se sugiere utilizar roca fosfórica con previa evaluación de sus características. Donde se refiere principalmente a las rocas de reactividad media a alta y especialmente cuando son aplicadas a suelos ácidos tropicales altamente edafizados. (INTAGRI. 2017). Esto con el fin de aumentar la disponibilidad de fósforo en la zona cafetera, sugiriendo el previo estudio por la presencia de otros nutrientes que lleven consigo la roca fosfórica según el proveedor y las características necesarias para los lotes. De esta forma y en complemento con la adición de abono verde ya sea por las especies *tephrosia candida*, *Crotalaria juncea* o los árboles utilizados como barrera viva, se espera el aumento del material orgánico en la zona, un aumento en la población macro y micro biológica de la zona, ya que el árbol de *Gliricidia sepium* y la planta *Crotalaria juncea* son excelentes atrayendo polinizadores que pueden interactuar con la zona cafetera.

FASE 4. MICORRIZACIÓN

Con el agregado de micorrizas en el terreno se busca entre otras cosas aumentar la población fúngica benéfica para el cultivo de café. Noda (2009), resaltó los incrementos en la absorción de los nutrientes y el agua en las plantas micorrizadas, así como un mayor crecimiento y rendimiento de los cultivos, destacando la absorción de fósforo por las micorrizas, permitiendo un mayor desarrollo radicular de las plantas.

Por otro lado, las micorrizas pueden efectuar un trabajo en control poblacional de microorganismos patógenos, así como interactuar con otras poblaciones fúngicas estableciendo conexiones con las plantas, por lo cual un árbol con las micorrizas necesarias puede convertirse en un restaurador rápido de suelos degradados.

IMPLEMENTACIÓN

Para la implementación del plan es necesario tener en cuenta el perímetro total del lote cafetero, siendo este de 2985 metros, con lo cual, para el cerco perimetral se pueden establecer cerca de 600 árboles, cubriendo un área de 21 hectáreas. Así mismo, la disposición de los árboles se debe hacer a una distancia de 5 metros entre cada uno, distancia que les permitirá crecer sin entrar en competencia por los nutrientes en sus primeros años de establecidos.

Al presentar los suelos cafeteros de la hacienda, porcentajes de materia orgánica tan bajos, se recomienda aumentar la concentración de la misma en al menos 0,5 kilogramos por plántula de café, con lo cual se deben aumentar en cerca de 50 toneladas de materia orgánica considerando cerca de 100000 plántulas en todo el lote cafetero. Lo anterior teniendo en cuenta que una leguminosa como la *Gliricidia sepium* es capaz de aportar 65 kg de materia verde anualmente al suelo, siendo esta de rápida descomposición (Cuervo, Narváez & Hahn; 2013), por otro lado la especie *Pithecellobium dulce*, Monroy y Colín (2004) la describen como una especie de uso múltiple, usos entre los que incluye sombrío y como aportante de materia orgánica, aunque lo haga de forma más gradual que el *Gliricidia sepium* pero en proporciones similares.

En cuanto a la aplicación de roca fosfórica, esta tiene 2 funciones, aumentar la cantidad de fósforo disponible para las plantas y acondicionar el desarrollo de las micorrizas. Estas se sugieren a una proporción de 20 gramos por plántula de café, dicho esto, es de considerarse el costo aproximado de 1 kg de micorrizas, el cual

oscila en valores superiores a los 3000 pesos colombianos, por ende solo la micorrización alcanzaría valores cercanos a los 6 millones de pesos.

Bibliografía

Cuervo-Jiménez, Alberto, Narváez-Solarte, William y Hahn von-Hessberg, Christine. (2013) CARACTERÍSTICAS FORRAJERAS DE LA ESPECIE *Gliricidia sepium* (Jacq.) Stend, FABACEAE. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 17 (1), 33-45. Recuperado el 24 de mayo de 2020, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-30682013000100003&lng=en&tlng=es.

Cuevas, J. A.(s.f.) La agricultura en Mesoamérica. Jocote, ciruelo (*Spondias purpurea*). Departamento de Fitotecnia, Unidad de Estudios Etnobotánicos, Universidad Autónoma de Chapingo, México. Tomado de: http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalim/pr odveg/cdrom/contenido/libro09/Cap2_8.htm#auto

Cuervo-Jiménez, Alberto, Narváez-Solarte, William y Hahn von-Hessberg, Christine. (2013) CARACTERÍSTICAS FORRAJERAS DE LA ESPECIE *Gliricidia sepium* (Jacq.) Stend, FABACEAE. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 17 (1), 33-45. Recuperado el 03 de julio de 2020, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-30682013000100003&lng=en&tlng=es.

Molero, T, Molina, J, & Casassa-Padrón, A. (2003). Descripción morfológica de selecciones de *Psidium guajava* L. tolerantes y *Psidium friedrichsthalianum* (Berg.) Nied resistente a *Meloidogyne incognita* en el estado Zulia, Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 20(4), 478-492. Recuperado en 24 de mayo de 2020, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182003000400008&lng=es&tlng=es.

Torres González, Alba Marina, Vargas Figueroa, Jhon Alexander, Guevara Ibarra, Leonardo, Llano Almario, Martín, Pineda, Jorge A. Orrego, Duque Palacio, Olga

Lucía, Moreno Cavazos, María Paula, & Ruiz Idarraga, Jorge Mario. (2014). Uso de Samanea saman y Pithecellobium dulce (Fabaceae: Mimosoideae) por aves en el Jardín Botánico Universitario, Cali, Colombia. Revista de Ciencias, 18(2), 63-78. Retrieved May 24, 2020, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-19352014000200005&lng=en&tlng=es.

Valencia, F. F. (2016). Sombríos transitorios para el establecimiento del café. manizales: cenicafe. Recuperado el 24 de Mayo de 2020, de <https://www.cenicafe.org/es/publications/BT41.pdf>

INTAGRI. 2017. Ventajas del Uso de Roca Fosfórica en la Agricultura. Serie Suelos. Núm. 30. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 3 p. Extraído de <https://www.intagri.com/articulos/suelos/ventajas-del-uso-de-roca-fosforica-en-la-agricultura> - Esta información es propiedad intelectual de INTAGRI S.C., Intagri se reserva el derecho de su publicación y reproducción total o parcial.